

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

**POTENCIAL DE *Nostoc* sp. e *Trichoderma harzianum* NA
TOLERÂNCIA DA SOJA À SALINIDADE**

**CAROLINI NEVES TAMBOSI
MARIANNA LETICIA DE SOUZA JARA**

**DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2025**

**POTENCIAL DE *Nostoc* sp. e *Trichoderma harzianum* NA
TOLERÂNCIA DA SOJA À SALINIDADE**

Carolini Neves Tambosi

Marianna Leticia de Souza Jara

Orientador: Prof. Dr. Cleberton Correia Santos

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal da Grande Dourados, como
parte dos requisitos para obtenção do título de
Engenheiro Agrônomo.

Dourados

Mato Grosso do Sul

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

T156p Tambosi, Carolini Neves

POTENCIAL DE Nostoc sp. e Trichoderma harzianum NA TOLERÂNCIA DA SOJA À SALINIDADE [recurso eletrônico] / Carolini Neves Tambosi, Marianna Leticia de Souza Jara. -- 2025.

Arquivo em formato pdf.

Orientador: Cleberton Correia Santos.

Coorientadora: Silvana de Paula Quintão Scaloni.

TCC (Graduação em Agronomia) -Universidade Federal da Grande Dourados, 2025.

Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:

<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. Bioinsumos. 2. Glycine max L. 3. Estresse salino. 4. Enzimas antioxidantes. 5. Vias de defesa. I. Jara, Marianna Leticia de Souza. II. Santos, Cleberton Correia. III. Scaloni, Silvana De Paula Quintão. IV. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

POTENCIAL DE *Nostoc* sp. e *Trichoderma harzianum* NA TOLERÂNCIA DA SOJA À SALINIDADE

Por

Carolini Neves Tambosi

Marianna Leticia de Souza Jara

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como parte dos requisitos exigidos para
obtenção do título de ENGENHEIRA AGRÔNOMA

Aprovado em: 18/11/2025

Documento assinado digitalmente
 CLEBERTON CORREIA SANTOS
Data: 24/11/2025 22:34:20-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Cleberton Correia Santos

Orientador – UFGD/FCA

Documento assinado digitalmente
 JULIANA MILENE SILVERIO
Data: 25/11/2025 11:31:01-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. Juliana Milene Silverio

Membro da banca – UFGD/FCA

Documento assinado digitalmente
 THAISE DANTAS
Data: 25/11/2025 08:59:15-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Me. Thaise Dantas

Membro da banca – UFGD/FCA

Dedicatória

Dedico este trabalho *in memoriam* a Giselle Lopes de Souza Jara, minha mãe, uma mulher guerreira que sempre se dedicou com amor a ser esposa e mãe. Ela acreditava na educação como caminho para transformar vidas e sempre incentivou seus filhos a persistirem em seus sonhos. Que esteja em paz ao lado de Deus.

Ao meu pai, Valmos Vieira Jara, grande homem e exemplo de força e caráter; aos meus irmãos, Matheus Henrique de Souza Jara e Murillo Cesar de Souza Jara e minha cunhada Alessandra Tavares, meus alicerces e inspirações.

Ao meu companheiro de vida, Cleyson Hipólito Gomes por sempre estar ao meu lado e que nunca me deixou desanimar e desistir.

·

Marianna Leticia de Souza Jara

Dedico este trabalho aos meus pais, Sidenei Ambrosio Tambosi e Márcia Neves da Silva Tambosi, por todo amor, exemplo e dedicação que sempre me inspiraram a seguir em frente com coragem e determinação.

Às minhas irmãs, Juliani Neves Tambosi e Danielli Neves Tambosi, pela amizade, apoio e incentivo constante em todos os momentos.

E com muito carinho, dedico também aos meus sobrinhos Valentim, Manuela e Mariana, que enchem minha vida de alegria e motivação para conquistar meus sonhos.

Carolini Neves Tambosi

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pela dádiva da vida e por me permitir chegar até aqui. Agradeço aos meus pais, Giselle Lopes de Souza Jara, Mãe, mesmo não estando mais neste plano, sempre me inspirou com seu amor e dedicação aos filhos; e ao meu pai, pelo apoio e segurança em todos os momentos. Aos meus irmãos, Matheus Henrique de Souza Jara e Murillo César de Souza Jara, por serem meus pilares e minha força diária. Ao meu esposo, Cleyson Hipolito Gomes, meu companheiro e apoio constante durante todo esse processo. À minha tia Evange Jara, por sempre acreditar no meu potencial e me incentivar a seguir em frente. Aos meus amigos Jader Rabelo, Carla Peruzzo e Carolini Tambosi, que tornaram essa caminhada mais leve com seu apoio e amizade sincera.

A Deus, pela força, pela sabedoria e pelas oportunidades que me permitiram chegar até aqui, mesmo diante das dificuldades. Aos meus pais, Sidenei Ambrosio Tambosi e Márcia Neves da Silva Tambosi, por todo amor, apoio e dedicação incondicional. Vocês são minha maior inspiração e o motivo de cada conquista. Às minhas irmãs, Juliani Neves Tambosi e Danielli Neves Tambosi, pelo carinho, companheirismo e incentivo constante em todos os momentos. Aos meus sobrinhos Valentim, Manuela e Mariana, que enchem minha vida de alegria e me lembram diariamente do valor da família e da simplicidade da felicidade. Aos meus amigos Giovanna Soares Souza, Julianna Soares Souza, João Victor Buttini, Carla Peruzzo e Marianna Jara, pela amizade verdadeira, pelo apoio nos momentos difíceis, por toda a ajuda nesta trajetória e pelas risadas que tornaram esta caminhada mais leve e feliz. A todos os professores que contribuíram para a minha formação, compartilhando conhecimento, experiências e ensinamentos que levarei para a vida. E, por fim, a todos que, de alguma forma, fizeram parte desta trajetória.

À Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), pela estrutura, pelo conhecimento e pelo suporte durante minha formação. À instituição SENAI (Campus Dourados), em especial ao Edilson Cardoso de Oliveira Junior, por disponibilizar sua estrutura e equipe — Daniel Maximiano de Oliveira, Gabriel Batista Silva e Gabriel Viletti Miller —, fundamentais para a realização deste trabalho. À Biotecland Ltda e a Solubio pela parceria no desenvolvimento da pesquisa.

Aos integrantes do Grupo de Estudos em Ecofisiologia de Plantas (GEEP), pela colaboração e apoio durante os processos de análises, contribuindo significativamente para o desenvolvimento desta pesquisa. E, de forma especial, ao Professor Dr. Cleberton Correia

Santos, meu orientador. Agradeço profundamente por seus ensinamentos, paciência, dedicação e carinho. Sem sua orientação, nada disso seria possível.

TAMBOSI, Carolini Neves; JARA, Marianna Leticia de Souza. **Potencial de *Nostoc* sp. e *Trichoderma harzianum* na tolerância da soja à salinidade.** 2025. 37 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Agronômica) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2025.

RESUMO

A inoculação das sementes com bioinsumos como a cianobactéria *Nostoc* sp. e o fungo *Trichoderma harzianum* pode ser uma alternativa promissora e sustentável para ativar vias de defesa e induzir tolerância da soja a salinidade. Objetivamos avaliar o potencial de *Nostoc* sp. e *T. harzianum* em mitigar os efeitos da salinidade em plântulas de soja. Sementes de soja cv. CZ 37B51 IPRO foram submetidas as seguintes inoculações: i) *Nostoc* sp., ii) *T. harzianum*, iii) *Nostoc* sp. + *T. harzianum*, além da testemunha (iv), todas expostas ou não a salinidade induzida pelo NaCl. Sem NaCl, a inoculação dos bioinsumos isolados ou combinados favoreceu a ativação das enzimas antioxidantes peroxidase (POD), superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e prolina. O NaCl não prejudicou a protrusão radicular e a germinação de sementes, mas reduziu o vigor das plântulas. A soja foi sensível a salinidade, reduzindo o crescimento e acúmulo de biomassa das plântulas, mas a inoculação de *Nostoc* sp. e *T. harzianum* manteve o vigor por ser mais eficiente na ativação dos mecanismos enzimáticos e de osmoregulação. As vias de defesa tiveram ativação de maneira diferenciada e variaram com a inoculação de cada bioinsumo. Em NaCl houve aumento de prolina, proteínas totais e CAT com *T. harzianum*, enquanto que com *Nostoc* sp. + *T. harzianum* verificamos incremento de POD. A maior atividade da SOD ocorreu nas plântulas sem bioinsumos em NaCl. Em NaCl as plântulas com *Nostoc* sp. e *T. harzianum* isolados ou associados apresentaram maior acúmulo de biomassa. A associação dos bioinsumos apresentou efeito sinérgico, refletindo positivamente no desempenho das plântulas. Por fim, *Nostoc* sp. e *T. harzianum* atuam como agentes antiestressores eficazes, com potencial de induzir tolerância ao estresse salino por ajustes bioquímicos e manter o vigor de plântulas de soja.

Palavras-chave: bioinsumos, *Glycine max* L., estresse salino, enzimas antioxidantes, prolina, vias de defesa.

ABSTRACT

Seed inoculation with bioinputs such as cyanobacteria *Nostoc* sp. and fungus *Trichoderma harzianum* may be a promising and sustainable alternative for activating defense pathways and inducing salinity tolerance in soybean. We aimed to evaluate the potential of *Nostoc* sp. and *T. harzianum* to mitigate the effects of salinity on soybean seedlings. Soybean seeds cv. CZ 37B51 IPRO were subjected to the following inoculations: (i) *Nostoc* sp., (ii) *T. harzianum*, (iii) *Nostoc* sp. + *T. harzianum*, in addition to the control (iv), all exposed or not to NaCl-induced salinity. Without NaCl, inoculation of the bioinputs alone or in combination favored the activation of the antioxidant enzymes peroxidase (POD), superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), and proline. NaCl did not impair root protrusion or seed germination, but it reduced seedling vigor. Soybean was sensitive to salinity, decreased seedling growth and biomass accumulation, but inoculation with *Nostoc* sp. and *T. harzianum* maintained vigor by being more efficient in activating enzymatic and osmoregulatory mechanisms. Defense pathways were activated differently and varied with the inoculation of each bioinput. In NaCl, proline, total protein, and CAT increased with *T. harzianum*, while with *Nostoc* sp. + *T. harzianum*, POD increased. The highest SOD activity occurred in seedlings without bioinputs in NaCl. In NaCl, seedlings with *Nostoc* sp. and *T. harzianum* alone or in combination showed greater biomass accumulation. The combination of bioinputs showed a synergistic effect, positively impacting seedling performance. Finally, *Nostoc* sp. and *T. harzianum* act as effective anti-stress agents, with the potential to induce salt stress tolerance through biochemical adjustments and maintain the vigor of soybean seedlings.

Keywords: bioinputs, *Glycine max* L., salt stress, antioxidant enzymes, proline, defense pathways.

LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1.** Esquema ilustrativo do experimento testando o potencial da inoculação de bioinsumos (*Nostoc* sp. e *Trichoderma harzianum*) isolados ou associados e seu potencial de aliviar o efeito da salinidade no ensaio de germinação de sementes, vigor e metabolismo de defesa de plântulas, bem como na emergência em areia 3
- FIGURA 2.** Sala de crescimento com lâmpadas LED acopladas no qual foi desenvolvido o teste de emergência de plântulas em areia 5
- FIGURA 3.** Comprimento da parte aérea – CPA (A), de raiz – CR (B) e total – CT (C) de plântulas de soja provenientes de sementes inoculadas com *Nostoc* sp. (N) e *Trichoderma harzianum* (T) isolados ou associados e expostas a condição controle e salinidade induzida pelo NaCl. Barras com letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$) \pm erro padrão. UFGD, Dourados – MS, 2025 7
- FIGURA 4.** Massas frescas e secas de parte aérea – MFPA e MSPA (A, B), raízes – MFR e MSR (C, D), relação parte aérea/raiz – RPAR (E) e emergência (F) de plântulas de soja provenientes de sementes inoculadas com *Nostoc* sp. (N) e *Trichoderma harzianum* (T) isolados ou associados e expostas a condição controle e salinidade induzida pelo NaCl. Barras com letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$) \pm erro padrão. UFGD, Dourados – MS, 2025 8
- FIGURA 5.** Conteúdo de prolina (A), proteínas (B), atividade da peroxidase – POD (C), superóxido dismutase – SOD (D) e catalase – CAT (E) em plântulas de soja provenientes de sementes inoculadas com *Nostoc* sp. (N) e *Trichoderma harzianum* (T) isolados ou associados e expostas a condição controle e salinidade induzida pelo NaCl. Barras com letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$) \pm erro padrão. UFGD, Dourados – MS, 2025 10
- FIGURA 6.** Respostas fenotípicas de plântulas de soja provenientes de sementes inoculadas com *Nostoc* sp. (N) e *Trichoderma harzianum* (T) isolados ou associados e expostas a condição controle e salinidade induzida pelo NaCl. UFGD, Dourados – MS, 2025 11
- FIGURA 7.** Esquema visual dos resultados das características avaliadas em plântulas de soja provenientes de sementes inoculadas com *Nostoc* sp. e *Trichoderma harzianum* isolados ou associados expostos a salinidade induzida pelo NaCl em comparação as plântulas CK controle. UFGD, Dourados – MS, 2025. Setas na cor vermelha, azul e verde indicam redução, aumento e semelhança em comparação às plântulas CK controle. CK: sem bioinsumo, CPA: comprimento da parte aérea, CR: comprimento da raiz, MSPA: massas secas da parte aérea,

MSR: massas secas da raiz, RPAR: relação parte aérea/raiz, CAT: catalase, SOD: superóxido dismutase, POD: atividade peroxidase **18**

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. MATERIAL E MÉTODOS	3
2.1. Condição Geral	3
2.2. Inoculação dos bioinsumos nas sementes e indução do estresse salino ...	3
2.3. Caracterização dos bioinsumos	4
2.4. Avaliações	4
2.5. Análise de dados.....	6
3. RESULTADOS	7
3.1. Índices Germinativos, Vigor de Plântulas e Emergência	7
3.2. Metabolismo de Proteção	9
3.3. Respostas Fenotípicas	11
4. DISCUSSÃO.....	12
5. CONCLUSÃO.....	20
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	21

1. INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* L.) é uma das principais *commodities* do mundo. A cultura ocupa papel de destaque no cenário econômico e social devido a sua notória versatilidade de produtos, seu complexo grãos, farelo e óleo e outros derivados (Wang et al., 2025). Além disso, é fundamental para a alimentação animal e humana em escala global, em razão a essas características a cultura ocupa destaque no comércio internacional agrícola, impactando diretamente na segurança alimentar e economia mundial (Audeh et al., 2025).

No Brasil, o país se destaca como maior produtor e exportador mundial de grãos de soja. Em 2024 a safra alcançou a produção de 171.472,3 mil toneladas, em uma área plantada de 47.350,6 mil ha, resultando em uma produtividade média de 3.621 kg/ha, valor 10,3% superior ao registrado na safra de 2023 (CONAB, 2025). Entretanto, nos últimos anos agrícolas, as alterações climáticas e outros diversos fatores estressores têm despertado atenção crescente no setor agrícola devido aos impactos negativos desde a germinação de sementes até estabelecimento e desempenho produtivo das culturas de relevância econômica.

Dentre os estresses abióticos que estão cada vez mais preocupantes destaca-se a salinidade. O excesso de íons, especialmente sódio (Na^+) e cloro (Cl^-), provoca efeitos tóxicos que prejudicam a germinação e reduzem o vigor das plântulas (Alves et al., 2022; Silva et al., 2024) e comprometem processos fisiológicos cruciais, como a absorção de água e o processo respiratório em resposta ao estresse osmótico e oxidativo (Boorboori et al., 2023; Sarioğlu et al., 2025), promovendo o aumento de espécies reativas de oxigênio (ERO) e a peroxidação lipídica (Yu et al., 2025).

Embora as plantas apresentem mecanismos enzimáticos e não enzimáticos para aliviar os efeitos do estresse oxidativo e regular o metabolismo e o crescimento, dependendo da intensidade do fator estressor, esses tendem a não serem suficientes para efetiva desintoxicação das ERO (Cannea; Padiglia, 2025). Nesse contexto, práticas que reduzam os impactos negativos do estresse salino, como inoculação de sementes e uso de bioestimulantes a base de microrganismos, têm se mostrado fundamentais para o sucesso produtivo da soja. O condicionamento de sementes com bioinsumos tem sido uma técnica que tem evidenciado eficácia, no qual esses agentes amenizam estresses osmóticos e oxidativos, promovendo melhor desempenho das plântulas (Silva da et al., 2024; Vinay et al., 2025).

Na categoria de bioinsumos, os microrganismos multifuncionais, como o fungo *Trichoderma harzianum* tem potencial de atuar beneficamente na fisiologia do estresse (Saha et al., 2024). Além de contribuir para a maior disponibilidade de nutrientes, o *T. harzianum*

favorece a germinação e o desenvolvimento fisiológico das plântulas por melhorar as relações hídricas (Siddiqui et al., 2025). Ainda, promove a produção de compostos, atividade enzimática antioxidante e síntese de fitormônios, o qual atua na proteção da estrutura e da membrana celular (Guo et al., 2024).

As cianobactérias, outro grupo de bioinsumo, estão amplamente distribuídas em ambientes aquáticos e terrestres, sendo conhecidas por seus papéis benéficos em ecossistemas agrícolas (Sithole et al., 2023). Cianobactérias heterocísticas como a *Nostoc* sp. contêm organelas, chamadas heterocistos, que realizam a fixação de nitrogênio atmosférico convertendo-o em amônia por meio da fixação biológica de nitrogênio (Go Oco et al., 2024; Wu et al., 2025). Esse processo não apenas produz nitrogênio orgânico, tornando-o disponível para outros organismos fotossintéticos, mas também leva à produção de metabólitos secundários que favorecem o crescimento vegetal e a tolerância ao estresse, além de promover benefícios para a fertilidade do solo e a produtividade das culturas (Mouga et al., 2024; Vitale et al., 2025).

Diante esse cenário, torna-se essencial identificar estratégias eficientes para reduzir os prejuízos causados pela salinidade durante as fases iniciais de desenvolvimento da soja, nos quais o estresse oxidativo compromete o estabelecimento da cultura. Entre essas alternativas, destacam-se bioinsumos que atuam no ajuste fisiológico e proteção celular com fortalecimento dos sistemas antioxidantes das plântulas e melhorar a tolerância a condições adversas. Assim, avaliar o potencial de *Nostoc* sp e *Trichoderma harzianum* representa uma abordagem relevante e necessária para o desenvolvimento de práticas sustentáveis, visando aumentar a resiliência da soja em condições de estresse salino.

Hipotetizamos que embora a soja seja sensível a salinidade, a inoculação das sementes com bioinsumos pode modular os mecanismos bioquímicos protetores, contribuindo na manutenção do vigor das plântulas. Nossa segunda hipótese é de que as respostas a inoculação e seus efeitos de proteção são variáveis ao uso isolado ou combinados dos agentes antiestressantes. Objetivamos avaliar o potencial de *Nostoc* sp. e *T. harzianum* em mitigar os efeitos da salinidade em plântulas de soja.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Condição Geral

O ensaio foi conduzido no laboratório de Tecnologia de Sementes do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial - SENAI ($22^{\circ}14'59.0''$ S, $54^{\circ}48'29.6''$ O), em Dourados – Mato Grosso do Sul, Brasil. As sementes de soja utilizada em nosso estudo foi a cultivar CZ 37B51 IPRO (safra 2025), categoria C2.

2.2. Inoculação dos bioinsumos nas sementes e indução do estresse salino

As sementes foram inoculadas (Fig. 1) com dois bioinsumos isolados ou associados, constituindo os seguintes bioprimeiros: i) cianobactéria *Nostoc* sp., ii) fungo *T. harzianum*, iii) *Nostoc* sp. + *T. harzianum*, além da testemunha (sem bioinsumo – CK, iv). A inoculação foi feita na dose de 10 mL kg^{-1} de semente $^{-1}$ de cada bioinsumo isolado e quando combinados utilizou-se 5 mL de cada bioinsumo. A inoculação dos bioinsumos foi feita com micropipeta diretamente sobre a massa de sementes, seguida de homogeneização manual em saco plástico, permanecendo em repouso durante 45 minutos.

As sementes de cada bioprimeiro correspondente foram expostas a duas condições: a) controle somente com água destilada e b) estresse por salinidade induzido pelo cloreto de sódio (NaCl) no potencial osmótico de 0,8 MPa (Fig. 1). O delineamento experimental adotado foi o delineamento inteiramente casualizado, com oito tratamentos constituídos pela combinação dos bioinsumos e as condições controle e salina, com quatro repetições de 50 sementes.

