

CRESCIMENTO INICIAL DE MUDAS PRÉ-BROTADAS DE CANA-DE-AÇÚCAR MEDIADO POR RIZOBACTÉRIAS

Initial growth of pre-sprouted sugarcane seedlings mediated by rhizobacteria

Raoni Ribeiro Guedes Fonseca Costa

Universidade Estadual de Goiás

Luciana Cristina Vitorino

Instituto Federal Goiano

Lucas Silveira Porto

Universidade Estadual de Goiás

Matheus Henrique Andrade de Paula

Universidade Estadual de Goiás

Davi Vieira Lacerda Barreto

Universidade Estadual de Goiás

Livia Justino da Silva

Universidade Estadual de Goiás

Marco Túlio Ribeiro Campos Costa

Universidade Estadual de Goiás

RESUMO

Na agricultura sustentável, bioinsumos destacam-se por constituírem potenciais alternativas ao emprego de fertilizantes químicos e agrotóxicos. Assim, foi testada a hipótese de que diferentes bioinsumos, constituídos por micro-organismos ou à base de matéria orgânica podem interferir diferencialmente no crescimento inicial de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar. Foi avaliada a capacidade da inoculação com *Bacillus megaterium* + *Bacillus subtilis*, *Paenibacillus alvei*, *Bacillus velezensis* + *Lysinibacillus fusiformis*; Micro-organismos Eficazes (EM), Biocondicionador de solo e Biofertilizante torta de filtro, em afetar o índice de velocidade de brotação (IVB) dos minirrebolos, o percentual de germinação, o crescimento da parte aérea (AP), o comprimento da raiz (CR) e a produção de biomassa fresca (MF) e seca (MS) das mudas. A inoculação com *B. velezensis* + *L. fusiformis* foi a mais eficiente no estímulo ao crescimento inicial das mudas de cana-de-açúcar, proporcionando os melhores IVB, AP e CR, além de um considerável aumento na produção de biomassa. Em contraste, os tratamentos com EM apresentaram desempenho inferior, especialmente em relação ao IVB, AP e MF, e o uso de Torta de Filtro apresentou baixo efeito no IVB, ressaltando a importância de ajustes nas dosagens destes bioinsumos. A inoculação com o mix de *B. velezensis* + *L. fusiformis* se destaca como estratégia promissora para o manejo inicial de mudas de cana-de-açúcar, contribuindo para a formação de plantas mais vigorosas e competitivas, resultando em maior produtividade e sustentabilidade nas práticas agrícolas.

Palavras-chave: bioinsumos; Micro-organismos eficazes; PGPR; rizobactérias.

ABSTRACT

In sustainable agriculture, bioinputs emerged as potential alternatives to the use of chemical fertilizers and pesticides. Therefore, the hypothesis that different bioinputs, consisting of microorganisms or based on organic matter,

can differentially influence the initial growth of pre-sprouted sugarcane seedlings was tested. The capacity of inoculation with *Bacillus megaterium* + *Bacillus subtilis*, *Paenibacillus alvei*, *Bacillus velezensis* + *Lysinibacillus fusiformis*, Effective Microorganisms (EM), Soil Bioconditioner, and Filter Cake Biofertilizer to affect the sprouting speed index (IVB) of mini-sprouts, germination percentage, shoot growth (AP), root length (CR), and the production of fresh (MF) and dry (MS) biomass of the seedlings was evaluated. Inoculation with *B. velezensis* + *L. fusiformis* was the most effective in stimulating the initial growth of sugarcane seedlings, resulting in the best IVB, AP, and CR, as well as a considerable increase in biomass production. In contrast, EM treatments showed inferior performance, especially in relation to IVB, AP and MF, and the use of filter Cake showed low effect on IVB, highlighting the importance of adjustments in the dosages of these bioinputs. The inoculation with the mix of *B. velezensis* + *L. fusiformis* emerges as a promising strategy for the initial management of sugarcane seedlings, contributing to the development of more vigorous and competitive plants, which can lead to increased productivity and sustainability in agricultural practices.

Keywords: bioinputs; Effective microorganisms; PGPR; rhizobacteria.

INTRODUÇÃO

A propagação vegetativa da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) ocorre por meio de partes do colmo que contém as gemas, de forma assexuada por estruturas conhecidas como toletes ou rebolos (Jesus et al., 2019). O sistema de produção por mudas individualizadas utiliza mudas pré-brotadas, que reduzem a quantidade necessária de material propagativo para 2 toneladas por hectare (Gomes, 2018). Esta constitui uma estratégia vantajosa, frente a cerca de 18 a 20 toneladas de material propagativo gastos por hectare nos sistemas convencionais de plantio.

Desta forma as usinas de cana-de-açúcar encontram no sistema de mudas pré-brotadas, uma forma não só de reduzir a quantidade de material propagativo nos plantios, mas de garantir o aumento do vigor e da uniformidade da produção, resultando em plantas com alto padrão de fitossanidade (Landell et al., 2012).

De acordo com os dados divulgados no 6º levantamento da Safra 2024/25, a produção total de cana-de-açúcar no país está estimada em 689,8 milhões de toneladas. Entre os maiores estados produtores sucroalcooleiros do Brasil estão São Paulo (348,16 milhões de toneladas), Minas Gerais (81,97 milhões de toneladas) e Goiás (79,76 milhões de toneladas) (CONAB, 2024). Os fatores que afetam o crescimento e a produtividade da cana-de-açúcar são, temperatura, luminosidade, solo, umidade, variedade, pragas, doenças e nutrientes, sendo o nitrogênio e o fósforo os principais (Manhães et al. 2015).

