



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**FRANCISCO LAURIMAR DO NASCIMENTO ANDRADE**

**POTENCIAL BIOESTIMULANTE DE *Trichoderma* spp. NA CULTURA DO JAMBU**

**BELÉM  
2024**

**FRANCISCO LAURIMAR DO NASCIMENTO ANDRADE**

**POTENCIAL BIOESTIMULANTE DE *Trichoderma* spp. NA CULTURA DO JAMBU**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de concentração: Produção vegetal em sistemas agrícolas), da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre.

Orientadora: Profa. Dra. Rafaelle Fazzi Gomes

**BELÉM  
2024**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Bibliotecas da Universidade Federal Rural da Amazônia  
Gerada automaticamente mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

D631p do Nascimento Andrade, Francisco Laurimar

Potencial bioestimulante de Trichoderma spp. na cultura do jambu / Francisco Laurimar do Nascimento Andrade. - 2024.

78 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado) - Programa de PÓS-GRADUAÇÃO em Agronômia(PPGA), Campus Universitário de Belém, Universidade Federal Rural Da Amazônia, Belém, 2024.

Orientador: Profa. Dra. Rafaelle Fazzi Gomes

1. Acmella oleracea. 2. Acmella ciliata. 3. sistema de cultivo. 4. bioestimulação. 5. Amazônia. I. Fazzi Gomes, Rafaelle, *orient.* II. Título

---

CDD 635

# **FRANCISCO LAURIMAR DO NASCIMENTO ANDRADE**

## **POTENCIAL BIOESTIMULANTE DE *Trichoderma* spp. NA CULTURA DO JAMBU**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de concentração: Produção vegetal em sistemas agrícolas), da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre.

Data da aprovação: 30/08/2024

### **BANCA EXAMINADORA:**

Documento assinado digitalmente  
 RAFAELLE FAZZI GOMES  
Data: 23/09/2024 09:52:35-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Profa. Dra. Rafaelle Fazzi Gomes (Orientadora)  
Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA/Capanema

Documento assinado digitalmente  
 CARLOS TADEU DOS SANTOS DIAS  
Data: 26/09/2024 16:33:49-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Dr. Carlos Tadeu dos Santos Dias  
Universidade Federal do Ceará - UFC

Documento assinado digitalmente  
 JOYCE KELLY DO ROSARIO DA SILVA  
Data: 23/09/2024 15:42:29-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Profa. Dra. Joyce Kelly do Rosário da Silva  
Universidade Federal do Pará – UFPA

Documento assinado digitalmente  
 GISELE BARATA DA SILVA  
Data: 24/09/2024 10:47:20-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Profa. Dra. Gisele Barata da Silva  
Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA/Belém

## *Dedico*

*À minha mãe Francisca Araujo do Nascimento e  
ao meu pai Lucivaldo Paixão de Andrade,  
por sonharem junto comigo.*

## *Ofereço*

*Aos meus irmãos Paula Beatriz do Nascimento Andrade e  
José Heitor do Nascimento Andrade por cultivarem em meu coração  
o mais puro, sincero e incondicional amor.*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pela oportunidade de viver com plenitude, aprendendo cotidianamente a seguir os caminhos do bem, e reconhecendo que Ele é o farol que me guia em meio as incertezas, dando forma e luz aos meus maiores sonhos. A Ele, toda a minha vida até o infinito.

Aos meus amados pais, Francisca Araujo e Lucivaldo Paixão, por viverem esse sonho comigo e acreditarem no meu potencial. Obrigado por investirem na educação que me construiu como ser humano e profissional. Que Deus nos mantenha sempre de mãos dadas até depois do fim. Amo vocês!

Aos meus queridos irmãos, Paula Beatriz e José Heitor, pelo amor incondicional que compartilhamos. Que nossas vidas sempre se mantenham entrelaçadas, porque os amo infinitamente. A existência de vocês torna leve todos os meus dias.

À minha tia Aldaléa, por ser um alento em minha vida e por sempre ter disponibilizado sua casa nos momentos que mais precisei, especialmente, nas apresentações ligadas ao Mestrado e em meu exame de qualificação.

Ao meu primo Thalyson Eduardo, que tanto me ajudou na instalação do experimento, transplantio das mudas e nas avaliações agronômicas.

À toda minha família, por acreditarem no meu potencial, cada um a sua maneira. Nossa união me lembra que sempre tenho com quem contar e, embora viaje pelo mundo, sempre terei para onde voltar. Obrigado por toda a ajuda durante a pós-graduação. A vocês, todo meu carinho.

À minha grande amiga e orientadora, Profa. Dra. Rafaelle Fazzi Gomes, por ter construído esse sonho junto comigo. Obrigado por acreditar em mim e no meu trabalho, e por me ensinar que o caminho se faz caminhando, dia após dia. Agradeço por todo conhecimento que me ajudaste a construir, sempre com muita paciência, zelo e dedicação. Para mim, é uma honra poder trabalhar ao lado de uma mulher inteligente, forte e, acima de tudo, inspiradora.

Ao meu tão amado Grupo de Estudos em Olericultura da Amazônia (GEOA), por tudo que aprendi e sigo aprendendo, e por despertar em mim o amor pela pesquisa com hortaliças, especialmente, as não convencionais. O GEOA moldou o profissional que sou.

Aos meus queridos amigos e integrantes do GEOA, Nádia, Andressa, Katyelle, Raylane e Patrícia pela imensurável ajuda em nosso experimento, o qual foi fruto de muita dedicação e empenho, desde a fase de planejamento até a quantificação de espilantol. Vocês são

merecedoras dessa vitória tanto quanto eu. “TEAM GEOA”, para sempre no meu coração e na minha vida.

À Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), pela oportunidade de poder cursar na pós-graduação, de modo a me capacitar como um profissional responsável e alinhado com o desenvolvimento rural sustentável na Amazônia.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PPGAGRO) pelo percurso ao longo desses dois anos, permitindo que eu pudesse me instrumentalizar como profissional das Ciências Agrárias.

Ao meu amigo, Prof. Dr. Lucas da Silva Santos, por todas as contribuições destinadas ao longo destes anos, desde as ajudas no campo, até o suporte nas análises estatísticas e conselhos para melhoria do trabalho. Sua força e amor pela pesquisa me motivam a seguir firme.

Ao Prof. Dr. Marcello Neiva de Mello, por me ajudar nas análises estatísticas desde a fase preliminar do experimento, mas principalmente, na fase final do Mestrado, estando disposto a elucidar quaisquer dúvidas. Agradeço imensamente.

À Fazenda Escola de Igarapé-Açu (FEIGA), pelo espaço utilizado para condução do experimento e por toda infraestrutura disponibilizada.

Ao Leonardo (seu Léo), por sempre me ajudar a resolver os problemas nos canos de irrigação, irrigar as bandejas de mudas e inúmeras outras coisas que auxiliaram diretamente na pesquisa.

Ao Francisco (seu França), pela disponibilidade em me ajudar nos momentos que mais precisei, com muita dedicação e responsabilidade.

À Marinalda (Nana), por ter sido uma grande parceira durante meu dias na FEIGA, deixando tudo muito organizado, para que me sentisse o mais confortável possível.

Ao Wailbe (Primo), pelas inúmeras vezes que irrigou as bandejas de mudas, nunca se negando em ajudar.

Ao Jaconias, gerente da FEIGA, pela disponibilidade em ajudar no que fosse necessário para a contribuir no bom andamento da pesquisa.

À Joelma, secretária da FEIGA, pelo auxílio e flexibilidade de organização dos espaços compartilhados, ao longo da permanência na fazenda.

Ao Arquimedes, por ter sido tão parceiro, buscando facilitar nossas atividades tanto na logística quanto na questão de infraestrutura da FEIGA.

Ao Janilson e Jhon, por toda ajuda que deram na fase de implantação e condução do experimento em campo.

À Profa. Dra. Gisele Barata, por ter disponibilizado as cepas nativas de *Trichoderma asperellum* que foram utilizadas no experimento, e pelos conselhos e dicas para aprimoramento do trabalho.

Ao Lucas Cavalcante, por compartilhar conhecimentos da área de fisiologia vegetal que aprimoraram a pesquisa, estando disposto a auxiliar em todos os momentos que necessitei esclarecer alguma dúvida.

Ao Prof. Dr. Tadeu pela fantástica contribuição na qualificação, sugerindo abordagens estatísticas que deixaram esta dissertação ainda mais completa.

Ao Josué, por ter doado uma das cepas de *T. asperellum* e pela ajuda na realização das análises de microbiologia fúngica, bem como por todas as dicas de inoculação.