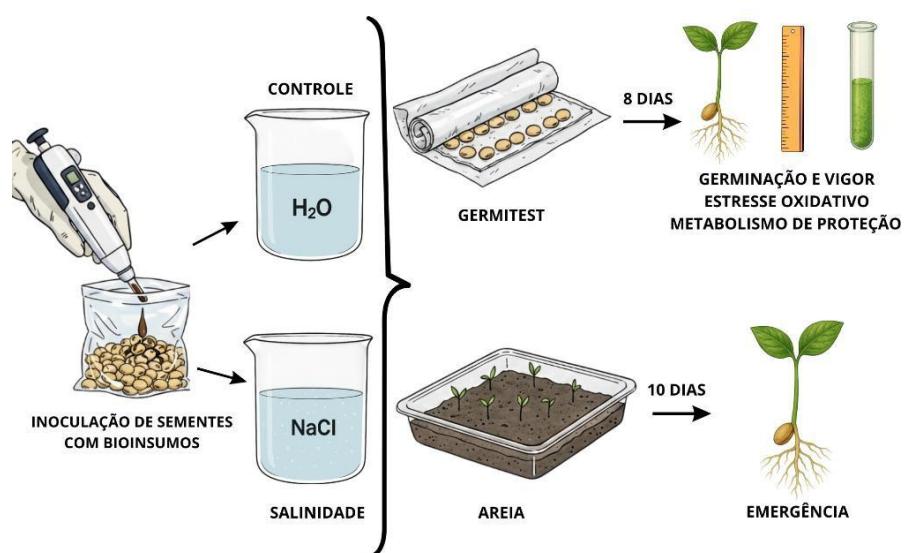


FIGURA 1. Esquema ilustrativo do experimento testando o potencial da inoculação de bioinsumos (*Nostoc* sp. e *Trichoderma harzianum*) isolados ou associados e seu potencial de aliviar o efeito da salinidade induzida por NaCl no ensaio de

germinação de sementes, vigor e metabolismo de defesa de plântulas, bem como na emergência em areia. Fonte: Tambosi e Jara (2025)

2.3. Caracterização dos bioinsumos

Neste trabalho, utilizou-se um isolado de *Nostoc* sp. ($0,2 \text{ g L}^{-1}$) cultivado em meio BG-11 modificado (sem fonte de nitrogênio). O fungo *Trichoderma harzianum* utilizado foi o isolado IB19/17 com 2×10^9 conídios viáveis/g de produto formulado.

2.4. Avaliações

Para verificar o efeito dos bioinsumos no desempenho de plântulas e mecanismos de proteção em plântulas expostas a salinidade foram realizadas as seguintes avaliações:

- a) Germinação: as sementes foram semeadas em quatro repetições de 50 sementes em rolo papel, utilizando papel Germitest, umedecidos 2,5 vezes a masssa do papel, e mantidas em câmara de germinação, com temperatura constante de $22,7^{\circ}\text{C}$ e sob fotoperíodo contínuo de 24 horas de luz. A contabilização foi realizada 8 dias após a semeadura, sendo consideradas sementes germinadas, aquelas que apresentaram desenvolvimento da parte aérea e sistema radicular normal, segundo os critérios estabelecidos pelas Regras de Análise de Sementes (RAS) (Brasil, 2009), resultados expressos em %.
- b) Protrusão radicular: foi realizado junto ao teste de germinação, sendo avaliada em 48 horas após a semeadura, no qual o critério utilizado foi o de emissão de radícula com no mínimo 1,0 cm, e os resultados expressos em %.
- c) Comprimento de plântulas: foram selecionadas 10 plântulas aleatoriamente, realizando a medição dos comprimentos de parte aérea e do sistema radicular, utilizando régua milimetrada, resultados expressos em cm.
- d) Biomassa seca: as plântulas foram separadas em parte aérea e raiz, realizando o acondicionamento dos materiais em papel kraft e secos em estufa com circulação forçada de ar ($60^{\circ}\text{C} \pm 5$), e após 48 horas, foram pesadas em balança analítica de precisão milesimal ($0,0001 \text{ g}$) as massas secas separadas, resultados expressos em gramas, e também foi calculada a relação parte aérea/raiz.
- e) Aminoácido prolina: foi determinado conforme metodologia adaptada de Bates et al. (1973), usando material seco das plântulas de acordo com Colton-Gagnon et al. (2014), com ácido sulfosálico e a leitura feita em 520 nm em espectrofotômetro (Metash V5000), resultados expressos em $\mu\text{mol g}^{-1}$.

Para determinação do conteúdo de proteínas totais e atividade das enzimas antioxidantes, o material fresco (MF) foi previamente congelado em nitrogênio líquido. Para obtenção do sobrenadante utilizado como extrato, 0,3 g de material foi adicionado em 6,0 mL de solução contendo 0,3 g polivinilpirrolidona em 100 mL de solução tampão de fosfato de potássio (0,2 M), centrifugando as amostras à 12.000 rpm durante 20 minutos.

- f) Conteúdo de proteínas totais: determinado conforme metodologia de Bradford (1976), no qual a leitura da absorbância foi realizada em 595 nm, utilizando espectrofômetro, resultados expressos em $\text{mg g}^{-1} \text{ MF}^{-1}$.
- g) Sistema antioxidante: a partir do extrato enzimático, foi determinada a atividade das enzimas antioxidante peroxidase (POD, $\mu\text{mol min}^{-1} \text{ mg}^{-1}$ proteína), superóxido dismutase (SOD, $\mu\text{g g}^{-1}$ proteína) e calatase (CAT, $\mu\text{mol min}^{-1} \text{ mg}^{-1}$ proteína) (Broetto, 2014; Giannopolitis; Ries, 1977; Azevedo et al., 1998), realizando a leitura em 470, 560 e 240 nm, respectivamente.
- h) Emergência de plântulas: foram realizadas em quatro repetições de 50 sementes em areia, no qual as sementes previamente inoculadas com os bioinsumos foram semeadas em bandejas plásticas previamente preenchidas com areia, e mantidas com 60% da capacidade de retenção de água, em sala de crescimento contendo prateleiras com painel grow quantum LED 2000w (Samsung Full Espectrum) (Fig. 2). As lâmpadas possuem combinação de espectros amarelos, azuis, vermelhos, violetas e infravermelhos, sua temperatura de funcionamento é de 25 a 45 °C com eficiência luminosa 30cm/6200 $\mu\text{mol}/262600\text{lux}$.



FIGURA 2. Sala de crescimento com lâmpadas LED acopladas no qual foi desenvolvido o teste de emergência de plântulas em areia. Fonte: Tambosi e Jara (2025)

A determinação da emergência foi calculada com base em plântulas com cotilédones visíveis, acima da superfície da areia, resultados em %.

2.5. Análise de dados

Os dados foram submetidos ao teste de Shapiro-Wilk para verificar a normalidade. Todos os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e quando significativos pelo teste F ($p < 0,05$), as médias em função dos oito tratamentos foram comparadas pelo teste de Scott-knott ($p \leq 0,05$) \pm erro padrão.

3. RESULTADOS

3.1. Índices Germinativos, Vigor de Plântulas e Emergência

A protrusão radicular e a germinação de sementes não foram influenciadas pelos fatores em estudo ($F= 0,1444$ e $0,2325$, respectivamente), apresentando valores médios de 89,25 e 98,62%, respectivamente. As plântulas provenientes da inoculação com *T. harzianum* e CK (sem bioinsumo) controle apresentaram maior comprimento da parte aérea (13,25 e 12,28 cm, respectivamente), enquanto que as plântulas CK em NaCl e *Nostoc* sp. + *T. harzianum* nas duas condições apresentaram os menores valores (Fig. 3A).

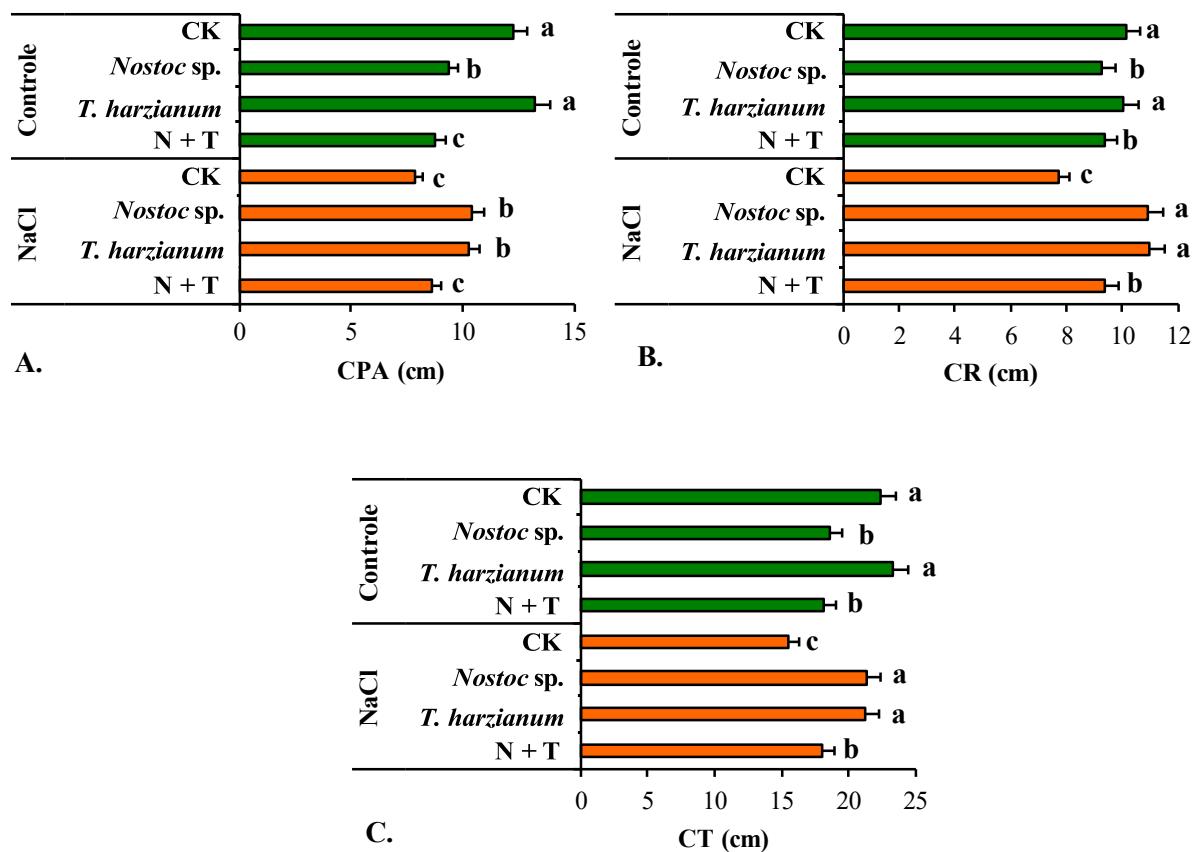


FIGURA 3. Comprimento da parte aérea – CPA (A), de raiz – CR (B) e total – CT (C) de plântulas de soja provenientes de sementes inoculadas com *Nostoc* sp. (N) e *Trichoderma harzianum* (T) isolados ou associados e expostas a condição controle e salinidade induzida pelo NaCl. Barras com letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$) \pm erro padrão. UFGD, Dourados – MS, 2025

Para comprimento de raiz e total das plântulas houve a mesma tendência de resposta, no qual os maiores valores foram observados nas plântulas com *T. harzianum* e *Nostoc* sp. em NaCl e CK e *T. harzianum* controle, diferindo dos demais tratamentos, especialmente das CK em NaCl, que tiveram menor valor (Figs. 3B e 3C).

As massas frescas de parte aérea e raiz apresentaram a mesma tendência de resultados, no qual na condição controle não foi detectada diferença estatística entre as inoculações, enquanto que em NaCl as plântulas CK tiveram menores valores em comparação as demais, as quais se diferiram estatisticamente nessa condição (Figs. 4A e 4C).