Dentro de um modelo agrícola que almeja a sustentabilidade, os bioinsumos surgiram como alternativas para suprir as necessidades nutricionais de diferentes culturas (Rosales-Castillo et al., 2025; Srivastava et al., 2019), incluindo a cana-de-açúcar. Bioinsumos derivados de micro-organismos e de seus metabólitos apresentam propriedades que interferem positivamente na promoção do crescimento de plantas (de Souza et al., 2023), como a potencialização da aquisição de nutrientes, atribuída à atividade de bactérias fixadoras de nitrogênio

(Soumare et al., 2020), solubilizadoras ou mineralizadoras de nutrientes como o fósforo e potássio (Khosro et al., 2024; Haskett et al., 2021; Silva et al., 2021). Por outro lado, rizobactérias promotoras do crescimento vegetal podem produzir fitormônios, sintetizar sideróforos, atuar em antibiose a fitopatógenos e estimular a expressão de rotas metabólicas que induzem resistência sistêmica (Andrade et al., 2023; Basu et al., 2021; Ashraf et al., 2013). Assim, os bioinsumos têm sido avaliados como alternativas ao emprego de fertilizantes químicos e agrotóxicos.

Além do uso de micro-organismos, os ácidos húmicos e fúlvicos, provenientes da decomposição da matéria orgânica, também ocasionam alterações fisiológicas nas plantas, contribuindo para um melhor desenvolvimento (Shahrajabian et al., 2024). As substâncias húmicas melhoram as características biológicas e estruturais do solo e aumentam o transporte de íons, o que resulta em melhorias na permeabilidade das membranas (Rodrigues et al., 2017). Estas substâncias também aumentam a respiração e a velocidade das reações enzimáticas do ciclo de Krebs, resultando em acréscimos na produção de ATP e alterando diretamente o metabolismo vegetal (Zandonadi et al., 2007). Estas alterações influenciam significativamente o crescimento e desenvolvimento vegetal.

Por outro lado, a torta de filtro, um subproduto da indústria canavieira, também tem sido avaliado como potencial bioinsumo para diferentes culturas (Soares et al., 2024; Gonçalves et al., 2023). Esta torta é constituída pela mistura de bagaço moído e lodo da decantação, oriundo do processo de tratamento do caldo. A sua utilização como fertilizante orgânico tem sido bastante difundida entre os produtores, devido aos resultados satisfatórios na produção de mudas de cana-de-açúcar (Alves et al., 2017) e ao baixo custo (Júnior et al., 2005).

Diante deste contexto, este trabalho objetivou avaliar o efeito da inoculação de diferentes bioinsumos sobre o crescimento inicial de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar, visando a obtenção de mudas mais vigorosas e competitivas.

MATERIAL E MÉTODOS

O Experimento foi instalado em casa de vegetação climatizada na Universidade Estadual de Goiás Campus Sudoeste, Sede - Quirinópolis - UEG, em Quirinópolis, GO (18°26'54" S; 50°26'48" W e altitude média de 540 m), no ano de 2024. As condições ambientais no interior da casa de vegetação foram programadas para uma temperatura média do ar de 29,5 °C (± 2 °C).

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC), com sete tratamentos, cinco repetições, sendo cada unidade experimental composta por 50 células em uma bandeja, totalizando 350 mudas pré-brotadas (MPB). As células com capacidade de 140 mL apresentam as seguintes dimensões: 58 cm x 39 cm x 9 cm. Os minirrebolos (segmentos de colmos com gemas individualizadas) utilizados para a produção de MPB foram extraídos de colmos semente, cedidas pela Usina Boa Vista (Grupo São Martinho) de canavial com 10 meses de idade da variedade de cana-de-açúcar IAC07-7207.

Após a coleta dos colmos, os minirrebolos foram seccionados com o auxílio de uma guilhotina, previamente esterilizada com álcool 70% e hipoclorido de sódio 1%. Foram obtidos seguimentos de 3 cm, posteriormente acondicionados em bandejas plásticas e submetidos a sanitização térmica a 52 °C por 30 minutos (Sanguineo et al., 2006). Esse tratamento térmico da cana-de-açúcar é recomendado para o controle do raquitismo das soqueiras provocado pela bactéria (*Leifsonia xyli subsp. xyli*). Cumprindo essas medidas fitossanitárias, as gemas foram então submetidas a diferentes tratamentos de inoculação e posteriormente semeadas, uma por cédula, nas bandejas contendo solo autoclavado como substrato. A autoclavagem prévia do solo procedeu-se sob temperatura de 111°C, à pressão de 0,5 atmosfera, por duas horas.

Os tratamentos foram constituídos por Tratamento 1 (T1): micro-organismos solubilizadores de fosfato (MSP), *Bacillus megaterium* e *Bacillus subtilis*, fornecidos por meio do produto comercial BiomaPhos®, Tratamento 2 (T2): rizobactéria promotora do crescimento vegetal (RPCV) *Paenibacillus alvei*; Tratamento 3 (T3): Mix de micro-organismos solubilizadores de fosfato (MSP), *Bacillus velezensis* e *Lysinibacillus fusiformis*, fornecidos por meio do produto comercial Titânico®; Tratamento 4 (T4): Micro-organismos Eficazes (EM); Tratamento 5 (T5): Biocondicionador, fornecido pelo produto comercial Solo Humics®; Tratamento 6 (T6): Biofertilizante torta de filtro e Tratamento 7 (T7): Controle (testemunha) (Tabela 1).

Tabela 01- Tratamentos utilizados em minirrebolos pra fins de produção de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar e dosagens aplicadas dos tratamentos por gema.

Tratamento	Doses
T1: MSP, <i>Bacillus megaterium</i> e <i>Bacillus subtilis</i>	0,2 mL gema ⁻¹
T2: RPCV, <i>Paenibacillus alvei</i>	0,2 mL gema ⁻¹
T3: MSP, <i>Bacillus velezensis</i> e <i>Lysinibacillus fusiformis</i>	0,2 mL gema ⁻¹
T4: Micro-organismos Eficazes (EM)	0,2 mL gema ⁻¹
T5: Biocondicionador (Solo Humics)	Correspondente a 5L ha ⁻¹
T6: Torta de Filtro e Solo	Proporção 70:30 para composto e solo
T7: Controle	

Para a inoculação nos minirrebolos, os produtos biológicos comerciais foram adquiridos no comércio local e utilizados conforme orientações dos fabricantes, já a cepa de *P. alvei*, pertencente à coleção de culturas do Laboratório de Microbiologia Agrícola do IFGoiano, foi crescida em caldo nutriente (Extrato de carne - 1,0 g L⁻¹, extrato de levedura - 2,0 g L⁻¹, peptona - 5,0 g L⁻¹, cloreto de sódio - 5,0 g L⁻¹, pH final de 6,8 ± 0,2). Esta cepa foi caracterizada como BPCP nos estudos de Reis et al. (2021) e Vitorino et al. (2022).