Ao Alasse, pela parceria de sempre, nos enviando produtos à base de microrganismos e intermediando os contatos para solicitação de *Trichoderma* spp.

À empresa Horta da Terra, pela disponibilização de espaço e equipamentos para realização do processo de liofilização dos materiais de jambu.

Ao André Barros, pela gentileza na acolhida durante a liofilização, estando sempre disposto em ajudar.

Ao Haroldo e Maurício por terem me ensinado todas as etapas da liofilização e me ajudado em todos os momentos que precisei.

À minha querida amiga Maria, por me acolher em Belém no momento que mais necessitei. Jamais esquecerei sua generosidade e afeto.

Ao Prof. Dr. Nuno Filipe, por ter aberto as portas do Laboratório de Ecologia Aquática e Aquicultura Tropical (LECAT) para que eu continuasse a liofilização.

À Hellen, técnica do LECAT, por me receber tão bem no laboratório, sempre com paciência para me ensinar.

À minha amiga, Paola Fazzi, pela intermediação de contato com o LECAT, e por compartilhar suas chaves do laboratório comigo.

Ao Centro de Valorização de Compostos Bioativos da Amazônia (CVACBA), por disponibilizar os equipamentos e toda infraestrutura necessários às moagens das amostras de jambu e as análises de espilantol.

Ao Prof. Dr. Hervé, por ter acreditado no potencial do trabalho e possibilitado a realização das análises de espilantol no CVACBA.

Ao Bruno Brito, amigo que fiz durante minha passagem pelo CVACBA, pela didática impecável nas explicações sobre extração e preparo das amostras para quantificação de espilantol. Jamais esquecerei a imensa ajuda que me deste.

Ao Carlos Ribeiro, por ter me dado todo o suporte no CVACBA, desde as moagens até a fase de preparo dos extratos de jambu.

À Lorena, discente de iniciação científica do CVACBA, por me auxiliar em inúmeros momentos quando necessitei de vidrarias ou nas explicações sobre técnicas de pipetagem.

Aos meus queridos amigos, Marcilene, Borges e Janderson por terem sido meu porto seguro em Belém, me acolhendo em sua casa como parte da família. Jamais esquecerei tudo o que fizeram por mim ao longo do tempo que morei com vocês. Que Deus abençoe sempre suas vidas.

À minha eterna amiga, Stephanie, pela amizade leve que construímos na pós-graduação, pelas confidências, suporte e partilha. Obrigado pelo auxílio na moagem de jambu e por tudo que fizeste e fazes por mim.

Ao Valdeci, amigo que fiz durante a pós-graduação, por tudo que compartilhamos ao longo desses dois anos, sempre dividindo nossas incertezas e vitórias.

Às minhas maiores incentivadoras no Mestrado, Yasmim, Jarliane e Karla, pela certeza das nossas trocas sinceras e afetuosa. Nossa amizade foi e continua sendo alicerce na minha caminhada.

Às amigas, Raiana Rocha e Nayra Vale, pelos muitos anos de amizade e companheirismo. Vocês me motivam a seguir em frente, independente das adversidades. Quanta sorte em termos nos encontrado nesta vida.

A todos aqueles que, direta ou indiretamente, cruzaram a minha vida no decorrer desses dois anos e contribuíram para o bom andamento desta pesquisa, quer seja ajudando fisicamente ou através de conselhos, dicas e orações. A vocês, fica minha imensa gratidão e carinho.

Muito obrigado!

*"Tem que querer a preparação mais do que se quer o resultado."*

**(Carol Barcellos)**

*"Se você estiver cumprindo a missão da sua vida, nem elogio e nem crítica têm o poder de mudar a sua direção."*

**(Luís Roberto Barroso)**

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Plantas de <i>A. ciliata</i> (a) e <i>A. oleracea</i> (b), cultivadas em ambiente protegido no estado do Pará, evidenciando as diferenças morfológicas.....	18
<b>Figura 2</b> - Estrutura química do metabólito secundário espilantol (N-isobutyl-2(E),6(Z),8(E)-decatrienamide). .....	20
<b>Figura 3</b> - Fluxograma de etapas do preparo e extração etanólica das amostras de variedades locais de jambu associadas com bioestimulantes à base de <i>Trichoderma</i> spp. ....	35
<b>Figura 4</b> - Médias de temperatura (linhas) e umidade relativa (colunas) do ar diurnas (A e B), no ambiente protegido, em função dos dias após o transplantio de variedades locais de jambu associadas com bioestimulantes à base de <i>Trichoderma</i> spp., cultivadas na Fazenda Escola de Igarapé-Açu, PA, no período de dezembro de 2023 a janeiro de 2024.....	37
<b>Figura 5</b> - Comprimento do pecíolo (A) e número de ramificações secundárias (B) de variedades locais de jambu associadas com bioestimulantes à base de <i>Trichoderma</i> spp. ....	40
<b>Figura 6</b> - Desenvolvimento de variedades locais de jambu associadas com bioestimulantes à base de <i>Trichoderma</i> spp. (A) MIX e (B) CBMAI 1622.....	41
<b>Figura 7</b> - Dendrograma obtido via UPGMA, representando a similaridade entre os grupos, representados pelos tratamentos compostos pelas variedades locais de jambu associadas com bioestimulantes à base de <i>Trichoderma</i> spp., considerando a frequência de discrepância para ALT: altura de planta; NF: número de folhas; DC: diâmetro do coleto.....	44
<b>Figura 8</b> - Biplot da análise de componentes principais (PCA) para altura de planta (ALT), número de folhas (NF) e diâmetro do coleto (DC) de variedades locais de jambu associadas com bioestimulantes à base de <i>Trichoderma</i> spp. ....	45
<b>Figura 9</b> - Dendrograma obtido via UPGMA, representando a similaridade entre os grupos, representados pelos tratamentos compostos pelas variedades locais de jambu associadas com bioestimulantes à base de <i>Trichoderma</i> spp., considerando a frequência de discrepância para variáveis de trocas gasosas, crescimento e produção de biomassa.....	50
<b>Figura 10</b> - Biplot da análise de componentes principais (PCA) para as variáveis de trocas gasosas (A, gs, E, Ci e UEA), crescimento (DPF, CRP, NRS e NF) e produção de biomassa (MFPA, MSPA, PROD, PRODMS, PRODINF e PRODINFMS) de variedades locais de jambu associadas com bioestimulantes à base de <i>Trichoderma</i> spp. ....	51
<b>Figura 11</b> - Cromatograma de pico do extrato metanólico de inflorescências de variedades locais de jambu associadas com bioestimulantes à base de <i>Trichoderma</i> spp., apresentando a	

faixa de absorbância e o tempo de retenção. Jamb03-AD (A) versus Jamb03-MIX (B); Jamb17-AD (C) versus Jamb17-MIX (D); Jamb16-AD (E) versus Jamb16-MIX (F). .....52

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Espécie, município de coleta, clima, coordenadas geográficas e código de registro de variedades locais de <i>Acmella</i> spp. selecionadas para a inoculação com <i>Trichoderma</i> spp.	31
<b>Tabela 2</b> - Atributos químicos, composição granulométrica e classe textural do solo na camada de 0-20 cm da área experimental (Setor I: lado esquerdo; Setor II: lado direito).	32
<b>Tabela 3</b> - Níveis de umidade relativa (%) e temperatura (°C) do solo das parcelas experimentais, na profundidade de 0-15 cm, para o período diurno, em função dos dias após o transplantio de variedades locais de jambu associadas com bioestimulantes à base de <i>Trichoderma</i> spp., cultivadas na Fazenda Escola de Igarapé-Açu, PA, no período de dezembro de 2023 a janeiro de 2024.....	38
<b>Tabela 4</b> - Resumo da análise de variância multivariada (MANOVA), indicando o valor estatístico de Wilks e o valor de F para três variáveis respostas da fase de muda analisadas simultaneamente: <i>i</i> ) altura de planta (ALT); <i>ii</i> ) número de folhas (NF) e <i>iii</i> ) diâmetro do coleto (DC) de variedades locais jambu associadas com bioestimulantes à base de <i>Trichoderma</i> spp.	41
<b>Tabela 5</b> - Teste multivariado dos efeitos simples: variedade dentro de bioestimulante e valor- <i>p</i> , para a comparação dos contrastes testados pela estatística de Wilks.	42
<b>Tabela 6</b> - Valores médios de altura de planta (ALT), número de folhas (NF) e diâmetro do coleto (DC), de variedades locais de jambu associadas com bioestimulantes à base de <i>Trichoderma</i> spp., e seus respectivos tratamentos adicionais sem inoculação.	43
<b>Tabela 7</b> - Resumo da análise de variância multivariada (MANOVA), por meio do teste Lambda de Wilks, indicando a aproximação de F e a probabilidade para o teste F de cinco variáveis respostas analisadas simultaneamente: <i>i</i> ) assimilação líquida de CO <sub>2</sub> (A); <i>ii</i> ) condutância estomática (gs); <i>iii</i> ) transpiração (E); <i>iv</i> ) concentração interna de CO <sub>2</sub> e <i>v</i> ) uso eficiente da água (UEA).	46
<b>Tabela 8</b> - Valores médios de assimilação líquida de CO <sub>2</sub> (A), condutância estomática (gs), transpiração (E), concentração interna de CO <sub>2</sub> (Ci) e uso eficiente da água (UEA) de variedades locais de jambu associadas com bioestimulantes à base de <i>Trichoderma</i> spp.	46
<b>Tabela 9</b> - Resumo da análise de variância multivariada (MANOVA), indicando a aproximação de F e a probabilidade para o teste F de 11 variáveis-resposta analisadas simultaneamente: <i>i</i> ) dias para o florescimento (DPF); <i>ii</i> ) comprimento da ramificação principal (CRP); <i>iii</i> ) diâmetro da ramificação principal (DRP); <i>iv</i> ) número de ramificações secundárias (NRS); <i>v</i> ) número de folhas (NF); <i>vi</i> ) massa fresca da parte aérea (MFPA); <i>vii</i> ) massa seca da parte aérea (MSPA);	