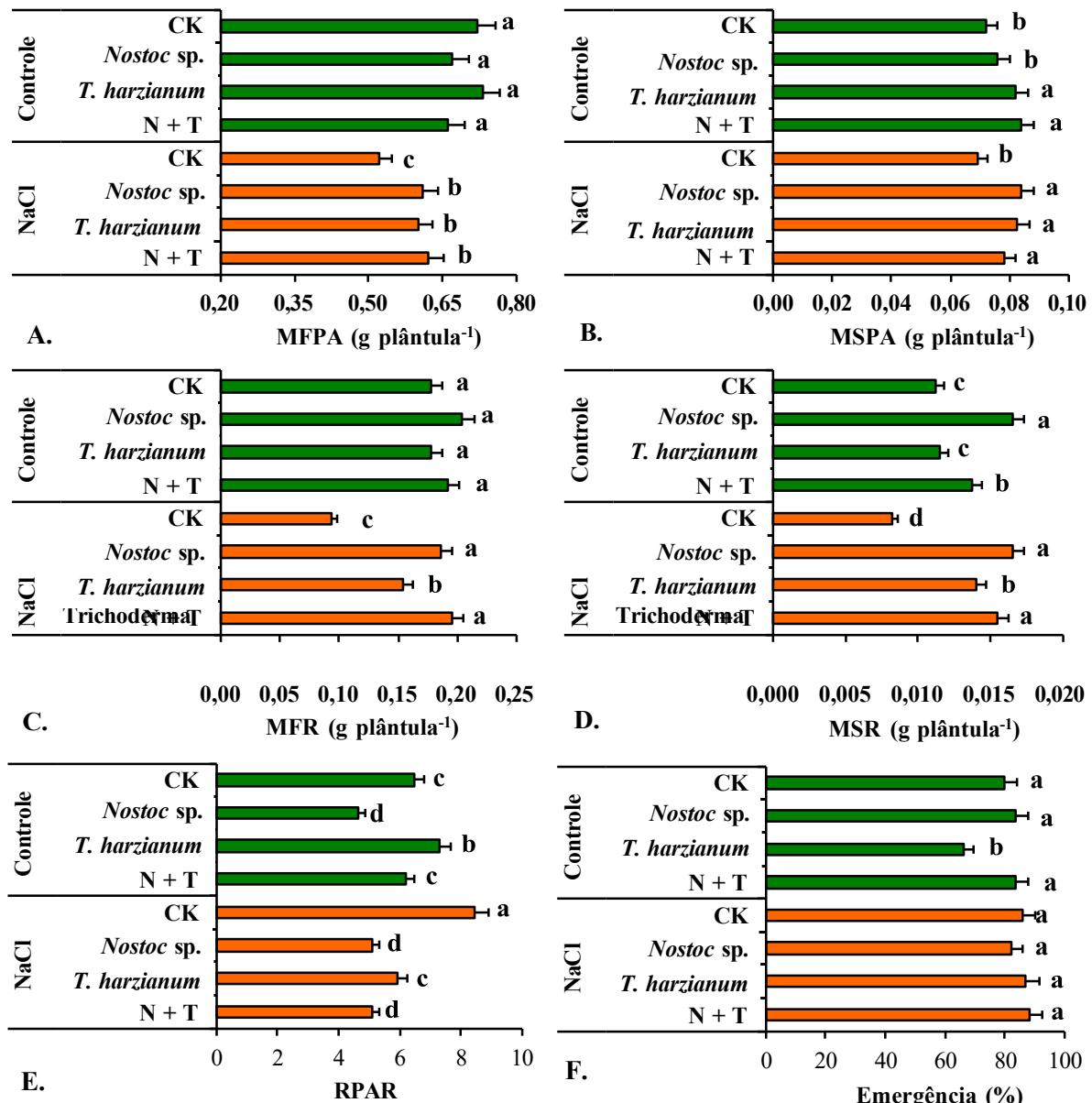


FIGURA 4. Massas frescas e secas de parte aérea – MFPA e MSPA (A, B), raízes – MFR e MSR (C, D), relação parte aérea/raiz – RPAR (E) e emergência (F) de plântulas de soja provenientes de sementes inoculadas com *Nostoc* sp. (N) e *Trichoderma harzianum* (T) isolados ou associados e expostas a condição controle e salinidade induzida pelo NaCl. Barras com letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$) \pm erro padrão. UFGD, Dourados – MS, 2025

Os valores de massa seca da parte aérea foi maiores com *T. harzianum* e *Nostoc* sp. + *T. harzianum* na condição controle, enquanto que em NaCl foram nas plântulas com os bioinsumos (Fig. 4B). Para massa seca da raiz, os maiores valores foram observados nas

plântulas com *Nostoc* sp. nas duas condições e com *Nostoc* sp. + *T. harzianum* em NaCl, diferindo dos demais tratamentos, enquanto que o menor valor ocorreu em CK em NaCl (Fig. 4D).

No que se refere a RPAR, em NaCl as plântulas CK foram as que apresentaram maiores valores, enquanto que as inoculadas com os bioinsumos foram menores (Fig. 4E). Os menores valores de porcentagem de emergência das plântulas ocorreram com *T. harzianum* na condição controle (82%), diferindo das demais condições (Fig. 4F).

3.2. Metabolismo de Proteção

Na condição controle todas as plântulas de soja com bioinsumos isolados ou associados apresentaram aumento no conteúdo de prolina em comparação às CK ($3,98 \mu\text{mol g}^{-1}$) nessa condição (Fig. 5A). As plântulas CK em NaCl aumentaram prolina ($6,40 \mu\text{mol g}^{-1}$), especialmente em comparação as CK controle, enquanto que a inoculação com *Nostoc* sp. em NaCl resultou em menor valor ($5,48 \mu\text{mol g}^{-1}$). Ressaltamos que as plântulas com *Nostoc* sp. + *T. harzianum* controle e *T. harzianum* em NaCl apresentaram maiores conteúdos de prolina (Fig. 5A).

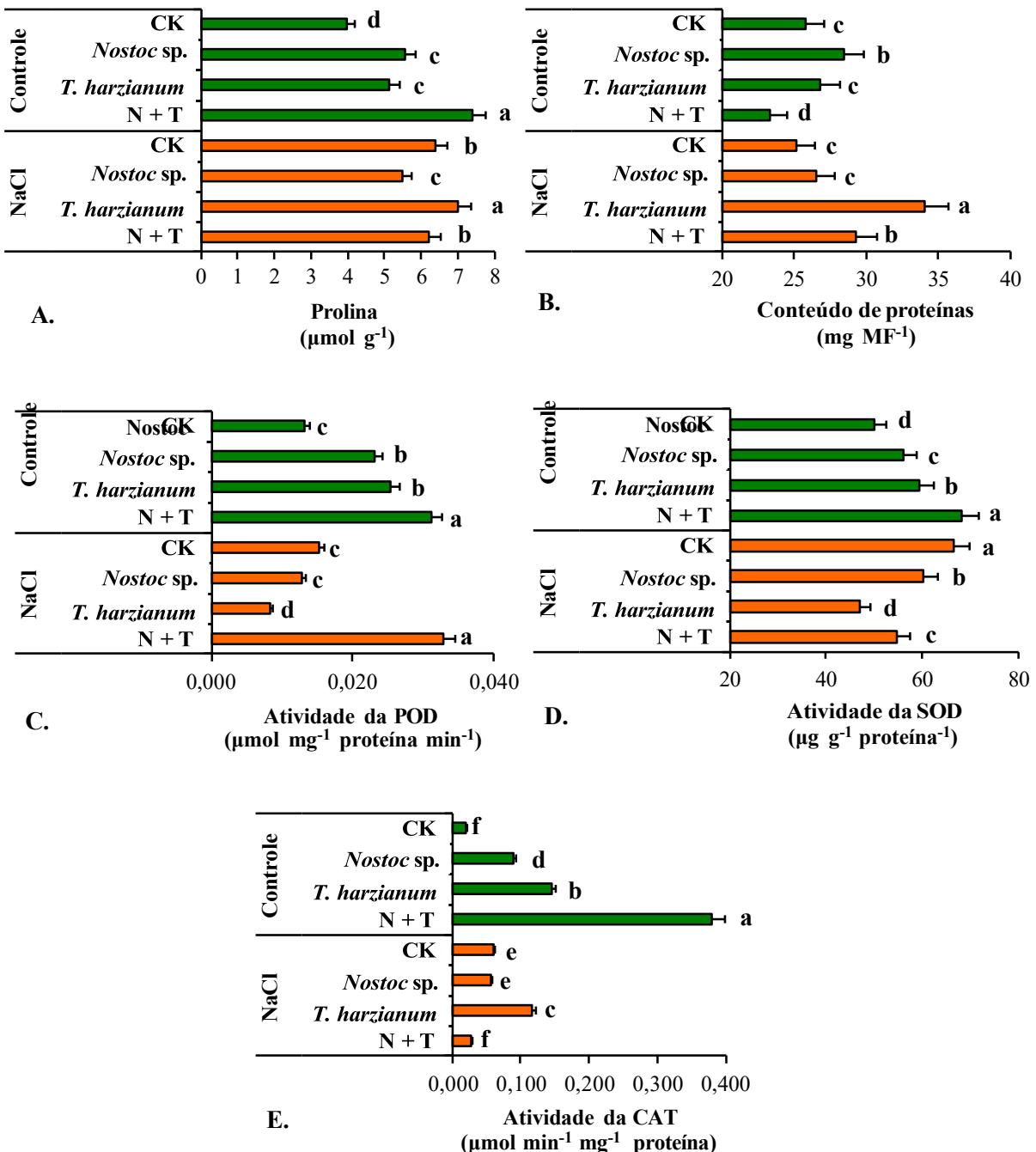


FIGURA 5. Conteúdo de prolina (A), proteínas (B), atividade da peroxidase – POD (C), superóxido dismutase – SOD (D) e catalase – CAT (E) em plântulas de soja provenientes de sementes inoculadas com *Nostoc* sp. (N) e *Trichoderma harzianum* (T) isolados ou associados e expostas a condição controle e salinidade induzida pelo NaCl. Barras com letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$) \pm erro padrão. UFGD, Dourados – MS, 2025

No que se refere ao conteúdo de proteínas totais, o maior valor foi observado nas plântulas com *T. harzianum* em NaCl (Fig. 5B), seguida da *Nostoc* sp. controle e *Nostoc* sp. + *T. harzianum* em NaCl, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos, os quais tiveram menores valores ($< 27 \text{ mg MF}^{-1}$) (Fig. 5B). As plântulas com *Nostoc* sp. + *T. harzianum* apresentaram maior atividade da POD ($> 0,0300 \mu\text{mol min}^{-1} \text{mg}^{-1} \text{proteína}$) em ambas as

condições. A menor atividade da POD ($0,0038 \mu\text{mol min}^{-1} \text{mg}^{-1}$) foi observada nas plântulas com *T. harzianum* em NaCl (Fig. 5C).