O produto à base de EM foi produzido no Laboratório de Microbiologia Ambiental e Agrícola da UEG Campus Sudoeste Sede-Quirinópolis, seguindo a metodologia proposta por Silva et al. (2021). Para isso, foram construídas “iscas” de arroz cozido em água sem cloro, visando o recrutamento dos EM. As iscas foram preparadas com o cozimento

de 3,5 kg de arroz, que foi posteriormente distribuído em 5 pranchas de madeira de 15x20 cm (700 g de arroz por prancha). As iscas foram instalamos em solo exposto, na Unidade de Conservação Refúgio da Vida Silvestre Serra da Fortaleza, em Quirinópolis - GO, cuja fitofisionomia é caracterizada como floresta de galeria. As iscas foram então cobertas com serapilheira seguindo as orientações de Porto et al. (2020).

A colonização das iscas pela microbiota local foi monitorada diariamente, a partir do 11º dia de incubação, e a colonização total observada já no 15º dia, quando as pranchas foram retiradas e levadas ao Laboratório Multidisciplinar da Universidade Estadual de Goiás - Campus Sudoeste Sede Quirinópolis, para isolamento dos EM.

A seleção das colônias benéficas, ocorreu escolhendo-se daquelas que apresentavam as cores rosa, azul, amarela e laranja, e descartadas as colônias com coloração cinza, marrom e preta, conforme recomendado por Bonfim et al. (2011). Para a ativação dos EM, as colônias selecionadas das cinco pranchas foram inoculadas em 5 litros de melaço de cana dissolvido em 50 litros de água obtida de poço semi-artesiano. A mistura foi realizada em um tambor plástico de 70 litros. O tambor foi hermeticamente fechado e acondicionado à sombra por 25 dias. Para reduzir a pressão do processo fermentativo (anaeróbico) no tambor, este foi aberto a cada dois dias. O inoculante de EM foi obtido no final do processo fermentativo, após 26 dias de incubação.

A torta de filtro foi preparada na proporção de 70:30 de torta de Filtro e Solo, sendo fornecida diretamente pelo fabricante (Usina Boa Vista).

O solo, bem como a torta de filtro utilizados no cultivo das plantas foram previamente submetidos a análises físicas e químicas, avaliando-se três amostras de 500g para cada substrato. Estes apresentaram as seguintes características:

Solo: 194; 48; 758 g kg⁻¹ de argila, silte e areia, respectivamente; pH em CaCl₂: 5,4; Ca: 1,81 cmolc dm⁻³; Mg: 0,68 cmolc dm⁻³; Al: 0,00 cmolc dm⁻³; Al+H: 2,49 cmolc dm⁻³; K: 0,09 cmolc dm⁻³; CTC: 3,74 cmolc dm⁻³; P: 4,1 mg dm⁻³; Cu: 1,2 mg dm⁻³; Zn: 0,05 mg dm⁻³; Fe: 77,4 mg dm⁻³; B: 0,2 mg dm⁻³; M.O.: 7,4g dm⁻³, V% 69,14 e SB 2,59.

Torta de filtro: pH 7,6; 3,3 g kg⁻¹ de N; 11,2 g kg⁻¹ de P2O₅, 14,5 g kg⁻¹ de K₂O; 27,3 g kg⁻¹ de CaO; 5,3 g kg⁻¹ de MgO; 1,2 g kg⁻¹ de S; e relação C:N de 18,8. 1394,3 mg kg⁻¹ de Fe, 289,8 mg kg⁻¹ de Cu, 43,6 mg kg⁻¹ de Zn, 9,1 mg kg⁻¹ de Bo.

Após os tratamentos de inoculação, os minirrebolos foram semeados em profundidade de 2,0 cm, com as gemas voltadas para cima. As bandejas foram mantidas em casa-de-vegetação por um período de 12 dias, sendo as irrigações realizadas diariamente pelo sistema automático de microaspersão, duas vezes ao dia, às 7h da manhã e 16h da tarde com vazão de 5,5 mm.

A emergência das gemas foi avaliada diariamente e os valores utilizados para calcular o índice de velocidade de brotação (IVB). Para isso foi utilizada a equação proposta por Maguire (1962):

$$IVB = (B1/N1) + (B2/N2) + (B3/N3) + \dots + (BN/NN)$$

sendo que IVB = índice de velocidade de brotação (brotação por dia);

B1, B2, B3, ..., BN = número de brotações computadas na primeira, segunda, terceira e última contagem;

e, N1, N2, N3, ..., NN = número de dias do plantio à primeira, segunda, terceira e última contagem.

Aos 12 dias após o plantio (DAP) da cana-de-açúcar, as mudas foram retiradas das bandejas, e as raízes lavadas em água corrente sobre peneiras com malha de 1 mm, para remoção do substrato. Em seguida, foram mensurados os seguintes parâmetros biométricos: Percentual de mudas enraizadas (%), Altura da parte aérea (AP), Comprimento radicular (CR), Matéria fresca total (MF), Matéria seca total (MS).

A AP, em centímetros, foi determinada a partir do nível do substrato até a inserção da última folha com o auxílio de régua milimetrada. As determinações da MS foram efetuadas, secando-se as amostras em estufa de circulação de ar forçada, a 65 °C, por 72 horas. Os resultados foram expressos em g planta⁻¹.