<i>viii)</i> produtividade de massa fresca (PROD); <i>ix</i> ) produtividade de massa seca (PROD MS); <i>x</i> ) produtividade de massa fresca de inflorescências (PRODINF) e <i>xi</i> ) produtividade de massa seca de inflorescências (PRODINFMS).....	47
<b>Tabela 10</b> - Valores médios de dias para o florescimento (DPF), comprimento da ramificação principal (CRP), número de ramificações secundárias (NRS), número de folhas (NF), massa fresca da parte aérea (MFPA), massa seca da parte aérea (MSPA) de variedades locais de jambu associadas com bioestimulantes à base de <i>Trichoderma</i> spp. ....	48
<b>Tabela 11</b> - Valores médios de produtividade de massa fresca (PROD), produtividade de massa seca (PRODMS), produtividade de massa fresca de inflorescências (PRODINF) e produtividade de massa seca de inflorescências (PRODINFMS) de variedades locais de jambu associadas com bioestimulantes à base de <i>Trichoderma</i> spp. ....	49
<b>Tabela 12</b> - Comparativo do teor de espilantol em extratos metanólicos de inflorescências de variedades locais de jambu associadas com bioestimulantes à base de <i>Trichoderma</i> spp, e seus respectivos tratamentos adicionais (sem inoculação).....	54

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>CONTEXTUALIZAÇÃO.....</b>	<b>16</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>18</b>
<b>2.1</b>	<b>A cultura do jambu .....</b>	<b>18</b>
<b>2.2</b>	<b>Gênero <i>Trichoderma</i> spp.....</b>	<b>21</b>
<b>2.3</b>	<b>Interação <i>Trichoderma</i>-genótipo.....</b>	<b>23</b>
<b>3</b>	<b>PRODUTIVIDADE E TEOR DE ESPILANTOL EM VARIEDADES LOCAIS DE JAMBU MODULADAS PELO USO DE <i>Trichoderma</i> spp. COMO BIOESTIMULANTE.....</b>	<b>26</b>
	<b>RESUMO .....</b>	<b>26</b>
	<b>ABSTRACT .....</b>	<b>27</b>
<b>3.1</b>	<b>Introdução.....</b>	<b>28</b>
<b>3.2</b>	<b>Material e métodos .....</b>	<b>29</b>
3.2.1	Localização experimental e condições ambientais.....	29
3.2.2	<i>Screening</i> de bioestimulantes .....	29
3.2.3	Delineamento experimental.....	30
3.2.4	Descrição do sistema de cultivo .....	31
3.2.5	Análises microbiológicas .....	33
3.2.6	Parâmetros fisiológicos .....	33
3.2.7	Avaliações de crescimento e produtividade .....	33
3.2.8	Extração e quantificação de espilantol .....	34
3.2.9	Análise estatística.....	36
<b>3.3</b>	<b>Resultados .....</b>	<b>37</b>
3.3.1	Monitoramento climático .....	37
3.3.2	Microbiologia fúngica da área experimental.....	38
3.3.3	<i>Screening</i> de bioestimulantes .....	39
3.3.4	Ensaio I - Desenvolvimento vegetativo em fase de muda .....	41
3.3.5	Ensaio II – Desenvolvimento vegetativo e produtivo .....	45
3.3.6	Conteúdo de espilantol .....	52
<b>3.4</b>	<b>Discussão .....</b>	<b>54</b>
3.4.1	Monitoramento climático .....	54
3.4.2	Microbiologia fúngica .....	55
3.4.3	<i>Screening</i> de bioestimulantes .....	55

3.4.4	Ensaio I - Desenvolvimento vegetativo em fase de muda .....	56
3.4.5	Ensaio II – Desenvolvimento vegetativo e produtivo .....	58
3.4.6	Conteúdo de espilantol .....	63
<b>3.5</b>	<b>Conclusão .....</b>	<b>64</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>66</b>
<b>4</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>71</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>72</b>

## 1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A utilização de bioestimulantes na agricultura tem sido uma estratégia de manejo eficiente, apresentando resultados consistentes, relacionados principalmente ao adequado aproveitamento de nutrientes do solo, promoção de crescimento, adaptação a estresses abióticos, indução de resistência, dentre outros (Rouphael; Colla, 2020). As principais categorias de bioestimulantes vegetais incluem ácidos húmicos e fúlvicos, hidrolisados de proteínas, extratos de algas marinhas e vegetais, quitosanas, compostos inorgânicos, fungos e bactérias (Jardin, 2015).

Diversas pesquisas comprovam os benefícios da aplicação dos bioestimulantes vegetais, especialmente os de base microbiana como fungos, promovidos a partir da interação com as plantas (Pereira *et al.*, 2019; Vieira *et al.*, 2021). Entretanto, os efeitos benéficos dependem da correta sinalização química e nutricional entre planta e microrganismo, além de fatores como solo e clima (Bucio; Flores; Estrella, 2015). No cenário atual de crescimento da demanda por alimentos, aliado à sustentabilidade, considera-se fundamental a utilização de microrganismos para melhorias na produtividade e viabilidade da cadeia alimentar global (Lanzuise *et al.*, 2022).

Os fungos do gênero *Trichoderma* spp. são fortemente utilizados na agricultura, em razão da capacidade antagônica a patógenos (Prashar; Vandenberg, 2017). Porém, ao longo dos anos, cepas de *Trichoderma* spp. têm sido avaliadas quanto ao potencial na promoção do crescimento e aumento na produtividade das culturas, devido a produção de metabólitos semelhantes a auxina (AIA) e melhorias na absorção de nutrientes do solo, ocasionando mudanças no metabolismo da planta (García *et al.*, 2015).

Na horticultura, espécies de *Trichoderma* spp. são utilizadas em culturas diversas e com objetivos distintos, sejam eles relacionados ao biocontrole (Silva *et al.*, 2015), promoção de crescimento (García *et al.*, 2015), aumento na absorção de nutrientes, principalmente pela capacidade de solubilizar fósforo (França *et al.*, 2017) e melhoria na qualidade dos produtos pós-colheita (Ji *et al.*, 2020). Em hortaliças, resultados positivos podem ser encontrados tanto naquelas destinadas à produção de folhas (alface e rúcula), quanto nas que o produto de interesse são frutos (tomate) e bulbos (cebola), ditas hortaliças convencionais (García *et al.*, 2015; Fiorentino *et al.*, 2018; Corsini *et al.*, 2021).

Para hortaliças não-convencionais (PANCs), nomenclatura esta derivada da regionalidade a qual estão ligadas e ausência de estruturação da cadeia produtiva (Brasil, 2010), o uso de *Trichoderma* spp. como bioestimulantes é escasso. Apesar disso, algumas culturas de hortaliças não-convencionais exibem notável potencial produtivo a nível de indústria, como é

o caso do jambu (*Acmella* spp.), em virtude dos compostos bioativos provenientes do seu metabolismo secundário, sendo o espilantol um dos mais pesquisados atualmente (Dallazen *et al.*, 2019).