Para SOD, a maior atividade ocorreu nas plântulas CK em NaCl comparação as CK controle (Fig. 5D). Em NaCl, todas as plântulas apresentaram menor atividade da SOD em comparação as CK nessa condição, inclusive não diferindo estatisticamente das plântulas na condição controle, exceto para *Nostoc* sp. + *T. harzianum*.

A atividade da CAT foi maior nas plântulas controle com *Nostoc* sp. + *T. harzianum* ($0,3797 \mu\text{mol min}^{-1} \text{mg}^{-1}$ proteína), diferindo das demais condições, enquanto que os menores valores ($< 0,0300 \mu\text{mol min}^{-1} \text{mg}^{-1}$ proteína) ocorreram nas plântulas CK controle e *Nostoc* sp. + *T. harzianum* em NaCl (Fig. 5E). Além disso, a atividade da CAT aumentou nas plântulas CK em NaCl em comparação com as CK controle. Em geral, a resposta em conteúdo de prolina e a atividade das enzimas POD, SOD e CAT na condição controle foram semelhantes, ou seja, aumento dos valores com os bioinsumos em comparação as CK nessa condição.

3.3. Respostas Fenotípicas

As respostas fenotípicas das plântulas foram variadas, na qual sob condição controle ao utilizar *Nostoc* sp. + *T. harzianum* tiveram menor desempenho em parte aérea. Por outro lado, em NaCl as plântulas CK tiveram menor crescimento radicular e da parte aérea, enquanto que as inoculadas com os bioinsumos, especialmente os isolados, apresentaram melhor aspecto visual (Fig. 6).

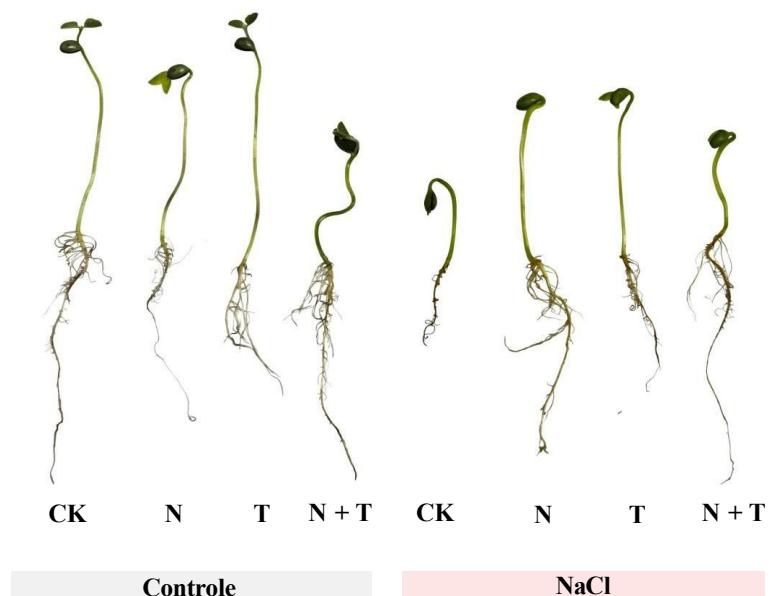


FIGURA 6. Respostas fenotípicas de plântulas de soja provenientes de sementes inoculadas com *Nostoc* sp. (N) e *Trichoderma harzianum* (T) isolados ou associados e expostas a condição controle e salinidade induzida pelo NaCl. UFGD, Dourados – MS, 2025

4. DISCUSSÃO

De modo geral, verificamos que as plântulas de soja cv. CZ 37B51 IPRO são sensíveis a salinidade induzida pelo NaCl, sendo considerado um fator estressor, pois prejudicou o vigor das plântulas e houve necessidade de ajustes metabólicos para sua proteção. Além disso, confirmamos nossa hipótese de que a inoculação com os bioinsumos, aqui representados pela *Nostoc* sp. e *T. harzianum* isolados ou associados contribuíram na manutenção do vigor das plântulas, atuando como agentes anti-estressantes, ativando de maneira mais expressiva e eficiente vias de proteção, induzindo tolerância ao sal.

A nossa segunda hipótese também foi aceita, pois os mecanismos de ação, isto é, diferentes vias de defesa foram ativadas, mas variaram de acordo com cada bioinsumo quando isolados ou associados. Afirmamos ainda que os bioinsumos tem papel na ativação do sistema de defesa independente do fator estressor, uma vez que as plântulas na condição controle, ou seja, não estressante, ao terem suas sementes inoculadas com os microrganismos, especialmente combinados, aumentaram todos os mecanismos de proteção não enzimáticos (prolina) e enzimáticos (POD, SOD e CAT) em comparação as CK controle.

A salinidade é amplamente reconhecida como uma das principais restrições abióticas limitantes ao crescimento das plantas, pois o acúmulo de íons Na⁺ e Cl⁻ afeta o equilíbrio osmótico e desencadeia o estresse oxidativo, resultando na formação de ERO capazes de danificar lipídios, proteínas e ácidos nucleicos (Mei et al., 2025). Frente a esse desafio, Zhang et al. (2019) e Saha et al. (2024) reforçam que microrganismos benéficos, especialmente fungos do gênero *Trichoderma*, tem se destacado por sua eficiência em promover tolerância a estresses ambientais, atuando na indução de resistência/tolerância sistêmica.

Os ajustes das plântulas ao sal se deram pelo aumento na atividade das enzimas antioxidantes como SOD, POD, CAT, entre outras, além de compostos não enzimáticos, os quais são amplamente reconhecidos como indicadores fisiológicos e mecanismos de adaptação baseado em estímulos externos como a salinidade. A partir dessa informação, podemos inferir que as plântulas de soja tiveram ativação de diferentes vias bioquímicas funcionais, algumas mais que outras, mas todas com a finalidade de aliviar o estresse e assegurar a homeostase celular. Entretanto, essas respostas podem variar de acordo com a espécie, intensidade e tempo de exposição ao fator estressor.

Reforçamos que quando expostas ao NaCl sem prévia inoculação dos bioinsumos, as plântulas apresentaram como mecanismos de proteção o aumento de aminoácido prolina e atividade de enzimas antioxidantes SOD e CAT, mas a POD e o conteúdo de proteínas totais

não foram vias principais utilizadas como defesa, pois foram semelhantes as CK da condição controle.

Considerando as alterações bioquímicas como mecanismo de defesa na condição salina, será que a ativação do sistema antioxidante nas plântulas sem bioinsumos foi eficiente em mitigar os efeitos estressantes? Embora as plântulas naturalmente aumentem os compostos de osmorregulação e proteção como estratégia de sobrevivência ao fator estressor, a *Nostoc* sp. e o *T. harzianum* atuaram de maneira mais rápida e/ou eficaz na modulação bioquímica para que as plântulas tivessem seu máximo potencial de expressão na ativação dessas vias de modo a aliviar efetivamente os efeitos estressantes da salinidade, mantendo o vigor das plântulas.

A indução da tolerância das plantas por meio da inoculação ocorre pela ação mediada pelo microrganismo, o qual reduz o estresse oxidativo gerado pelo sal (Liu et al., 2023; Boorboori et al., 2023), por meio da melhoria da capacidade de manutenção da homeostase iônica e osmótica. No que se refere à cianobactéria, Bauanova et al. (2024) relatam que a diversas espécies, inclusive a *Nostoc* sp. também atuam com ação bioestimulante, mitigando efeitos deletérios do sal por ação antioxidante e suporte nutricional, como observado em arroz sob estresse salino.

Estudos recentes sobre interação *Trichoderma* spp.-planta, ressaltaram que inoculação com esse grupo de fungo aumentou significativamente atividade de enzimas SOD, POD, CAT e ascorbato peroxidase (APX), que são antioxidantes e atuam no estresse oxidativo (Zhang et al., 2019; Hu et al., 2025; Santos et al., 2025), semelhante ao observado em nosso estudo com a soja na fase de plântula, exceto APX, a qual não foi determinada. Esse fungo também promove a expressão de genes relacionados a resistência ao estresse osmótico por meio da desintoxicação das ERO (Mei et al., 2025; Han et al., 2024).

Similarmente, Eftekhari et al. (2025) observaram aumento da atividade de enzimas antioxidantes e compostos osmoprotetores em milho exposto ao estresse salino. Existem relatos de que o *Trichoderma* contribui na síntese e/ou sinalização dos hormônios, favorecendo o crescimento das plantas e também modula genes que controlam a absorção e transporte de nutrientes (Yao et al., 2023; Mei et al., 2025), o que pode explicar nossos resultados com a inoculação do *T. harzianum*, no qual as plântulas apresentaram maiores caracteres de crescimento da parte aérea e raiz mesmo em condição salina, reforçando o papel bioestimulante.

Quanto à prolina, seu aumento é interpretado além de uma resposta de ajuste osmótico, como reprogramação metabólica por meio de sinalizações que refletem na tolerância fisiológica frente a condições ambientais adversas como a salinidade. Esse aminoácido atua como osmoprotetor, favorecendo a estabilidade hídrica e a manutenção do potencial de turgor da

célula, além de estabilizar de proteínas e membranas, e de funcionar como tampão contra ERO (Renzetti et al., 2025). Seu aumento nas plântulas CK em NaCl é resultado do ajuste osmótico induzido pela salinidade. De acordo com Satoh et al. (2002) e Fathi et al. (2025) a prolina desencadeia a ativação de genes por meio da ACTCAT que reagem a salinidade.

Para *Nostoc* sp., a redução da prolina pode indicar que as plântulas estavam menos estressadas pela perturbação osmótica, o que diminui a necessidade de ativação do mecanismo osmoprotetor, consequentemente, exigindo menor síntese desse aminoácido para proteção dos danos do fator estressor. A cianobactéria tem potencial de fixar e disponibilizar N assimilável (Go Oco et al., 2024; Wu et al., 2025), elemento base de aminoácidos, os quais auxiliam na osmoreregulação e no potencial de absorção de água, estratégia para aliviar o estresse, refletindo na estabilidade hídrica e fisiológica das plântulas na fase inicial em nosso estudo.

Além disso, a inoculação da cianobactéria pode promover regulação do balanço redox intracelular, limitando o acúmulo de prolina, devido ao fato de que a produção exacerbada de ERO é reduzida. Essa informação corrobora com Verma et al. (2021) que relataram que a interação de cianobactérias com plantas de arroz sob estresse salino ajuda a promover o balanço redox, esse responsável por atuar nas reações de oxidação nas células. Esses autores descreveram que a *Nostoc* ativou as enzimas SOD e CAT que auxiliam na redução de EROs, responsáveis pelos danos causados as células, semelhante ao observado em nosso estudo.

Ainda, pode liberar óxido nítrico, que ativam genes ligados a defesa antioxidante e também pode formar camadas de polissacarídeos extracelulares que auxiliam na redução de absorção do sal nas raízes, protegendo as células (Bauenova et al., 2024). Assim, a interação *Nostoc* sp.-plântula e redução da prolina em NaCl é reflexo de uma condição menos estressantes e sugerimos que outras vias foram ativadas pela cianobactéria na plântula, as quais não determinados em nosso estudo, como pela presença de aspartato, alanina, leucina, metionina, fenilalanina, glutamato, entre outros (dados não apresentados) que supriram a defesa ao estresse, não necessitando investimento na via da prolina, e pode ser interpretada como indicador de estabilidade e eficiência metabólica.