Os dados foram submetidos a teste de normalidade e análise de variância, sendo verificada a significância por meio do teste de F. As diferenças entre as médias dos tratamentos de inoculação foram comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade, utilizando-se o software estatístico R versão 4.4.0 (R Core Team 2024).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao comparar o efeito dos distintos bioinsumos sobre o IVB das mudas-pré-brotadas, aquelas inoculadas com *B. velezensis* + *L. fusiformis* apresentaram os maiores valores (24,10), seguidas por *P. alvei* (15,16), pelo Biocondicionador (15,045). Por outro lado, observamos que as plantas tratadas com Torta de filtro e com EM apresentaram os menores Índices de Velocidade de Brotamento (IVBs) (respectivamente 2,56 e 0,867 (Figura 1a).

De forma geral, os tratamentos de inoculação melhoraram o percentual de enraizamento das mudas de cana-de-açúcar, visto que as mudas menos enraizadas, foram aquelas observadas no tratamento controle (38%) (Figura 1b). Entre os tratamentos de inoculação, os minirrebolos tratados com EM demonstraram o maior percentual de enraizamento (68%).

As plantas inoculadas com *B. velezensis* + *L. fusiformes* atingiram a maior altura média observada (34,50 cm), seguidas diretamente pela tratadas com o Biocondicionador (28,83 cm), *P. alvei* (27,90 cm) e Torta de filtro (28,22 cm). As plantas tratadas com EM, no entanto, demonstraram o pior desempenho em crescimento aéreo (20,20 cm) (Figura 2a).

A inoculação dos minirrebolos com *B. velezensis* + *L. fusiformes* também foi efetiva em promover o desenvolvimento das raízes, observando-se as maiores médias de CR nestas plantas (13,88 cm). Estas foram seguidas das plantas tratadas com o Biocondicionador (12,29 cm) (Figura 2b).

Figura 01 - Brotação e enraizamento de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar (fase de brotação e estabelecimento dos minirrebolos), submetidas a diferentes tratamentos de inoculação com: *Bacillus megaterium* + *Bacillus subtilis*, *Paenibacillus alvei*, *Bacillus velezensis* + *Lysinibacillus fusiformis*, Micro-organismos Eficazes, Biocondicionador de solo e Torta de filtro. Índice de velocidade de brotação (a) e Percentual de plantas enraizadas (b). Plantas avaliadas aos 12 dias após semeadura das gemas.

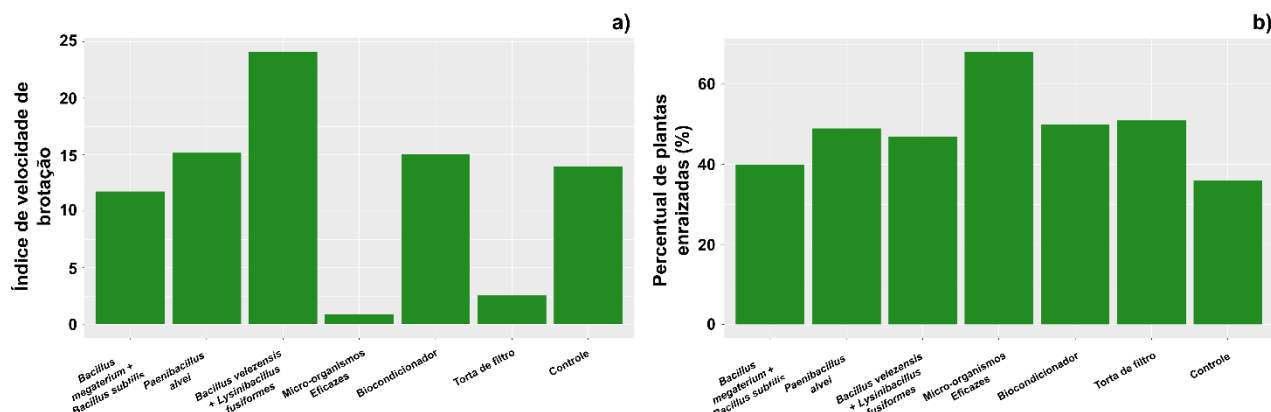
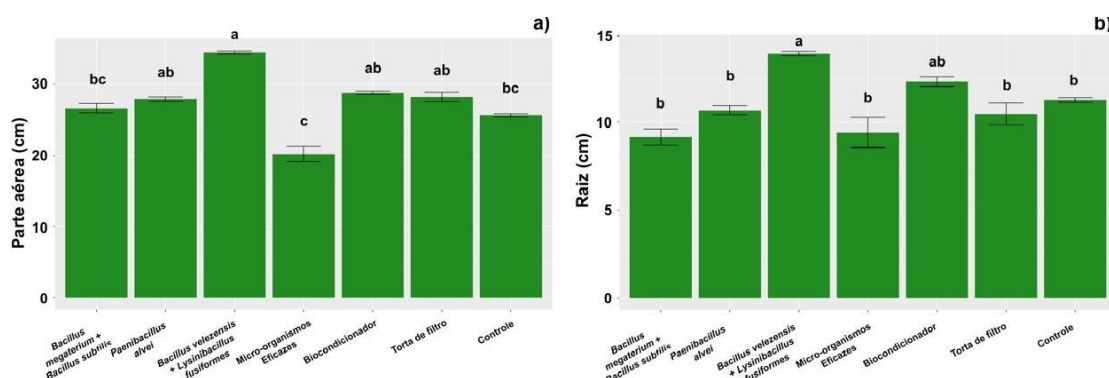