Assim, associações de *Trichoderma* spp. em cultivos de jambu podem ser eficientes como estratégia de manejo, pois além dos benefícios diretos, algumas cepas deste gênero de fungo proporcionam efeitos no metabolismo primário, e consequentemente no secundário, este responsável pela produção de compostos bioativos (Singh *et al.*, 2018; Santos, 2020). Porém, embora com resultados promissores, efeitos negativos podem ser encontrados em genótipos ou variedades distintas da mesma cultura, ocasionados pela diferença na colonização das raízes ou produção de metabólitos prejudiciais pelas cepas (Bucio; Flores; Estrella, 2015).

Neste sentido, pesquisas que avaliem a influência de bioestimulantes de base microbiológica na cultura do jambu, como *Trichoderma* spp. são essenciais, pois tendem a possibilitar melhorias no produto final, agregando valor e tornando a cultura competitiva frente ao mercado nacional.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 A cultura do jambu

O jambu (*Acmella* spp.) é uma hortaliça não convencional pertencente à família Asteraceae, e amplamente utilizada na região norte do Brasil, pois integra a culinária local, estando presente em diversos pratos típicos (Homma *et al.*, 2011). Embora bastante cultivado na agricultura familiar, o jambu ainda não integra os dados estatísticos de produção e comercialização no estado do Pará (Borges; Goto; Lima, 2014).

O gênero *Acmella* spp. é considerado pantropical, visto que sua distribuição geográfica está concentrada nas regiões tropicais, estando presente nos mais diversos continentes, como América do Norte, Central e do Sul, África, Ásia e Oceania (Silva; Santos, 2011). Além disso, este gênero integra cerca de 30 espécies e nove variedades, dentre elas *A. ciliata* (Kunth) Cass. (Figura 1) e *A. oleracea* (L.) R. K. Jansen (Figura 1), sendo esta a mais cultivada no estado do Pará. Representantes desse gênero são considerados anuais ou perenes, podendo apresentar hábito de crescimento ereto ou semiereto (Jansen, 1985).

**Figura 1** - Plantas de *A. ciliata* (a) e *A. oleracea* (b), cultivadas em ambiente protegido no estado do Pará, evidenciando as diferenças morfológicas.



Fonte: O autor (2024).

A espécie *A. oleracea* é representada por plantas anuais, que podem atingir até 90 cm de altura. As ramificações geralmente são decumbentes a ascendentes, com coloração situada entre o verde e vermelho, sem a presença de pelos. Os pecíolos medem entre 2 a 6,5 cm de comprimento, são alados, estreitos, sem pelos ou pouco pilosos; lâminas foliares amplamente ovais a deltadas, com ápice curto, acuminado a agudo, margens dentadas, base truncada a curta atenuada, sem pelos em ambos os lados (Chung *et al.*, 2008).

Os pedúnculos medem entre 3,5 a 12,5 cm de comprimento, com pilosidade esparsa ou muito esparsa. As inflorescências são formadas por capítulos discoides, solitários, terminais e cilíndricos, medindo entre 10,5 a 23,5 mm de altura e 11 a 17 mm de diâmetro. As flores são numerosas, dispostas em formato de disco, bissexuadas e amarelas. Os aquêniros são pretos, com dimensões de 2-2,5×0,9-1,1 mm (Chung *et al.*, 2008).

Nas regiões produtoras, o cultivo de jambu é realizado majoritariamente em solos, porém resultados na literatura demonstram que a cultura responde satisfatoriamente quando cultivada em sistema hidropônico, em função da maximização no desenvolvimento vegetativo, número de inflorescências e composição química dos diferentes órgãos da planta, tornando possível expandir a produção de jambu para diferentes mercados (Nascimento *et al.*, 2020; Sampaio *et al.*, 2022).

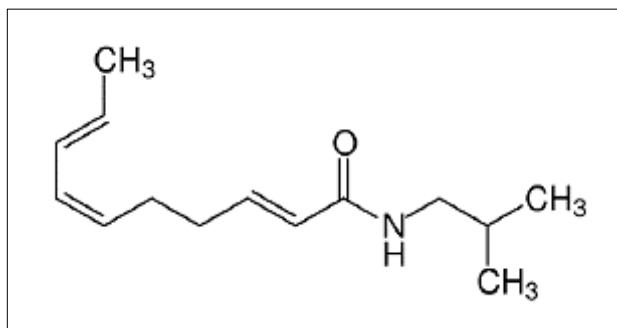
Embora seja uma hortaliça com alta afinidade por água, lâminas de irrigação acima ou abaixo da capacidade de campo levam a diminuição no tamanho da planta e redução na massa das folhas, caules e raízes, inviabilizando a comercialização do produto com qualidade (Gaia *et al.*, 2020). De acordo com Aviz *et al.* (2019), tensão no solo de 18 kPa é ideal para o cultivo, com aplicação de lâmina de irrigação correspondente a 11,43 mm, de modo a promover aumento no acúmulo de massa fresca da parte aérea, o que impacta positivamente na produtividade.

A cultura do jambu, mesmo sendo cultivada por agricultores familiares, tem apresentado elevada necessidade de crescimento em área plantada e produtividade, em razão de seus diversos potenciais de usos, que incluem mais que o consumo da planta *in natura*, destacando-se também a produção de inflorescências. Atualmente, o cultivo de jambu para produção de inflorescências, visa abastecer a demanda do mercado produtor de cachaças artesanais, geleias, e compor receitas diferenciadas, como sorvetes e pratos finos, por exemplo. Além do mais, as inflorescências secas vêm sendo demandadas pelas indústrias de cosméticos, as quais, de acordo com Savic *et al.* (2021) utilizam o extrato purificado de jambu para composição de cremes anti-idade.

Além disso, um novo nicho de exploração do jambu, refere-se também à sua comercialização na forma de pó, obtido por meio da técnica de liofilização, permitindo conservar as características nutracêuticas da planta. No mesmo contexto de potencialidades, a indústria de produtos eróticos vem aumentando sua demanda por plantas de jambu, visando diversificar seu portfólio, a partir de diversas fórmulas em gel com extrato de jambu na composição, que em contato com boca e mucosas proporcionam efeitos de analgesia.

O interesse das indústrias alimentícias, farmacêuticas e de cosméticos no jambu refere-se a presença de um metabólito secundário conhecido como espilantol (Figura 2). Este composto é uma das alcamidas mais abundantes nas plantas de jambu, responsável pela sensação de formigamento quando em contato com a boca (Sut *et al.*, 2020). Maiores conteúdos de espilantol são encontrados na parte aérea da planta, especialmente nas inflorescências, sendo pouco biossintetizado nos tecidos radiculares (Bellumori *et al.*, 2022). Conforme Savic *et al.* (2021), o espilantol é uma N-alquilamida altamente fotoestável, mesmo quando extraída a partir de diferentes solventes, o que confere potencial ao composto nas formulações submetidas a radiações ultravioleta.

**Figura 2** - Estrutura química do metabólito secundário espilantol (N-isobutyl-2(E),6(Z),8(E)-decatrienamide).



Fonte: SUT *et al.* (2020).

Devido aos inúmeros compostos bioativos presentes na planta de jambu, como flavonoides, compostos fenólicos e alcamidas, especialmente o espilantol, certas propriedades farmacológicas são apresentadas com a sua utilização, dentre elas destacam-se as seguintes: analgésica, antipirética, anti-inflamatória, antifúngica, vasorelaxante, larvicida, diurética, afrodisíaca, dentre outras (Dubey *et al.*, 2013). Por possuir elevada capacidade analgésica, o extrato de jambu vem sendo utilizado como matéria-prima para desenvolvimento de anestesias tópicas a serem utilizadas na mucosa oral, fomentando pesquisas na área da indústria farmacêutica (Freitas-Blanco *et al.*, 2016).

O jambu é considerado uma planta de utilização segura, com ausência de toxicidade para humanos, tendo sido o espilantol avaliado por órgãos de segurança alimentar internacionais, como a Flavor and Extract Manufacturers Association (FEMA), com sede nos EUA, e a European Food Safety Authority (EFSA), autoridade representante da União Europeia (FEMA, 2000; EFSA, 2015). Além disso, a Itália adicionou o jambu na lista de plantas que podem ser utilizadas na formulação de suplementos e suprimentos alimentares do país (Gazzetta Ufficiale, 2018).

No Brasil, de acordo com dados do Instituto Nacional da Pesquisa Industrial (INPI), o crescimento de pedidos nacionais de patentes com formulações contendo extrato de jambu, destinadas principalmente para fins analgésicos e cosmetológicos, mostra o potencial desta hortaliça no setor industrial brasileiro (Brasil, 2023). Nos últimos seis anos, cerca de nove pedidos ou renovação de patentes das formulações com extrato de jambu foram depositados na base de dados do instituto.