Ao se tratar dos efeitos da inoculação com *T. harzianum* isolado e *Nostoc* sp. + *T. harzianum*, o aumento expressivo de prolina indica possível efeito *priming* metabólico. O fungo então atua como agente indutor de ajustes bioquímicos com antecedência nas plantas/plântulas, isto é, ocorre uma prévia preparação das plântulas. Assim, permite ativação prévia ou de maneira mais rápida ou até facilitada das rotas metabólicas, a qual denominamos “memória de percepção/sinalização”, atreladas a tolerância ao estresse, aqui representado pela salinidade pelo NaCl.

O papel do gênero *Trichoderma* na prolina também está associado a sua participação no incremento de proteínas, uma vez que esse aumento contribui na atividade de proteção da planta. Isso, porque quando há maior atividade envolvida com a síntese de proteínas, ocorre a liberação de glutamato, principal aminoácido precursor utilizado para produção de prolina pela enzima P5C5, e assim favorece síntese a e acúmulo de prolina, contribuindo para a proteção das plântulas contra o estresse (Guo et al., 2024; Renzetti et al., 2025).

Além do *Trichoderma* spp. favorecer a assimilação de N e a intensa síntese proteica, o que reflete em aumento de aminoácidos como a prolina (Saha et al., 2024), esses autores também relatam que o fungo melhora a absorção dos nutrientes, que além de atuarem como cofatores enzimáticos e no equilíbrio redox, favorecem o crescimento vegetal. De acordo com Boorboori et al. (2023), secreção de metabólicos secundários e compostos voláteis que fazem a modulação da expressão gênica de enzimas envolvidas a resposta do estresse são observados na presença do *Trichoderma* spp., reforçando seus mecanismos protetores.

A maior atividade da SOD nas plântulas CK em NaCl está diretamente relacionada com a superprodução de ERO, especialmente o ânion superóxido (O_2^-), conforme relatado por Eftekhari et al. (2025). A SOD é a primeira enzima do sistema antioxidante a ser ativada sob condições de estresse, atuando na dismutação do ânion superóxido em peróxido de hidrogênio (H_2O_2), o qual é subsequentemente removido pela ação conjunta da CAT e/ou POD, que o convertem em H_2O e O_2 , completando a neutralização dos radicais livres (Gulcin, 2025), reduzindo o estresse oxidativo e a peroxidação lipídica (Zhou et al., 2024).

Entretanto, mesmo ativando essa via de defesa, as plântulas CK em NaCl apresentaram crescimento reduzido e menor acúmulo de biomassa tanto fresca quanto seca da parte aérea e raiz, reforçando a sensibilidade a salinidade. Similarmente, Silva et al. (2024) descreveram que a exposição da soja a salinidade refletiu negativamente no desempenho fisiológico e vigor das plântulas, e os autores associaram ao impacto do estresse oxidativo, que reduziu indicadores fotoquímicos associados ao rendimento energético nas plântulas.

A redução da atividade de SOD nas plântulas inoculadas com microrganismos em NaCl pode estar associada a melhor eficiência antioxidante, ou seja, menor produção de ERO em função da capacidade síntese de agentes antioxidantes enzimáticos e não enzimáticos, aliviando os danos do estresse iônico e osmóticos. De acordo com Boorboori e Zhang (2023) os microrganismos atuam modulando a expressão de genes antioxidantes. Essa resposta indica ajuste no equilíbrio do sistema antioxidante, na qual as enzimas POD, CAT e ascorbato peroxidase (APX) assumem papel mais ativo na desintoxicação de radicais livres, mecanismo

essencial para evitar acúmulo excessivo de H₂O₂ e prevenir danos as membranas e proteínas sob salinidade (Zhang et al., 2019).

No que se refere à associação da *Nostoc* sp. + *T. harzianum*, verificamos que sua inoculação refletiu positivamente na atividade da POD nas plântulas em NaCl e controle, e essa resposta pode ser interpretada como efeito sinérgico entre os dois bioinsumos com resposta de potencialização entre as propriedades indutoras de defesa de *T. harzianum* e os mecanismos antioxidantes intrínsecos de *Nostoc* sp. A POD, além de remover o H₂O₂ e aliviar os efeitos estressantes, participa de processos de lignificação, defesa celular e modulação de sinalização redox (Szypulska et al., 2017).

Em estudos recentes, observou-se menor atividade da POD em mudas de tomate tratadas exclusivamente com *T. harzianum* sob estresse salino, o que difere de alguns resultados relatados na literatura, que evidenciam aumento dessa atividade (Metwally; Al-Amri, 2023), enquanto que em nosso estudo com esse mesmo fungo a atividade foi menor em comparação com outras enzimas. Essa redução pode refletir um comportamento fisiológico favorável, indicando que a presença do fungo reduziu o nível de estresse oxidativo, diminuindo, assim, a necessidade de ativação intensa do sistema antioxidante. Esse padrão também foi relatado em estudos com quinoa e pepino, nos quais a inoculação com *T. harzianum* proporcionou melhor equilíbrio osmótico e iônico, mesmo com menor ativação de algumas enzimas (Zhang et al., 2019; Abrantes et al., 2024).

Outra hipótese plausível é que o fungo tenha promovido a ativação preferencial de outras vias de defesa, substituindo parcialmente a ação da POD por enzimas como CAT, APX e SOD, como observado em nosso estudo com o aumento de prolina e SOD ou ainda por compostos não enzimáticos, dentre eles relatados por Geng et al. (2025), os fenóis, flavonoides e osmólitos diversos. Assim, a menor atividade de POD pode não representar uma resposta enfraquecida, mas sim uma reconfiguração/reprogramação metabólica que seja mais eficiente e de menor custo energético.

Ressaltamos que a inoculação de *Nostoc* e *Nostoc* sp. + *T. harzianum* influenciou negativamente no crescimento das plântulas na condição controle e sugerimos essa resposta a um possível desbalanço hormonal, pois de acordo com Toribio et al. (2020) a cianobactéria contém e estimula a síntese diversos hormônios, inclusive os de crescimento, e esses associados aos endógenos podem ultrapassar a necessidade da plântula nessa fase inicial. Na presença do *T. harzianum*, o qual também auxilia na síntese de hormônios (Geng et al., 2025) esse efeito foi potencialização hormonal. Entretanto, os estudos particularmente com cianobactéria *Nostoc* sp.

são insuficientes ou até inexistentes diante das nossas pesquisas, precisando de elucidação do seu papel para cada hormônio.

Embora as plântulas na condição controle apresentaram menores características de crescimento em alguns dos tratamentos com microrganismos, não refletiu negativamente no acúmulo de biomassa, que inclusive tiveram maiores valores. Sugerimos que essa resposta de redução de crescimento além de desbalanço hormonal, também pode estar associado ao fato de que as plântulas tenham direcionado energia para as atividades das enzimas antioxidantes e prolina, como resposta de indução de vias de defesa mesmo em condição não estressante.

Entretanto, em NaCl, os microrganismos associados apresentaram efeito sinérgico e mitigador tanto em crescimento quanto na biomassa, refletindo em melhor desenvolvimento de plântulas, enquanto que sem os bioinsumos houve além de prejudicar a morfologia das plântulas também aumentou o RPAR, indicando maior acúmulo da parte aérea do que raiz, pois a esse órgão é o primeiro a estar em contato direto com o sal.

No que se refere à germinação de sementes e a emergência de plântulas, a salinidade é um dos principais fatores abióticos que afetam negativamente esses processos, refletindo negativamente no vigor, pois o excesso de íons Na^+ e Cl^- altera o potencial osmótico e desencadeia estresse oxidativo, prejudicando o metabolismo inicial das sementes (Saha et al., 2024; Hu et al., 2025). Nessa condição ocorre redução na absorção de água pelas sementes provoca atraso e desuniformidade na germinação, resultando em menores índices de vigor e de emergência (Cardarelli et al., 2022).

No entanto, em nosso estudo não houve impacto direto do sal na protrusão radicular, germinação das sementes e emergência de plântulas, mas essa exposição refletiu negativamente no vigor das plântulas, o que compromete o desempenho fisiológico e produtivo do estante de produção. Assim, reforçamos que apenas as informações de emergência não suficientes para inferir os danos decorrentes dos efeitos estressantes, pois geralmente esse impacto é observado durante o ciclo de cultivo, e não apenas em uma etapa.

Em resumo observamos em comparação às plântulas CK controle, que as plântulas CK em NaCl aumentaram prolina, SOD e CAT, enquanto proteínas e POD se mantiveram semelhantes, mas com redução das características de crescimento (Fig. 7), reforçando a sensibilidade da cultivar a salinidade, e então aumentando sua plasticidade por diferentes ajustes. No que se refere à inoculação dos bioinsumos em NaCl para as atividades enzimáticas, prolina e proteínas também ocorreu aumento, mas é perceptível a modulação de vias preferenciais de defesa, as quais foram eficientes em atuar na homeostase celular, que refletiu no desempenho das plântulas, sugerindo menor necessidade de plasticidade fenotípica,

indicando uma condição menos estressante. Entretanto, embora tenha sido registrado redução do crescimento, especialmente em parte aérea, as CK reduziram drasticamente em comparação às inoculadas, ambas em NaCl.