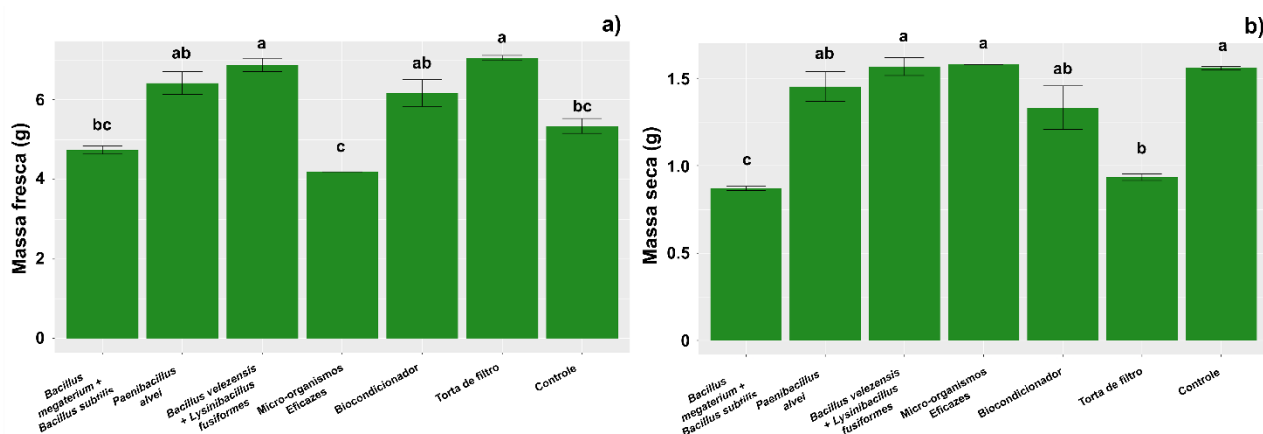
Figura 02 - Crescimento inicial de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar (fase de brotação e estabelecimento dos minirrebolos), submetidas a diferentes tratamentos de inoculação com: *Bacillus megaterium* + *Bacillus subtilis*, *Paenibacillus alvei*, *Bacillus velezensis* + *Lysinibacillus fusiformis*, Micro-organismos Eficazes, Biocondicionador de solo e Torta de filtro. Altura da parte aérea (a) e Comprimento da raiz (b). Plantas avaliadas aos 12 dias após semeadura das gemas. Acima dos histogramas as letras indicam a comparação das médias obtidas por teste Tukey a 5% de probabilidade. Barras seguidas de mesma letra representam médias semelhantes.



Os tratamentos de inoculação também afetaram a produção de biomassa pelas mudas de cana-de-açúcar, de forma que as maiores médias de MF foram observadas nas plantas tratadas com Torta de filtro (7,06 g) e *B. velezensis* + *L. fusiformis* (6,87 g). Estes tratamentos, contudo, mostraram médias semelhantes às verificadas nas plantas tratadas com *P. alvei* (6,42 g) e o Biocondicionador (6,17 g). As menores médias de MF, no entanto, foram obtidas nas plantas tratadas com EM (4,19 g) (Figura 3a).

Quando avaliamos a MS, contudo, as plantas tratadas com EM (1,58 g), bem como as tratadas com *B. velezensis* + *L. fusiformes* (1,57 g), sobressaíram, mas as médias foram semelhantes às observadas nas plantas Controle (1,56 g) e nas inoculadas com *P. alvei* (1,45 g) e o Biocondicionador (1,33 g) (Figura 3b).

Figura 03 - Biomassa de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar (fase de brotação e estabelecimento dos minirrebolos), submetidas a diferentes tratamentos de inoculação com: *Bacillus megaterium* + *Bacillus subtilis*, *Paenibacillus alvei*, *Bacillus velezensis* + *Lysinibacillus fusiformis*, Micro-organismos Eficazes, Biocondicionador de solo e Torta de filtro. Massa fresca (a) e Massa seca (b). Plantas avaliadas aos 12 dias após semeadura das gemas. Acima dos histogramas as letras indicam a comparação das médias obtidas por teste Tukey a 5% de probabilidade. Barras seguidas de mesma letra representam médias semelhantes.



Observamos que o mix das bactérias *B. velezensis* + *L. fusiformes* aumenta o IVB dos minirrebolos de cana-de-açúcar, constituindo uma tecnologia eficiente em desenvolver mudas capazes de romper o substrato mais rapidamente e iniciar a fotossíntese. Mudas que emergem mais rapidamente se tornam mais competitivas na absorção de nutrientes (Pandita et al., 2014). Neste contexto, a utilização de EM e Torta de filtro, quando comparada aos demais tratamentos deve se dar com cautela, indicando necessidade de ajustes nas dosagens. Isso porque dosagens altas destes bioinsumos podem afetar negativamente o crescimento das plantas por diversos motivos, incluindo desequilíbrio na microbiota do solo, que resulta em competições entre os micro-organismos (Chernov e Semenov, 2021); excesso de nutrientes que sobrecarregam o solo e pode levar à toxicidade para as plantas (Marschner, 2012); alterações no pH do solo, dependendo da composição do bioinsumo; presença de compostos fitotóxicos; e danos às raízes, provocados pela superabundância de matéria orgânica, que pode levar à competição por espaço e oxigênio nas zonas radiculares (Leal et al., 2013).

Assim, fontes orgânicas de nutrientes, como a Torta de filtro devem ser avaliados quanto ao grau de estabilidade ou de maturação, que implica em matéria orgânica estável e ausência de componentes fitotóxicos (Leal et al., 2013). Apesar de sua fabricação, a torta de filtro pode conter resíduos químicos, como metais pesados, que em doses elevadas podem ser tóxicos para as plantas (Gupta et al., 2011).

Isso explica os efeitos que observados para o tratamento com Torta de filtro sobre o IVB.

Os EM, no entanto, estimularam o enraizamento das mudas e resultados semelhantes foram verificados em outros estudos que utilizaram este bioinsumo. Borges et al. (2020) avaliaram o vigor de plântulas de milho inoculadas com EM e observaram um aumento de 87% no CR, em comparação ao controle, utilizando a dose de 40 µl. Santos et al. (2020) destacam a presença do gênero *Candida* entre os EM, cuja capacidade de sintetizar ácido indol-3-acético (AIA) foi associada à indução do crescimento radicular. Porto et al. (2020) investigaram o sistema radicular do milho, enquanto Davino et al. (2021) notaram que o uso de EM promoveu melhorias na arquitetura das plantas, resultando em um maior número de folhas e um sistema radicular mais desenvolvido. Este efeito foi especialmente observado no feijão-caupi, com a formação de raízes mais profundas e abundantes. Segundo esses autores, a síntese de auxina pelos EM pode ser a responsável por esse aumento no crescimento radicular, o que deste modo, explica o maior percentual de minirrebolos enraizados.