## 2.2 Gênero *Trichoderma* spp.

O gênero *Trichoderma* spp. abrange fungos de vida livre, habitantes de solo, que podem ser encontrados tanto em clima tropical quanto temperado, colonizando desde matéria orgânica em decomposição até a rizosfera de plantas (Abreu; Pfenning, 2019). A interação com as plantas é intermediada por sinalizações químicas, sendo os exsudados radiculares, a exemplo da sacarose, responsáveis pela atração dos fungos, e ao mesmo tempo estes secretam proteínas para estabelecer contato, se fixar nos pelos radiculares e penetrar nos tecidos (Mendoza *et al.*, 2018). Quando em colonização com as raízes, este gênero de fungos desencadeiam uma série de respostas nas plantas que auxiliam desde o desenvolvimento de resistência a condições adversas, como salinidade e seca, até a promoção de crescimento (Bucio; Flores; Estrella, 2015).

*Trichoderma* spp. pertencem à classe Sordariomycetes (filo Ascomycota), caracterizados por formar corpo de frutificação do tipo peritécio nas espécies onde a fase sexuada é conhecida, sendo originado nesta uma massa compacta que corresponde as hifas entrelaçadas, podendo se apresentar nas tonalidades verde, amarela, creme ou marrom (Abreu; Pfenning, 2019). Ainda segundo os autores, na fase assexuada, principal forma de propagação do gênero, os fungos se originam a partir de micélio vegetativo, composto por conidióforos e ramificações laterais contendo fiálices, estas produzem os conídios, que são estruturas unicelulares, verdes na maioria das espécies.

As cepas de *Trichoderma* spp. possuem mecanismos que permitem a colonização das raízes, processo semelhante ao que ocorre com fungos micorrízicos, portanto, a interação entre cepa e raízes promove alteração no ambiente rizosférico, garantindo maior assimilação de nutrientes, controle de fungos fitopatogênicos, resistência a adversidades climáticas e aumento da biomassa vegetal (Mahmoodian *et al.*, 2022). A alta versatilidade de *Trichoderma* spp. está associada em grande parte ao seu hábito alimentar, que inclui saprotrofia, micotrofia e absorção de açúcares exsudados pelas plantas na rizosfera (Bucio; Flores; Estrella, 2015).

Ao colonizar as raízes, o *Trichoderma* spp. penetra na região externa dos tecidos que compõem o sistema radicular, de modo a estabelecer relação de mutualismo com a planta, sendo que ambas as espécies se beneficiam na interação fungo-raiz, pois os fungos se alimentam dos compostos exsudados pelas raízes, e liberam substâncias na rizosfera que beneficiam o desenvolvimento radicular (Bucio; Flores; Estrella, 2015). Além disso, a capacidade de *Trichoderma* spp. em solubilizar fosfato e produzir ácido 3-indolacético (AIA), auxilia na promoção de crescimento da planta (Oliveira *et al.*, 2012; França *et al.*, 2017).

Representantes do gênero *Trichoderma*, além da capacidade em micoparasitar outros fungos, exibem mecanismos de antibiose e liberam diversos metabólitos secundários no solo, sendo eles voláteis, não voláteis e difusíveis, que possibilitam principalmente proteção da planta e solubilização de nutrientes (Patil; Patil; Paikrao, 2016). A solubilização de fósforo é uma das mais reconhecidas neste gênero de fungos, visto que o micélio fúngico libera diferentes compostos na zona rizosférica, dentre eles, ácidos orgânicos e sideróforos, promovendo aumento na liberação de fósforo para a solução do solo, além de influenciar na disponibilidade e absorção de ferro e outros nutrientes (Chagas *et al.*, 2016; Santos *et al.*, 2021).

De acordo com Chagas *et al.* (2016), a capacidade de solubilização de fósforo apresentada por *Trichoderma* spp., estaria relacionada com uma possível acidificação do meio em que os fungos se encontram, em virtude da liberação dos ácidos orgânicos. A diminuição do pH na rizosfera favorece a disponibilidade de nutrientes para as raízes, como acontece com os íons de fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) e ferro ( $\text{Fe}^{2+}$ ), que ficam prontamente absorvíveis com a redução do pH (Taiz *et al.*, 2017).

Conforme Bucio, Flores e Estrella (2015), mais de 60% de todos os produtos formulados a base de *Trichoderma* possuem pelo menos um isolado, ou um mix de espécies. As espécies mais utilizadas para biocontrole incluem *T. asperellum*, *T. atroviride*, *T. harzianum*, *T. virens* e *T. viride*, muito embora a maioria destas espécies atuem como promotores de crescimento de plantas.

Em trabalho de Silva *et al.* (2011), avaliando diferentes isolados de fungos do gênero *Trichoderma* e o produto comercial Trichodermil®, para promoção de crescimento e indução de resistência à antracnose em pepineiro, foi observado que 19 isolados de *Trichoderma* spp. e o produto Trichodermil promoveram os resultados esperados. Além disso, a pesquisa evidenciou que as espécies mais promissoras para aumentar o crescimento de pepineiro e induzir resistência foram *T. harzianum*, *T. asperellum*, *T. atroviride*, *T. strigosum*, *T. longibrachiatum* e *T. koningiopsis*.

Algumas espécies de *Trichoderma* spp., possibilitam além da promoção de crescimento, aumento na germinação de sementes, como por exemplo a espécie *T. harzianum*, pois resultados de Pereira *et al.* (2019), avaliando diferentes cepas na cultura da alface mostraram que a cepa constituída por *T. harzianum* promoveu resultados superiores tanto em ensaio de laboratório quanto em campo. Além disso, Corsini *et al.* (2021), observaram aumento no número e peso dos frutos de minitomateiro, inoculados com a espécie *T. asperellum*.

Os fungos do gênero *Trichoderma* spp. podem ser aplicados diretamente nas sementes, em substratos, ou no solo de cultivo, em pré ou pós transplantio das mudas (Pereira *et al.*, 2019; Corsini *et al.*, 2021). Melhores resultados relacionados a absorção de nutrientes e desenvolvimento das raízes são verificados quando os inóculos de *Trichoderma* spp. são aplicados nos estágios iniciais de desenvolvimento da cultura, de modo que a colonização dos fungos potencializa os benefícios à planta (Bucio; Flores; Estrella, 2015). Entretanto, os mesmos autores citam que a promoção do crescimento ocasionado pós aplicação de *Trichoderma* spp. apresentam-se maiores ou menores dependendo da cultura ou do genótipo da planta cultivada.

### **2.3 Intereração *Trichoderma*-genótipo**

Embora a utilização de bioestimulantes seja a nova aposta do setor agrícola, em termos de importância e efetividade, respostas mais precisas sobre como a inoculação de *Trichoderma* spp. influencia genótipos distintos de plantas ainda são necessárias para verificar a potencialidade de promoção de crescimento e indução de resistência sistêmica a patógenos (Tucci *et al.*, 2011; Bettoli; Silva; Castro, 2019).

Em alguns casos, cepas de *Trichoderma* spp. promovem efeitos prejudiciais na promoção de crescimento da cultura, pois além dos isolados apresentarem diferença na colonização das raízes, certos genótipos podem exibir resultados distintos quanto à promoção e/ou inibição do desenvolvimento vegetativo e produtivo, mesmo quando inoculados com a mesma cepa, em virtude da produção diferencial de metabólitos secundários, alguns destes prejudiciais ao genótipo (Bucio; Flores; Estrella, 2015). Conforme Souza *et al.* (2022), ao longo do tempo, foram encontrados resultados diferentes e diversos com fungos do gênero *Trichoderma* spp. na promoção de crescimento de genótipos de plantas.

Tucci *et al.* (2011), avaliando genótipos de tomateiro cultivado e silvestre, submetidos a inoculação com *T. atroviride* e *T. harzianum* verificaram que a variabilidade genética dos materiais influenciou nos resultados de crescimento e resistência a *Botrytis cinerea*, quando

utilizaram a mesma cepa. Para todas as variáveis avaliadas houve influência dos genótipos testados, independente da cepa de *Trichoderma* spp., sendo que para alguns genótipos, os efeitos do fungo não proporcionaram respostas satisfatórias tanto na parte aérea quanto no desenvolvimento e arquitetura do sistema radicular. Portanto, os autores sugerem que para o tomateiro, o estímulo ao crescimento depende diretamente do genótipo utilizado, estando a resposta da inoculação com *Trichoderma* spp. condicionadas ao controle genético.