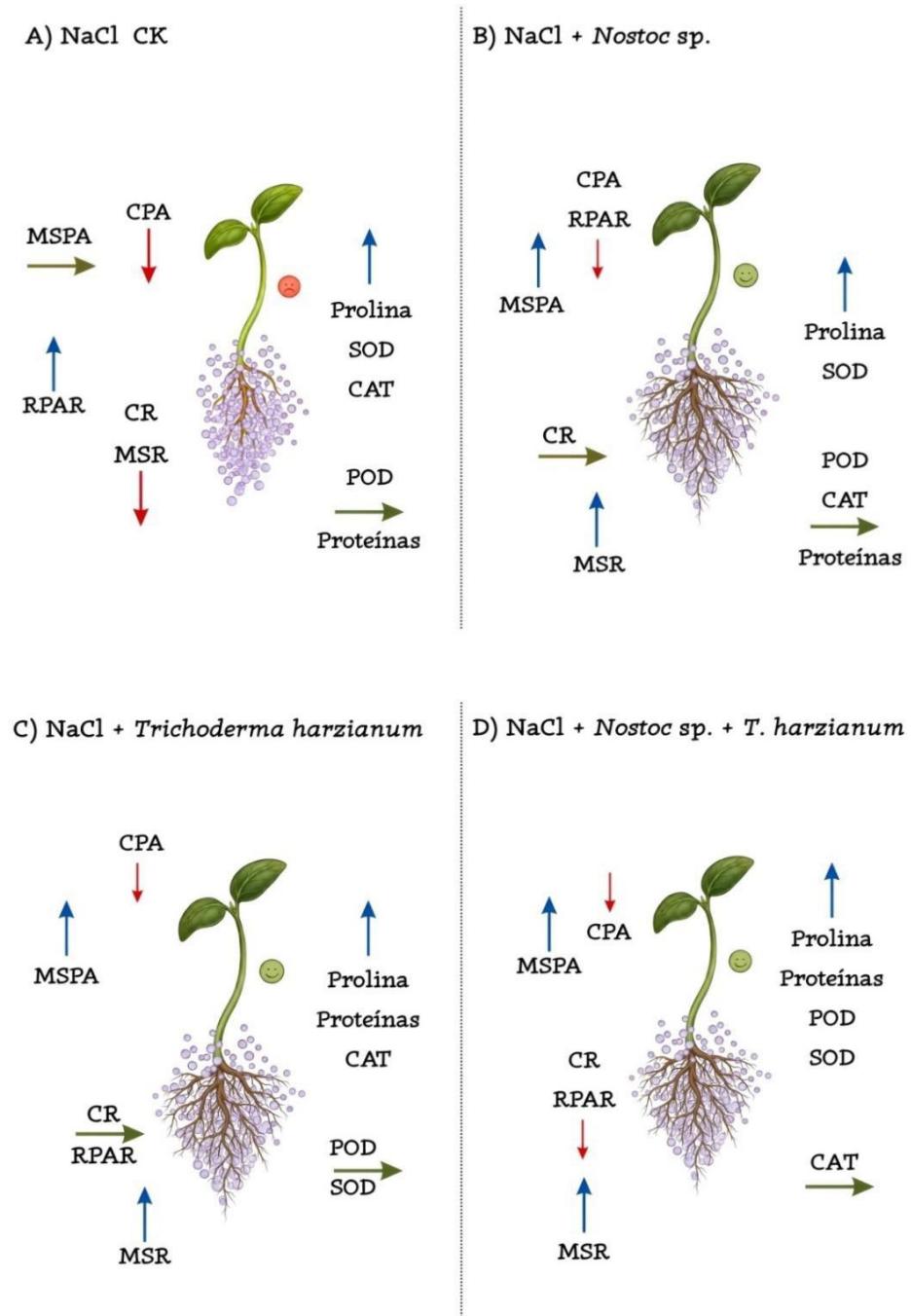


FIGURA 7. Esquema visual dos resultados das características avaliadas em plântulas de soja provenientes de sementes inoculadas com *Nostoc* sp. e *Trichoderma harzianum* isolados ou associados expostas a salinidade induzida pelo NaCl em comparação as plântulas CK controle. UFGD, Dourados – MS, 2025. Setas na cor vermelha, azul e verde indicam redução, aumento e semelhança em comparação às plântulas CK controle. CK: sem bioinsumo, CPA: comprimento da parte aérea, CR: comprimento da raiz, MSPA: massa seca da parte aérea, MSR: massa seca da raiz,

RPAR: relação parte aérea/raiz, CAT: catalase, SOD: superóxido dismutase, POD: atividade peroxidase. Fonte: Tambosi e Jara (2025)

Em perspectivas futuras, sugerimos estudos em fases subsequentes da soja, ou seja, verificar seu desempenho em condições de campo, visando aumentar os protocolos de uso de bioinsumos na mitigação de estresses abióticos como a salinidade, para atender os objetivos do desenvolvimento sustentável frente as adversidades climáticas, que assegurem a segurança alimentar.

5. CONCLUSÕES

A inoculação de *Nostoc* sp. e *Trichoderma harzianum* isolados ou associados nas sementes aliviaram os efeitos negativos da salinidade por NaCl, atuando como agentes anti-estressores, mantendo o vigor das plântulas da soja por meio da ativação do sistema de defesa antioxidante enzimático e osmoprotetor mais eficiente, induzindo a tolerância ao estresse salino. A inoculação dos bioinsumos isolados ou combinados refletiu na ativação do sistema de proteção e no incremento do crescimento e acúmulo de biomassa das plântulas na condição controle (não estressante).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRANTES, E. M. d.; PESSOA, L. G. M.; SILVA, L. F. d. S.; DA SILVA, E. M.; DA SILVA, J. O. N.; FREIRE, M. B. G. d. S.; DE OLIVEIRA, A. C.; ALENCAR, E. L. d. N. Silicon combined with *Trichoderma harzianum* and organic matter as an environmentally friendly strategy for mitigating salt stress in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). **Sustainability**, v. 16, n. 7, p. 2825, 2024. <https://doi.org/10.3390/su16072825>
- AHMAD, N.; YASIN, D.; BANO, F.; FATMA, T. Beneficial effects of endogenous and exogenous indole-3-acetic acid on cyanobacterial biofertilizer *Cylindrospermum stagnale* cultivated in paddy fields under atrazine stress. **Scientific Reports**, v. 12, n. 1, p. 11175, 2022. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-15415-z>
- ALVES, F. A. T.; LINS, H. A.; ALBUQUERQUE, J. R. T.; PAIVA, E. P.; OLIVEIRA, F. A.; SILVEIRA, L. M.; MENDONÇA, V.; BARROS JÚNIOR, A. P. Germination and vigor of soybean genotypes seeds under saline stress. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 26, n. 12, 939-946, 2022. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v26n12p939-946>.
- AUDEH, S. J. S. A.; SILVA, D. L. da; CAVALHEIRO, H. de M. F.; SILVEIRA, J. M.; MELO, A. J. de; ALMEIDA, A. da S. Análise de plântulas de soja com associação de biofertilizante e produtos químicos no tratamento de sementes. **Revista de Gestão e Secretariado**, v. 16, n. 7, e5116, 2025. <https://doi.org/10.7769/gesec.v16i7.5116>
- AZEVEDO, R. A.; ALAS, R. M.; SMITH, R. J.; LEA, P. L. Response of antioxidant enzymes to transfer from elevated carbon dioxide to air and ozone fumigation, in the leaves and roots of wild-type and a catalase-deficient mutant of barley. **Physiologia Plantarum**, v. 104, n. 2, p. 280–292, 1998. <https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.1998.1040217.x>
- BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, v. 72, n. 1-2, 248–254, 1976. <https://doi.org/10.1006/abio.1976.9999>
- BATES, L. S.; WALDREN, R. P.; TEARE, I. D. Rapid determination of free proline for water-stress studies. **Plant and Soil**, v. 39, 205–207, 1973. <https://doi.org/10.1007/BF00018060>
- BAUENOVA, M. O.; SARSEKEYEVA, F. K.; SADVAKASOVA, A. K.; KOSSALBAYEV, B. D.; MAMMADOV, R.; TOKEN, A. I.; BALOUSH, H.; PASHKOVSKIY, P.; LEONG, Y. K.; CHANG, J.; ALLAKHVERDIEV, S. I. Assessing the efficacy of cyanobacterial strains as *Oryza sativa* growth biostimulants in saline environments. **Plants**, v. 13, n. 17, p. 2504, 2024. <https://doi.org/10.3390/plants13172504>.
- BOORBOORI, M. R.; ZHANG, H. The mechanisms of *Trichoderma* species to reduce drought and salinity stress in plants. **Phyton – International Journal of Experimental Botany**, v. 92, n. 8, p. 2261-2281, 2023. <https://doi.org/10.32604/phyton.2023.029486>.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília, DF: MAPA/ACS, 2009. 399p.

BROETTO, F. **Métodos de trabalho em bioquímica vegetal e tecnologia de enzimas**. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2014. 92 p.

CANNEA, F. B.; PADIGLIA, A. Antioxidant defense systems in plants: mechanisms, regulation, and biotechnological strategies for enhanced oxidative stress tolerance. **Life**, v. 15, n. 8, p. 1293, 2025. <https://doi.org/10.3390/life15081293>

CARDARELLI, M.; ROUPHAEL, Y.; COLLA, G. Seed priming and biostimulant application to improve seed germination under abiotic stress conditions: a review. **Plants**, v. 11, n. 3, p. 354, 2022. <https://doi.org/10.3390/plants11030354>

CHAMOLI, V.; ANOOP, B.; KUMAR, C.; PETWAL, V. Influence of *Trichoderma viride* application on seed quality attributes in black soybean. **Journal of Experimental Agriculture International**, v. 47, n. 7, p. 905–912, 2025. <https://10.9734/jeai/2025/v47i73632>

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. *Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos – Safra 2025*. Brasília, 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/safra-de-graos>

COLTON-GAGNON, K.; ALI-BENALI, M. A.; MAYER, B. F.; DIONNE, R.; BERTRAND, A.; CARMO, S.; CHARRON, J. B. Comparative analysis of the cold acclimation and freezing tolerance capacities of seven diploid *Brachypodium distachyon* accessions. **Annals of Botany**, v. 113, n. 4, p. 681–693, 2014. <https://doi.org/10.1093/aob/mct283>

DA SILVA, D. M. M.; SANTOS, C. C.; WAGNER, F. E.; MARTINS, L.O. M.; OZÓRIO, J. P. A.; DA SILVA, O. A.; RIBEIRO, D. M.; SCALON, S. de P. Q. Seed bioprimer with *Parachlorella* sp., *Bacillus subtilis*, and *Trichoderma harzianum* alleviates the effects of salinity in soybean. **BMC Plant Biology**, v. 24, e1149, 2024. <https://doi.org/10.1186/s12870-024-05646-9>

EFTEKARI, F.; SARCHESHMEPOUR, M.; LOHRASBI-NEJAD, A.; BOROOMAND, N. Effects of mycorrhizal and *Trichoderma* treatment on enhancing maize tolerance to salinity and drought stress, through metabolic and enzymatic evaluation. **BMC Plant Biology**, v. 25, p., 2025. <https://doi.org/10.1186/s12870-025-06729-x>

FATHI, A.; SHIADE, S. R. G.; SALEEM, A.; SHOHANI, F.; FAZELI, A.; RIAZ, A.; ZULFICAR, U.; SHABAAN, M.; AHMED, I.; RAHIMI, M. Reactive oxygen species (ROS) and antioxidant systems in enhancing plant resilience against abiotic stress. **International Journal of Agronomy**, v. 2025, e8834883, p. 1-30. <https://doi.org/10.1155/ija/8834883>

GENG, Y.; CHEN, S.; LV, P.; LI, Y.; LI, J.; JIANG, F.; WU, Z.; SHEN, Q.; ZHOU, R. Positive Role of *Trichoderma harzianum* in Increasing Plant Tolerance to Abiotic Stresses: A Review. **Antioxidants**, v. 14, n. 7, p. 807, 2025. <https://doi.org/10.3390/antiox14070807>.

GIANNOPOLITIS, C.N., REIS, S.K. Superoxide dismutase: I. occurrence in higher plants. **Plant Physiology**, v. 59, p. 309–314, 1997. <https://doi.org/10.1104/pp.59.2.309>

GULCIN, I. Antioxidants: a comprehensive review. **Archives of Toxicology**, v. 99, p. 1893–1997, 2025. <https://doi.org/10.1007/s00204-025-03997-2>

GUO, C. J.; ZHANG, T.; LENG, Q.; et al. The dynamic filament of *Arabidopsis* P5CS facilitates substrate channeling. **Nature Plants**, v. 10, p. 880–889, 2024. <https://10.1038/s41477-024-01697-w>.