De forma semelhante, plantas inoculadas com rizobactérias promotoras de crescimento vegetal (RPCV) podem ser beneficiadas pelos efeitos ocasionados pelos fitormônios no desenvolvimento das raízes (Ahmed e Hasnain, 2014). Corroborando com os resultados obtidos neste trabalho, a pesquisa realizada por Gírio et al. 2015 avalia o efeito do uso de RPCV em mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar, apontando que a inoculação aumenta os valores de IVB e o acúmulo de matéria seca das raízes e da parte aérea. Aqui, nós verificamos um efeito interessante de *P. alvei*, sobre o crescimento da parte aérea e sobre o acúmulo de biomassa. Este efeito já é conhecido em outras pesquisas como a de Mohammad et al. (2023) e Kalaiselvi et al. (2019), contudo, o efeito desta bactéria não superou o efeito promotor do crescimento do mix *B. velezensis* + *L. fusiformes*.

Este mix superou todos os tratamentos aqui avaliados, promovendo maior crescimento inicial de mudas de cana-de-açúcar, proporcionando, portanto, a formação de mudas mais competitivas. Pesquisas destacam a eficiência do uso de *Bacillus velezensis* na promoção de atividades agrícolas mais sustentáveis, sendo considerado um potente inoculante microbiano multifuncional pois desempenha papel relevante na solubilização e mineralização de fontes orgânicas de fosfato (P) além de sua capacidade de produzir altas quantidades de auxina (Mosela et al., 2022; Shin et al., 2021). Da mesma forma, a rizobactéria solubilizadora de CaHPO_4 , *Lysinibacillus fusiformis*, segundo Passera et al. (2021), também está relacionada a promoção do crescimento vegetal por sintetizar auxinas e sideróforos. Vitorino et al. (2024) utilizaram o mix destas bactérias para promover o crescimento e aumentar a produtividade em culturas de *Glycine max* L. Desta forma, entre os tratamentos testados, nós indicamos a inoculação de *B. velezensis* + *L. fusiformes* para melhorar o desenvolvimento inicial de mudas de cana-de-açúcar.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nossos resultados demonstraram que a inoculação com *B. velezensis* + *L. fusiformis* foi a mais eficiente no estímulo ao crescimento inicial das mudas de cana-de-açúcar, proporcionando os melhores IVB, AP e CR, além de um considerável aumento na produção de biomassa. Em contraste, os tratamentos com EM apresentaram desempenho inferior, especialmente em relação ao IVB, AP e MF, e o uso de Torta de Filtro apresentou baixo efeito no IVB, ressaltando a importância de ajustes nas dosagens destes bioinsumos, para evitar impactos negativos no desenvolvimento das mudas. Assim, a inoculação com o mix de *B. velezensis* + *L. fusiformis* se destaca como uma estratégia promissora para o manejo inicial de mudas de cana-de-açúcar, contribuindo para a formação de plantas mais vigorosas e competitivas, o que pode resultar em maior produtividade e sustentabilidade nas práticas agrícolas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmed, A.; Hasnain, S. Auxins as one of the factors of plant growth improvement by plant growth promoting rhizobacteria. **Polish Journal of Microbiology**, v. 63, n. 3, p. 261, 2014.
- Alves, D. R.; Abdalla, M. G.; Lima, A. F. Aplicação da torta de filtro como adubo em canaviais. **Anais. I Encontro de Desenvolvimento de Processos Agroindustriais**, 2017.
- Andrade, L. A.; Santos, C. H. B.; Frezarin, E. T.; Sales, L. R.; Rigobelo, E. C. Plant growth-promoting rhizobacteria for sustainable agricultural production. **Microorganisms**, v. 11, n. 4, p. 1088, 2023.
- Ashraf, M. A.; Asif, M.; Zaheer, A.; Malik, A.; Ali, Q.; Rasool, M. Plant growth promoting rhizobacteria and sustainable agriculture: a review. **African Journal of. Microbiology Research**, v. 7, n. 9, p. 704-709, 2013.
- Basu, A.; Prasad, P.; Das, S. N.; Kalam, S.; Sayyed, R. Z.; Reddy, M. S.; El Enshasy, H. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) as green bioinoculants: recent developments, constraints, and prospects. **Sustainability**, v. 13, n. 3, p. 1140, 2021.
- Bonfim, G. P. F.; Honório, I. C. G.; Reis, I. L.; Pereira, A. J.; Souza, D. B. **Caderno dos micro-organismos eficientes (E.M.). Instruções práticas sobre uso ecológico e social do EM**. Viçosa: Univ. Fed. de Viçosa, 32 p., 2011.
- Borges, E. S.; Costa, R. R. G. F.; Porto, L. S. Promoção do vigor em *Pennisetum glaucum* (L.) R. Br com diferentes concentrações de micro-organismos eficientes (EM). **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 15, p. 148-154, 2020.

Chernov, T. I.; Semenov, M. V. Management of soil microbial communities: opportunities and prospects (a review). *Eurasian Soil Science*, v. 54, p. 1888-1902, 2021.

CONAB- ISSN 2318-7921. **Acomp. safra brasileira de cana-de-açúcar**, Brasília, v12 – Safra 2024/25, n.3 - Terceiro levantamento, p. 1-55, Novembro 2024.

Davino, K. S.; Costa, R. R. G. F.; Santos, K. M. C.; Porto, L. S.; Rocha, A. F. S. Micro-organismos eficazes promovem o crescimento do feijão-caupi? *Revista Mirante*, v. 14, p. 165-178, 2021.

De Souza, N. M. P.; Dill, R. E.; Fagundes, D. G. D. S.; Cagliari, A.; Rieger, A. Multivariate analysis of physical-chemical and biological parameters along wheat growth (*Triticum aestivum* L.) and the effects of a phosphorus-solubilizing bioinoculant. *Annals of Applied Biology*, v. 184, n.3, p. 278-287, 2023.