Em trabalho de Souza *et al.* (2022), onde buscou-se avaliar os efeitos de dois produtos comerciais formulados com *T. asperellum* nos índices de germinação e parâmetros de mudas de cultivares de alface, foi possível observar que para as variáveis de germinação, o fator genótipo predominou sobre a inoculação de *T. asperellum*. Em contrapartida, as variáveis de promoção de crescimento das plântulas foram influenciadas positiva ou negativamente tanto pelos genótipos de alface quanto pelo produto contendo *T. asperellum*. Dessa forma, Souza *et al.* (2022) afirmam que a inoculação de *Trichoderma* spp. em genótipos de alface permite evidenciar a especificidade da interação *Trichoderma*-genótipo para a cultura.

A variabilidade genética dos genótipos e o tipo de cepa de *Trichoderma* spp. caracteriza a especificidade e o nível de interação planta-fungo. Portanto, para potencializar os resultados positivos no crescimento de plantas, induzido por *Trichoderma* spp., é importante avaliar as respostas específicas para cada genótipo da cultura testada (Prashar; Vandenberg, 2017). Assim, dentro das populações, a variabilidade ou divergência genética possibilita que um conjunto de materiais distintos possa manter sua capacidade natural quando submetido a adversidades climáticas e a fatores bióticos e abióticos, de modo a apresentar respostas diferentes entre si, e com isso pode ser conservado, com vistas à utilização e seleção dos materiais de acordo com o objetivo (Cruz; Ferreira; Pessoni, 2020).

Prashar e Vandenberg (2017), ao avaliarem as respostas de 23 genótipos de lentilha cultivadas e silvestres a inoculação de formulações comerciais de *Trichoderma harzianum* e *T. virens*, na presença e ausência do patógeno *Aphanomyces euteiches*, verificaram que as formulações estimularam a promoção de crescimento, notadamente nas variáveis de raiz, parte aérea e parâmetros fisiológicos, sendo que as respostas de cada genótipo foram específicas. Os efeitos gerais dos tratamentos com *Trichoderma* spp. foram melhores em genótipos submetidos ao estresse biótico. Por outro lado, os genótipos que não estavam sobre estresse do patógeno, apresentaram efeitos negativos para as mesmas variáveis, permitindo afirmar que para lentilha, o genótipo desempenha importante papel na interação com a cepa de *Trichoderma* spp.

Na cultura do jambu, há pesquisas que relatam a presença de genótipos distintos, com variabilidade genética expressa nas características morfológicas, desenvolvimento vegetativo e produção de inflorescências (Martins *et al.*, 2012; Sampaio *et al.*, 2022). Sampaio *et al.* (2022) verificaram que genótipos de jambu das espécies *Acmella oleracea* e *Acmella ciliata*, cultivados em sistema hidropônico apresentaram variações no crescimento, produtividade e parâmetros fisiológicos. Além disso, os genótipos de *A. ciliata* produziram maior quantidade de inflorescência (média de 81) em comparação aos genótipos de *A. oleracea* (média de 30), no entanto, para estes a massa fresca média das inflorescências foi maior ( $21,95\text{ g planta}^{-1}$  em comparação a  $10,43\text{ g planta}^{-1}$  para *A. ciliata*), evidenciando diversidade de recursos genéticos locais.

Assim, embora o jambu apresente variabilidade genética com potencial para exploração, especialmente relacionado a produção de inflorescências, respostas específicas da interação *Trichoderma* spp. com genótipos de *Acmella* spp. são desconhecidas, necessitando de abordagem científica para validação dos resultados.

### **3 PRODUTIVIDADE E TEOR DE ESPILANTOL EM VARIEDADES LOCAIS DE JAMBU MODULADAS PELO USO DE *Trichoderma* spp. COMO BIOESTIMULANTE**

#### **RESUMO**

O jambu é uma hortaliça folhosa com enorme versatilidade de uso, exibindo potencial tanto para alimentação *in natura* quanto para exploração industrial, em razão da biossíntese de espilantol. No entanto, sua produtividade varia de acordo com o tipo de manejo adotado no ambiente de cultivo. Assim, o objetivou-se avaliar o potencial bioestimulante de *Trichoderma* spp. na promoção de crescimento, produtividade e teor de espilantol em variedades locais de jambu. Para isso, foi realizado experimento dividido em dois ensaios, onde no ensaio I foi realizado a caracterização das mudas bioestimuladas e não bioestimuladas. No segundo ensaio, as mudas foram transplantadas em casa-de-vegetação, adotando delineamento em blocos ao acaso, em esquema fatorial 3x4+3, com quatro repetições, sendo o primeiro fator composto pelas variedades de jambu e segundo pelos bioestimulantes, com três adicionais, sem inoculação. Na fase de mudas avaliamos altura de planta, diâmetro do coleto e número de folhas. Em campo foi avaliado os dias para o florescimento, parâmetros fisiológicos, desenvolvimento vegetativo, produção de biomassa e teor de espilantol. O tratamento Jamb03-MIX foi agrupado separadamente, devido as respostas para altura e diâmetro do coleto das mudas. Os parâmetros fisiológicos foram significativos somente para o fator variedades. Houve precocidade de florescimento em plantas de Jamb-17 bioestimuladas com MIX. As características de crescimento e produção de biomassa da parte aérea foram superiores nos tratamentos Jamb16-IBLF006 e Jamb16-MIX, influenciando no agrupamento. A análise de componentes principais separou Jamb-03 com base nas produtividades de inflorescências e concentração interna de CO<sub>2</sub>. Jamb03-MIX teve produção de inflorescências superior às demais variedades bioestimuladas com MIX. O teor de espilantol nas inflorescências de Jamb17-MIX foi superior ao adicional. Por outro lado, as respostas de espilantol em Jamb-03 e Jamb-16 foram reguladas por fatores intrínsecos da variedade. Logo, constatamos que a inoculação de *Trichoderma* spp. em jambu pode promover o desenvolvimento de mudas mais vigorosas, com precocidade de florescimento em campo, acúmulo de biomassa, e modulação na biossíntese de espilantol. Entretanto, os resultados são condicionados pela especificidade da interação.

Palavras-chave: *Acmella oleracea*; *Acmella ciliata*; planta da dor de dente; sistema de cultivo; bioestimulação; metabolismo secundário; Amazônia.

### **3 PRODUCTIVITY AND SPILANTHOL CONTENT IN LOCAL VARIETIES OF JAMBU MODULATED BY THE USE OF *Trichoderma* spp. AS A BIOSTIMULANT**

#### **ABSTRACT**

Jambu is a leafy vegetable with enormous versatility of use, showing potential both for fresh food and for industrial exploitation, due to the biosynthesis of spilanthol. However, its productivity varies according to the type of management adopted in the cultivation environment. Thus, the objective of this study was to evaluate the biostimulant potential of *Trichoderma* spp. in promoting growth, productivity and spilanthol content in local varieties of jambu. For this purpose, an experiment was carried out divided into two trials, where in trial I the characterization of biostimulated and non-biostimulated seedlings was performed. In the second trial, the seedlings were transplanted in a greenhouse, adopting a randomized block design, in a 3x4+3 factorial scheme, with four replicates, the first factor being composed of the jambu varieties and the second by the biostimulants, with three additional ones, without inoculation. In the seedling phase, we evaluated plant height, stem diameter and number of leaves. In the field, the days to flowering, physiological parameters, vegetative development, biomass production and spilanthol content were evaluated. The Jamb03-MIX treatment was grouped separately, due to the responses for height and diameter of the seedling stem. The physiological parameters were significant only for the variety factor. There was precocity of flowering in Jamb-17 plants biostimulated with MIX. The growth characteristics and biomass production of the aerial part were superior in the Jamb16-IBLF006 and Jamb16-MIX treatments, influencing the grouping. The principal component analysis separated Jamb-03 based on inflorescence productivity and internal CO<sub>2</sub> concentration. Jamb03-MIX had superior inflorescence production compared to the other varieties biostimulated with MIX. The spilanthol content in the inflorescences of Jamb17-MIX was superior to the additional. On the other hand, the responses of spilanthol in Jamb-03 and Jamb-16 were regulated by intrinsic factors of the variety. Therefore, we found that the inoculation of *Trichoderma* spp. in jambu can promote the development of more vigorous seedlings, with early flowering in the field, biomass accumulation, and modulation in spilanthol biosynthesis. However, the results are conditioned by the specificity of the interaction.

**Keywords:** *Acmella oleracea* (L.) R. K. Jansen; *Acmella ciliata* (Kunth) Cass.; toothache plant; cropping system; biostimulation; secondary metabolism; Amazon.