GUO Z, ZHANG J, LIU Z, LI Y, LI M, MENG Q, YANG Z, LUO Y, ZHANG Q, YAN M. *Trichoderma harzianum* prevents red kidney bean root rot by increasing plant antioxidant enzyme activity and regulating the rhizosphere microbial Community. **Frontiers in Microbiology**, v. 15, p. 1348680, 2024. <https://10.3389/fmicb.2024.1348680>

HAN, L.; GE, L.; FEI, L.; HUANG, C.; LI, Y.; FAN, W.; ZHU, D.; ZHAO, L. A Comprehensive evaluation of soybean germplasm resources for salt tolerance during germination. **Plants**, v. 14, n. 5, p. 791, 2025. <https://10.3390/plants14050791>

HAN, Z.; CHEN, L.; WANG, W.; GUAN, X.; SONG, J.; MA, S. Biochemical and transcriptomic analyses reveal key pathways of salinity and alkalinity stress response and tolerance in *Salix linearistipularis* inoculated with *Trichoderma*. **Agronomy**, v. 14, n. 10, p. 2358, 2024. <https://10.3390/agronomy14102358>

HU, G.; ZHAO, Z.; WEI, Y.; HU, J.; ZHOU, Y.; LI, J.; YANG, H. *Trichoderma asperellum* 22043: inoculation promotes salt tolerance of tomato seedlings through activating the antioxidant system and regulating stress-resistant genes. **Journal of Fungi**, v. 11, n. 4, p. 253, 2025. <https://10.3390/jof11040253>

JEMO, M.; NKENMEGNE, S.; BUERNOR, A. B.; RAKLAMI, A.; AMBANG, Z.; SOULEYAMANOU, A.; OUHDOUCH, Y.; HAFIDI, M. Mycorrhizas and *Trichoderma* fungi increase the accumulation of secondary metabolites in grain legume leaves and suppress foliar diseases in field-grown conditions of the humid forest of Cameroon. **BMC Plant Biology**, v. 23, n. 582, 2023. <https://doi.org/10.1186/s12870-023-04587-z>

LIU, Z.; XU, N.; PANG, Q.; KHAN, R. A. A.; XU, Q.; WU, C.; LIU, T. A salt-tolerant strain of *Trichoderma longibrachiatum* HL167 is effective in alleviating salt stress, promoting plant growth, and managing fusarium wilt disease in cowpea. **Journal of Fungi**, v. 9, n. 3, art. 304, 2023. <https://10.3390/jof9030304>

MEI, H.; LI, T.; WU, H.; XIA, Y.; HUANG, Q.; LIU, D.; SHEN, Q. Transcriptomic profiling reveals key gene in *Trichoderma guizhouense* NJAU4742 enhancing tomato tolerance under saline conditions. **Agriculture**, v. 15, n. 6, p. 610, 2025. <https://10.3390/agriculture15060610>.

METWALLY, R. A.; AL-AMRI, S. A. Alleviation of the adverse effects of NaCl stress on tomato seedlings (*Solanum lycopersicum* L.) by *Trichoderma viride* through the antioxidative defense system. **Botanical Studies**, v. 64, p. 1-12, 2023. <https://doi.org/10.1186/s40529-023-00368-x>

MOUGA, T.; PEREIRA, J.; MOREIRA, V.; AFONSO, C. Unveiling the cultivation of *Nostoc* sp. under controlled laboratory conditions. **Biology**, v. 13, n. 5, p. 306, 2024. <https://10.3390/biology13050306>.

NAWAZ, T.; SAUD, S.; GU, L.; KHAN, I.; FAHAD, S.; ZHOU, R. Cyanobacteria: Harnessing the power of microorganisms for plant growth promotion, stress alleviation, and

phytoremediation in the era of sustainable agriculture. **Plant Stress**, v. 11, p. 100399, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2024.100399>.

OCO, R. G.; DEVANADERA, M. K.; DE GRANO, R. V. Robles. Utilization of *Nostoc piscinale* as potential biofertilizer to the growth and development of *Oryza sativa* L. Caraka Tani: **Journal of Sustainable Agriculture**, v. 39, n. 1, p. 22-37, 2023/2024. <https://10.20961/carakatani.v39i1.77067>.

RENZETTI, M.; FUNCK, D.; TROVATO, M. Proline and ROS: a unified mechanism in plant development and stress response? **Plants**, v. 14, n. 1, p. 2, 2025. <https://10.3390/plants14010002>

SAHA, K. C.; UDDIN, M. K.; SHAHA, P. K.; CHOWDHURY, M. A. H.; HASSAN, L.; SAHA, B. K. Application of *Trichoderma harzianum* enhances salt tolerance and yield of Indian mustard through increasing antioxidant enzyme activity. **Heliyon**, v. 11, n. 1, e41114, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e41114>

SANTINI, G.; BIONDI, N; RODOLFI L.; TREDICI M. R. Plant biostimulants from cyanobacteria: an emerging strategy to improve yields and sustainability in agriculture. **Plants**, Basel, v. 10, n. 4, p. 643, 2021. <https://10.3390/plants10040643>

SANTOS, L. B. P. R; OLIVEIRA-SANTOS, N.; SILVA DE NOVAIS, D. P.; CRUZ-MAGALHÃES, V.; LOGUERCIO, L. L. Beneficial plants-*Trichoderma* interactions on host tolerance to abiotic stresses: a meta-analysis. **Frontiers in Plant Physiology**, v. 3, p. 1569221, 2025. <https://10.3389/fphgy.2025.1569221>.

SARIOĞLU, A. Growth of soybean plants under saline conditions: the role of potassium and *Bradyrhizobium japonicum* inoculation. **BMC Plant Biology**, v. 25, p. 473, 2025. <https://doi.org/10.1186/s12870-025-06477-y>

SATOH, R.; NAKASHIMA, K.; SEKI, M.; SHINOZAKI, K.; YAMAGUCHI-SHINOZAKI, K. ACTCAT, a novel cis-acting element for proline- and hypoosmolarity-responsive expression of the ProDH gene encoding proline dehydrogenase in *Arabidopsis*. **Plant Physiology**, v. 130, n. 2, p. 709-719, 2002. <https://doi.org/10.1104/pp.009993>

SIDDIQUI, Z. S.; NIDA, K.; CHO, J.; REHMAN, Y.; ABIDEEN, Z. Physiological and photochemical profiling of soybean plant using biological and chemical methods of treatment against biotic stress management. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 208, p. 108454, mar. 2024. <https://10.1016/j.plaphy.2024.108454>.

SINGH, G.; PATEL, A.; TIWARI, S.; PANDEY, A.; KUMAR, S.; PRASAD, S. M. Nitric oxide and 5-aminolevulinic acid up-regulate growth, PS II photochemistry and antioxidant activity in UV-B stressed cyanobacterium *Nostoc muscorum*. **Plant Stress**, v. 11, art. 100332, 2024. <https://10.1016/j.stress.2023.100332>

SITHOLE, N.; GUPTA, S.; DUBE, Z.; OGBE, A.; VAN STADEN, J. Algae and cyanobacteria-based biostimulants in controlling plant-parasitic nematodes: a sustainable approach for crop protection. **Phytoparasitica**, v. 51, p. 803-813, 2023. <https://10.1007/s12600-023-01094-7>

SZYPULSKA, E.; JANKOWSKI, K.; WEIDNER, S. ABA pretreatment can limit salinity-induced proteome changes in growing barley sprouts. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 39, e190, 2017. <https://10.1007/s11738-017-2490-x>

TORIBIO, A. J.; SUÁREZ-ESTRELLA, F.; JURADO, M. M.; LÓPEZ, M. J.; LÓPEZ-GONZÁLEZ, J. A.; MORENO, J. Prospection of cyanobacteria producing bioactive substances and their application as potential phytostimulating agents. **Biotechnology Reports**, v. 26, p. e00449, 2020. <https://10.1016/j.btre.2020.e00449>

VERMA, N., PRASAD, S.M. Regulation of redox homeostasis in cadmium-stressed rice-field cyanobacteria by exogenous hydrogen peroxide and nitric oxide. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 3091, 2021. <https://10.1038/s41598-021-82794-4>

VITALE, S.; SALZANO, F.; STAROPOLI, A.; MARRA, R.; TURRÀ, D.; LORITO, M.; VINALE, F. Nitrogen source orchestrates pH modulation and secondary metabolism in *Trichoderma harzianum*. **Chemical and Biological Tecnologies in Agriculture**, v. 12, p. 19, 2025. <https://doi.org/10.1186/s40538-025-00735-9>

WANG, Z.; LI, Z.; WANG, Z.; LIU, T.; ZHANG, P.; LI, S.; YE, S.; YANG, K.; GAI, Z.; LIU, L. Alkaline stress suppresses soybean waterlogging tolerance by exacerbating energy expenditure and ROS accumulation. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 229, Pt A, p. 110381, 2025. <https://10.1016/j.plaphy.2025.110381>

WU, L.; DONG, J.; SONG, J.; ZHU, Y.; CHE, S.; QIN, X.; XU, Y.; TIAN, S.; WANG, D.; TIAN, P.; WEI, X.; YANG, X.; YANG, M.; WU, Z. The nitrogen fixation characteristics of terrestrial nitrogen-fixing cyanobacteria and their role in promoting rice growth. **Agronomy**, v. 15, n. 1, p. 62, 2025. <https://doi.org/10.3390/agronomy15010062>

YAO, X.; GUO, H.; ZHANG, K.; ZHAO, M.; RUAN, J.; CHEN, J. *Trichoderma* and its role in biological control of plant fungal and nematode disease. **Frontiers in Microbiology**, v. 14, e1160551, 2023. <https://10.3389/fmicb.2023.1160551>

YU, M.; HUANG, L.; KHAN A.; FENG N.; ZHENG D. Exogenous prohexadione-calcium enhances soybean yield under saline-alkali stress by modulating ion homeostasis, ascorbate-glutathione defense and photosynthesis. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 2025. <https://doi.org/10.1016/j.jia.2025.04.005>

ZHANG, F.; WANG, Y; LIU, C; CHEN, F; GE, H.; TIAN, Y. T.; MA, K.; ZHANG Y. *Trichoderma harzianum* mitigates salt stress in cucumber via multiple responses. **Ecotoxicology Environmental Safety**, v. 170, p. 436-445, 2019. <https://10.1016/j.ecoenv.2018.11.084>

ZHOU, L.; YU, C.; NAN, S.; LI, Y.; HU, J.; ZHAO, K.; GUO, J.; WANG, S. PagSOD2a improves poplar salt tolerance by elevating superoxide dismutase activity and decreasing malondialdehyde contents. **Frontiers in Plant Science**, v. 15, 2024. <https://10.3389/fpls.2024.1456249>