Gírio, L. A. da S.; Dias, F. L. F.; Reis, V. M.; Urquiaga, S.; Schultz, N.; Bolonhezi, D.; Mutton, M. A. Bactérias promotoras de crescimento e adubação nitrogenada no crescimento inicial de cana-de-açúcar proveniente de mudas pré-brotadas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 50, n. 1, p. 33-43, 2015.

Gomes, C. **IAC desenvolve sistema inédito que muda o conceito de plantar cana: dentre os benefícios estão redução do número de mudas e possibilidade de aumento dos ganhos do produtor**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 2018.

Gonçalves, J. C.; Pazian Neto, X. R.; Nunes, E. H.; Pecoraro, C. A.; Gasparotto, F.; Tavares Filho, J. Soybean fertilization with filter cake and its effects on soil chemical attributes. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 27, n. 2, p. 123-134, 2023.

Gupta, N.; Tripathi, S.; Balomajumder, C. Characterization of pressmud: A sugar industry waste. *Fuel*, v. 90, n. 1, p. 389-394, 2011.

Haskett, T. L.; Tkacz, A.; Poole, P. S. Engineering rhizobacteria for sustainable agriculture. *The ISME Journal*, v. 15, n. 4, p. 949-964, 2021.

Jesus, H. I.; Medeiros, M. L. S.; Lopes, M. F. Q.; Oliveira, B. S.; Silva, G. M.; Mielezerski, F. Development and gas exchange of pre-sprouted sugarcane seedlings in three different growing substrate media. *Journal of Experimental Agriculture International*, v. 32, n. 4, p. 1-7, 2019.

Júnior, D. N. O insumo torta de filtro. *IDEA News*, Ribeirão Preto, 2005.

Kalaiselvi, P.; Jayashree, R.; Poornima, R. Plant growth promoting *Bacillus* spp. and *Paenibacillus alvei* on the growth of *Sesuvium portulacastrum* for phytoremediation of salt affected soils.

International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, v. 8, p. 2847-2858, 2019.

Khoso, M. A.; Wagan, S.; Alam, I.; Hussain, A.; Ali, Q.; Saha, S.; Poudel, T. R.; Manghwar, H.; Liu, F. Impact of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) on plant nutrition and root characteristics: Current perspective. **Plant Stress**, v. 11, n. 100341, 2024.

Landell, M. G. A.; Campana, M. P.; Figueiredo, P.; Xavier, M. A.; Anjos, I. A.; Dinardo-Miranda, L. L.; Scarpari, M. S.; Garcia, J. C.; Bidóia, M. A. P.; Silva, D. N.; Mendonça, Jr.; Kathak, R. A.; Campos, M. F.; Brancalião, S. R.; Petri, R. H.; Miguel, P. E. M. **Sistema de multiplicação de muda de cana de açúcar com o uso de mudas pré-brotadas (MPB) oriundas de gemas individualizadas**. Campinas: IAC – Instituto Agrônômico, 16 p., 2012.

Leal, M. D. A.; Balieiro, F. D. C.; Inácio, C. D. T.; de Campos, D. V. B.; Guerra, J.; Zonta, E.; Freire, L. Uso e manejo da matéria orgânica para fins de fertilidade do solo. In: Freire, L. R. (Ed.). **Manual de calagem e adubação do Estado do Rio de Janeiro**. Brasília, DF: Embrapa; Seropédica: Universidade Rural, p. 143-165, 2013.

Maguire, J. D. Speed of germination—Aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, v. 2, n. 1, p. 176-177, 1962.

Manhães, C. M. C.; Garcia, R. F.; Francelino, F. M. A.; de Oliveira Francelino, H.; Coelho, F. C. Fatores que afetam a brotação e o perfilhamento da cana-de-açúcar. **Revista Vértices**, v. 17, n. 1, p. 163-181, 2015.

Marschner, H. **Mineral Nutrition of Higher Plants**. 3rd ed. Academic Press, 2012.

Mohammad, M.; Badaluddin, N. A.; Khandaker, M. M.; Asri, E. A. Potential of *Bacillus toyonensis* and *Paenibacillus alvei* as Plant Growth Promoter on Melon Manis Terengganu (MMT). **Basrah Journal of Agricultural Sciences**, v. 36, n. 2, p. 109-120, 2023.

Mosela, M.; Andrade, G.; Massucato, L. R.; de Araújo Almeida, S. R.; Nogueira, A. F.; de Lima Filho, R. B.; Zeffa, D. M.; Mian, S.; Higashi, A. Y.; Shimizu, G. D.; Teixeira, G. M.; Branco, K. S.; Faria, M. V.; Giacomini, R. M.; Scapim, C. A.; Gonçalves, L. S. A. *Bacillus velezensis* strain Ag75 as a new multifunctional agent for biocontrol, phosphate solubilization, and growth promotion in maize and soybean crops. **Scientific Reports**, 12, 15284, 2022.

Pandita, V. K.; Patil, P.; Tomar, B. S.; Seth, R. Controlled deterioration and paper-piercing tests predict seedling emergence potential in okra seed lots. **Scientia Horticulturae**, v. 179, p. 21-24, 2014.

Passera, A.; Rossato, M.; Oliver, J. S.; Battelli, G.; Shahzad, G. I.; Cosentino, E.; Sage, J. M.; Toffolatti, S. L.; Lopatriello, G.; Davis, J. R.; Kaiser, M. D.; Delledonne, M.; Casati, P. Characterization of *Lysinibacillus fusiformis* strain S4C11: In vitro, in planta, and in silico analyses reveal a plant-beneficial microbe. **Microbiological Research**, v. 244, n. 126665, 2021.

Porto, L. S.; Costa, R. R. G. F.; Silva, F. V.; Rocha, A. F. S. Micro-organismos eficazes e *Azospirillum brasilense*: efeitos sobre a produtividade do milho. **Revista de Biotecnologia & Ciência**, v. 9, p. 11-21, 2020.

R Core Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing: Vienna, Austria. Available online: <https://www.R-project.org/> (accessed on 27 March 2024).