### 3.1 Introdução

*Acmella* Rich. é considerado um gênero pantropical e pertencente à família Asteraceae, sendo atualmente constituído por mais de 30 espécies, distribuídas em diferentes continentes (Jansen, 1985; Silva; Santos, 2011). No Brasil, são descritas 17 espécies do gênero *Acmella*, e destas, sete podem ser encontradas na Amazônia, sendo *A. oleracea* (L.) R. K. Jansen, *A. brachyglossa* Cass., *A. ciliata* (Kunth) Cass. e *A. kalelli* M.M. Campos, C.F. Hall & J.U.M. Santos, conhecidas popularmente como jambu (BFG, 2015; Campos *et al.*, 2019).

O jambu é uma hortaliça folhosa bastante estudada em virtude de seus diversos metabólitos secundários, dentre eles, o espilantol (Chung *et al.*, 2008; Neves *et al.*, 2019; Sut *et al.*, 2020). A biossíntese de espilantol ocorre em todos os órgãos da planta de jambu, no entanto a participação desse composto difere de acordo com o órgão, sendo as inflorescências responsáveis pelas maiores concentrações (Bellumori *et al.*, 2022; Sharma *et al.*, 2022).

No modelo atual de produção agrícola, diferentes tipos de cultivo são utilizados para aumentar o desempenho produtivo das culturas, a partir da modulação de respostas das plantas pela modificação do ambiente, gerando efeitos, inclusive, nas rotas que integram o metabolismo secundário, tendo em vista que as plantas respondem a efeitos bióticos e abióticos (Rezende e Furlan, 2020; Dedino *et al.*, 2022; Sampaio *et al.*, 2022).

Para o jambu, pesquisas com a utilização de bioestimulantes vegetais e microbiológicos, como extratos de algas, triacontanol e fungos micorrízicos arbusculares mostraram incremento no rendimento de massa, compostos fenólicos e alquilamidas (Sut *et al.*, 2020; Vieira *et al.*, 2021). No entanto, associações de *Trichoderma* spp. como bioestimulante na cultura do jambu ainda são desconhecidas na literatura.

Quando inoculado no solo, certos isolados de *Trichoderma* spp. possuem capacidade de promover o crescimento das plantas devido a relação simbiótica com as raízes, podendo melhorar a absorção e translocação de nutrientes (Medeiros *et al.*, 2019). Portanto, a utilização de *Trichoderma* spp. no cultivo de jambu se apresenta como uma nova estratégia de manejo, visto que resultados promissores relacionados ao desenvolvimento vegetativo, produtividade e metabolismo secundário podem ser observados em hortaliças como alface, tomate, cebola e repolho chinês (Ortega-García *et al.*, 2015; França *et al.*, 2017; Pereira *et al.*, 2019; Ji *et al.*, 2020). Vale ressaltar que estes resultados dependem do tipo de bioestimulante, da forma e local de aplicação, bem como do genótipo ou variedade utilizada, pois a variabilidade genética pode promover efeitos diversos (Bucio *et al.*, 2015).

Assim, com base nos efeitos da utilização de *Trichoderma* spp. na agricultura, é importante investigar se o manejo do ambiente de cultivo com cepas deste gênero de fungos, induz o crescimento, melhora o rendimento de massa e gera incrementos na concentração de espilantol, levando em consideração a variabilidade genética em *Acmella* spp. Logo, os objetivos deste trabalho foram: (i) avaliar a promoção de crescimento e a produtividade de variedades locais de jambu bioestimuladas e (ii) verificar modulações na concentração de espilantol em órgãos de jambu, a partir da bioestimulação com *Trichoderma* spp.

### **3.2 Material e métodos**

#### **3.2.1 Localização experimental e condições ambientais**

O experimento foi realizado na Fazenda Escola de Igarapé-Açu, pertencente a Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), em Igarapé-Açu, Pará ( $01^{\circ} 07' 48,47''$  S,  $47^{\circ} 36' 45,31''$  W, e 54 m de altitude). O clima na região, segundo a classificação de Köppen-Geiger's, é do tipo Am, caracterizado como megatérmico úmido, com médias anuais de temperatura, umidade relativa e precipitação de  $26^{\circ}\text{C}$ , 85% e 2500 mm, respectivamente (Alvares *et al.*, 2013).

A pesquisa foi desenvolvida sob ambiente protegido, utilizando casa-de-vegetação tipo arco, modelo de duas águas, com 32 m de comprimento, 16 m de altura e pé-direito de 4,0 m, coberta com filme plástico transparente de 200 micras. O solo da área é classificado como Latossolo Amarelo (Embrapa, 2018), correspondendo ao Ferralsols na classificação internacional (FAO, 2015). Durante o período de condução do experimento, foram mensuradas temperatura e umidade no interior da casa-de-vegetação, com auxílio de termo-higrômetro digital portátil (modelo HTC-2, com sonda), instalado a 1,2 m do solo.

#### **3.2.2 Screening de bioestimulantes**

Para verificar o potencial de promoção de crescimento pelas cepas de *Trichoderma* spp. e selecionar os produtos com efeito positivo, as espécies do gênero *Acmella* spp. (*A. oleracea* e *A. ciliata*) foram submetidas a ensaio preliminar de inoculação. Os tratamentos para triagem compreenderam quatro cepas isoladas de *T. asperellum* (UFRA-T06, UFRA-T09, UFRA-T12 e UFRA-T52), bem como a mistura delas (MIX), na concentração de  $1 \times 10^8$  conídios mL<sup>-1</sup>, provenientes do Laboratório de Proteção de Plantas, da UFRA, Campus Belém. A identificação molecular e atividade bioquímica do pool de *T. asperellum* foram descritas por Sousa *et al.* (2021). Além disso, também foram avaliados dois produtos comerciais, compostos pelas

espécies *T. asperellum* (cepa CBMAI 1622/1,4x10<sup>9</sup> conídios g<sup>-1</sup>) e *T. harzianum* (cepa IBLF 006/1x10<sup>10</sup> UFC g<sup>-1</sup>).

Nesta etapa, o delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2x7+2, com duas repetições, compostas por cinco plantas, sendo todas consideradas como área útil. O primeiro fator correspondeu as espécies do gênero *Acmella* spp. e o segundo fator foi representado pelos produtos à base de *Trichoderma* spp. Os tratamentos adicionais corresponderam ao cultivo de jambu sem inoculação do fungo. A semeadura ocorreu em copos plásticos com capacidade de 300 mL preenchidos com solo, este proveniente da casa-de-vegetação onde o experimento em canteiro foi realizado.

O preparo das suspensões com os produtos comerciais seguiu conforme a dosagem prescrita pelos fabricantes (CBMAI 1622 - 1.250 g ha<sup>-1</sup> / IBLF 006 - 250 g ha<sup>-1</sup>). A inoculação ocorreu aos três e oito dias após a semeadura (DAS), onde cada planta recebeu uma alíquota de 5 mL.

As avaliações foram realizadas aos 30 dias após a semeadura (DAS) e consistiram nas seguintes características: altura da planta, número de folhas, diâmetro do coleto, comprimento do pecíolo, número de ramificações secundárias, índice SPAD e massa seca da parte aérea. Para o índice SPAD, foram realizadas duas leituras na folha, correspondendo as regiões da base e do ápice.

### 3.2.3 Delineamento experimental

Para a fase de campo, foi adotado o delineamento em blocos ao acaso (DBC), em esquema fatorial 3x4+3, com quatro repetições. O primeiro fator foi composto por três variedades locais de *Acmella* spp., e o segundo fator correspondeu a inoculação de quatro produtos à base de *Trichoderma* spp., que possuem como ingrediente ativo as espécies *Trichoderma harzianum* (cepa IBLF 006 - 1,0 x 10<sup>10</sup> UFC g<sup>-1</sup>) e *T. asperellum* (cepas CBMAI 1622 - 1,4 x 10<sup>9</sup> conídios g<sup>-1</sup>; IBLF 1236 - 2,0 x 10<sup>8</sup> UFC g<sup>-1</sup>; MIX (*pool* de *T. asperellum*) - 1,0 x 10<sup>8</sup> conídios mL<sup>-1</sup>).

Além disso, foram acrescentados três tratamentos adicionais, que corresponderam ao cultivo de jambu sem aplicação de *Trichoderma* spp. (controle). Nesta etapa, foram totalizadas 60 parcelas experimentais, compostas por 20 plantas cada, sendo consideradas seis plantas centrais como área útil para avaliação.

As variedades locais de jambu utilizadas, foram obtidas da coleção de *Acmella* spp. do Grupo de Estudos em Olericultura da Amazônia (GEOA), do Campus Capanema, e

identificadas no Museu Paraense Emílio Goeldi como pertencentes as espécies *A. oleracea* e *A. ciliata* (Tabela 1).