Reis, M. N. O.; Bessa, L. A.; de Jesus, A. P.; Guimarães Silva, F.; Moreira, M. A.; Vitorino, L. C. Efficiency of the hydroponic system as an approach to confirm the solubilization of CaHPO_4 by microbial strains using *Glycine max* as a model. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, n. 759463, 2021.

Rodrigues, L. A.; Alves, C. Z.; Rego, C. H. Q.; Silva, T. R. B.; Silva, J. B. Humic acid on germination and vigor of corn seeds. **Revista Caatinga**, v. 30, n. 1, p. 149-154, 2017.

Rosales-Castillo, R.; Velázquez-de Lucio, B. S.; Hernández-Domínguez, E. M.; Álvarez-Cervantes, J. Bio-inputs: An alternative to achieve sustainable agriculture. **Revista Terra Latinoamericana**, v. 43, 2025.

Sanguino, A.; Moraes, V. A.; Casagrande, M. V. **Curso de formação e condução de viveiros de mudas de cana-de-açúcar**. 43p. 2006.

Santos, L. F. dos; Lana, R. P.; Silva, M. C. S. da; Veloso, T. G. R.; Kasuya, M. C. M.; Ribeiro, K. G. Effective microorganisms inoculant: Diversity and effect on the germination of palisade grass seeds. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 92, n. e20180426, 2020.

Shahrajabian, M. H.; Sun, W. The importance of salicylic acid, humic acid, and fulvic acid on crop production. **Letters in Drug Design & Discovery**, v. 21, n. 9, p. 1465-1480, 2024.

Shin, J. H.; Park, B. S.; Kim, H. Y.; Lee, K. H.; Kim, K. S. Antagonistic and Plant growth-promoting effects of *Bacillus velezensis* BS1 isolated from rhizosphere soil in a pepper field. **The Plant Pathology Journal**, v. 37, n. 3, p. 307-314, 2021.

Silva, F. V.; Costa, R. R. G. F.; Vitorino, L. C.; Porto, L. S.; Santos, S. C.; Santos, T. S.; de Souza Rocha, A. F. The synergistic action of *Azospirillum brasilense* and effective microorganisms promotes growth and increases the productivity of green corn. **Scientia Plena**, v. 17, n. 4, 2021.

Silva, L. I. D.; Pereira, M. C.; Carvalho, A. M. X. D.; Buttrós, V. H.; Pasqual, M.; Dória, J. Phosphorus-solubilizing microorganisms: A key to sustainable agriculture. **Agriculture**, v. 13, n. 462, 2023.

Soares, A. D. A. V. L.; Prado, R. D. M.; Bertani, R. M. D. A.; da Silva, A. P. R.; Deus, A. C. F.; Kano, C.; Furlaneto, F. D. P. B. Contribution of using filter cake and vinasse as a source of nutrients for sustainable agriculture—A review. **Sustainability**, v. 16, n. 5411, 2024.

Soumare, A.; Diedhiou, A. G.; Thuita, M.; Hafidi, M.; Ouhdouch, Y.; Gopalakrishnan, S.; Kouisni, L. Exploiting biological nitrogen fixation: A route towards a sustainable agriculture. **Plants**, v. 9, n. 1011, 2020.

Srivastava, D.; Maurya, R.; Khan, N.; Nayyer, M. A.; Mishra, A.; Fatima, F.; Ahmad, S.; Siddiqui, S.; Siddiqui, M. H. General Introduction of Bio-Inputs Versus Chemical Inputs in Agriculture and Ill Effects. In: Kaushik, B. D.; Kumar, D.; Shamim, Md. (Edit.) **Biofertilizers and Biopesticides in Sustainable Agriculture** (pp. 1-22). Apple Academic Press, 2019.

Vitorino, L. C.; da Silva, E. J.; Oliveira, M. S.; Silva, I. D. O.; Santos, L. D. S.; Mendonça, M. A. C.; Oliveira, T. C. S.; Bessa, L. A. Effect of a *Bacillus velezensis* and *Lysinibacillus fusiformis*-based biofertilizer on phosphorus acquisition and grain yield of soybean. **Frontiers in Plant Science**, v. 15, n. 1433828, 2024.

Vitorino, L. C.; de Souza Rocha, A. F.; Bessa, L. A.; Lourenço, L. L.; da Costa, A. C.; Silva, F. G. Symbiotic microorganisms affect the resilience of *Hymenaea courbaril* L., a neotropical fruit tree, to water restriction. **Plant Stress**, v. 5, n. 100092, 2022.

Zandonadi, D. B.; Canellas, L. P.; Façanha, A. R. Indolacetic and humic acids induce lateral root development through a concerted plasmalemma and tonoplast H⁺ pumps activation. *Planta*, v. 225, n. 6, p. 1583-1595, 2007.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o Grupo São Martinho Usina Boa Vista, a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG) e o Instituto Federal Goiano campus Rio Verde (IFGoiano). Agradecem também o programa de Pós-Graduação em Ambiente e Sociedade da Universidade Estadual de Goiás (UEG). Todas estas instituições foram importantes para o desenvolvimento deste trabalho, permitindo o envolvimento de estudantes, cedendo materiais e infraestrutura.

Contato dos autores/as:

Autor: Raoni Ribeiro Guedes Fonseca Costa
e-mail: raoni.costa@ueg.br

Autora: Luciana Cristina Vitorino
e-mail: luciana.vitorino@ifgoiano.edu.br

Autor: Lucas Silveira Porto
e-mail: lucassilveiraporto92@gmail.com

Autor: Matheus Henrique Andrade de Paula
e-mail: matheushenriquegr312@gmail.com

Autor: Davi Vieira Lacerda Barreto
e-mail: davivlbarreto@gmail.com

Autora: Livia Justino da Silva
e-mail: liviajustino@hotmail.com

Autor: Marco Túlio Ribeiro Campos Costa
e-mail: marcotulioomt03@gmail.com

Manuscrito aprovado para publicação em: 25/06/2025