**Tabela 1** - Espécie, município de coleta, clima, coordenadas geográficas e código de registro de variedades locais de *Acmella* spp. selecionadas para a inoculação com *Trichoderma* spp.

Variedade local	Espécie	Município de coleta	Clima (Köppen)	Coordenadas geográficas	Código de registro
Jamb-03	<i>A. oleracea</i>	Marituba	Af	01°23'12.72" S 048°21'6.42" W	MG249017
Jamb-16	<i>A. ciliata</i>	Bragança	Am	01°05'44.34" S 046°42'16.68" W	MG249043
Jamb-17	<i>A. oleracea</i>	Bragança	Am	01°03'42.00" S 046°42'25.74" W	MG249042

Fonte: O autor (2024).

A produção de mudas das variedades de jambu foi realizada em bandejas de poliestireno expandido, com 200 células, preenchidas com substrato comercial Carolina Soil®, sendo semeadas três sementes por célula. Após a semeadura, as bandejas foram mantidas em casa-de-vegetação, sendo irrigadas duas vezes ao dia, nos períodos da manhã (9h) e tarde (16h). Para minimizar o excesso de temperatura, as bandejas foram acondicionadas em espaço coberto com tela a 30% de sombreamento. A partir da completa emergência das plântulas, foi realizado o desbaste, deixando apenas uma plântula por célula.

Quando as mudas atingiram adequado desenvolvimento vegetativo, aos 17 DAS, foi realizado a primeira inoculação com *Trichoderma* spp. Nesta etapa, as suspensões fúngicas de cada cepa foram preparadas conforme recomendação pré-estabelecida. Para as cepas comerciais (IBLF 006, CBMAI 1622 e IBLF 1236), as dosagens foram diluídas diretamente em água. Quanto às cepas nativas em mistura (MIX: UFRA-06, UFRA-09, UFRA-12 e UFRA-52), estas estavam inoculadas em arroz, portanto, para obtenção da suspensão foi necessário a lavagem das colônias.

Foram administradas 400 mL de suspensão por bandeja, correspondendo a 2 mL por muda. Nesta etapa, apenas as bandejas contendo as mudas dos tratamentos controle não receberam suspensão fúngica. Aos 25 DAS quando as mudas apresentavam dois pares de folhas definitivas bem desenvolvidas, foram transplantadas para os canteiros.

### 3.2.4 Descrição do sistema de cultivo

Antes do transplantio, o solo utilizado para levantamento dos canteiros foi coletado e submetido a análise química e granulométrica. Os resultados da análise para a camada de 0-20 cm são apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2** - Atributos químicos, composição granulométrica e classe textural do solo na camada de 0-20 cm da área experimental (Setor I: lado esquerdo; Setor II: lado direito).

Setor I														
Prof. (cm)	pH (H <sub>2</sub> O)	Atributos químicos												
		P (mg dm <sup>-3</sup> )	K <sup>+</sup> (mg dm <sup>-3</sup> )	Mg <sup>2+</sup> -----(cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )----	Ca <sup>2+</sup> -----(cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )----	H+Al -----	Cu -----	Fe -----	Mn -----	Zn -----	SB (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	CTC (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	M.O. (%)	V
0-20	6,1	44,0	16,0	3,0	1,3	2,4	0,5	134	4,9	5,8	3,70	5,70	1,7	64,9
Composição granulométrica														
Argila														
Silte														
(g kg <sup>-1</sup> )														
132														
36														
832														
Textura														
Arenosa														
Setor II														
Prof. (cm)	pH (H <sub>2</sub> O)	Atributos químicos												
		P (mg dm <sup>-3</sup> )	K <sup>+</sup> (mg dm <sup>-3</sup> )	Mg <sup>2+</sup> -----(cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )----	Ca <sup>2+</sup> -----(cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )----	H+Al -----	Cu -----	Fe -----	Mn -----	Zn -----	SB (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	CTC (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	M.O. (%)	V
0-20	6,1	27,0	13,0	0,9	2,2	2,0	0,8	158	3,8	4,7	3,20	5,20	1,7	61,5
Composição granulométrica														
Argila														
Silte														
(g kg <sup>-1</sup> )														
152														
26														
822														
Média														

Fonte: O autor (2024).

O transplantio foi realizado em canteiros com dimensões de 1 m<sup>2</sup> e 0,20 m de altura, espaçados entre si por 1 m, cobertos com palhada. Para o arranjo nas parcelas, adotou-se espaçamento de 0,20 m entre plantas e 0,20 m entre linhas. A realização das adubações (plantio e cobertura), foram realizadas conforme a recomendação de Brasil *et al.* (2020), para hortaliças folhosas no estado do Pará, a partir da análise química do solo.

Durante a condução do experimento, monitorou-se a temperatura e a umidade do solo nas parcelas, nos turnos da manhã (9 h) e tarde (16 h), por meio de sensor digital (PHD 3000) inserido no solo de cultivo, a 15 cm de profundidade. As leituras foram realizadas após 1 minuto de inserção do sensor no solo, com estabilização dos resultados.

Para o fornecimento de água às plantas, instalou-se um sistema de irrigação por aspersão, do tipo microaspersão, na qual as mangueiras apresentavam microaspersores espaçados a cada 2,5 m, com vazão de 82 L h<sup>-1</sup> e diâmetro de alcance correspondendo a três metros. O sistema de irrigação foi acionado duas vezes ao dia.

Aos quatro dias antes do transplantio (DAT), efetuou-se a inoculação dos produtos à base de *Trichoderma* spp. (IBLF 006, CBMAI 1622, IBLF 1236 e MIX) diretamente no solo

de cultivo, de modo a promover maior estabelecimento da população dos fungos (Bucio *et al.*, 2015; Corsini *et al.*, 2021). As dosagens inoculadas, seguiram recomendação do fabricante.

As formulações contendo as cepas de *Trichoderma* spp. comerciais foram diluídas em água para o preparo das suspensões. Já para as cepas nativas, a suspensão fúngica foi obtida a partir da lavagem do arroz colonizado, na concentração de  $10^8$  conídios mL<sup>-1</sup>. Posteriormente, com auxílio de pulverizador costal calibrado, foi inoculado 500 mL por m<sup>2</sup>.

### 3.2.5 Análises microbiológicas

Antes da inoculação das cepas de *Trichoderma* spp. no solo e após a colheita, foram realizadas coletas de solo nas parcelas de todos os tratamentos, de modo a formar uma amostra composta representativa. Ao todo foram coletadas 15 amostras compostas. Após a coleta, as amostras foram identificadas e armazenadas em refrigerador a 5 °C, para posterior análise laboratorial por meio de diluição seriada com plaqueamento em meio de cultura, a fim de identificar a microbiologia fúngica.

### 3.2.6 Parâmetros fisiológicos

Para avaliar o comportamento fisiológico das plantas de jambu, foram realizadas análises de trocas gasosas aos 20 DAT, antes da emissão de inflorescências, utilizando o Infrared Gas Analyser (IRGA - modelo LCpro T, da ADC BioScientific), obtendo as leituras no período da manhã (8 h às 12 h), sob luz saturante com densidade do fluxo de fótons fotossintéticos de 1000 µmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> e condições de CO<sub>2</sub> ambiente. Realizou-se as leituras no segundo par de folhas totalmente expandidas a contar do ápice, em duas plantas por parcela, sendo efetuada duas leituras por folha, conforme metodologia adaptada de Silva *et al.*, (2015).

A partir da análise de trocas gasosas, obteve-se as seguintes características: assimilação líquida de CO<sub>2</sub> (A), transpiração (E), condutância estomática (gs), concentração interna de CO<sub>2</sub> (Ci) e uso eficiente da água (A/E).

### 3.2.7 Avaliações de crescimento e produtividade

Um dia antes do transplantio (24 DAS) foi realizada a caracterização dos tratamentos inoculados e controle, a fim de verificar o desenvolvimento vegetativo dos materiais em fase de muda. Foram avaliadas 20 plantas por tratamento, sendo mensurado altura de planta (cm), por meio de régua graduada, diâmetro do coleto (mm), obtido com auxílio de paquímetro digital e número de folhas, contadas as folhas totalmente desenvolvidas.

Aos 7 DAT foi iniciado a verificação e contagem diária das plantas que apresentavam emissão de botões florais, para avaliação dos dias para o florescimento, sendo avaliado 50% da parcela mais um, correspondendo a 11 plantas.

Ao final do cultivo (35 DAT), para as características relacionadas com o desenvolvimento vegetativo e produtividade, foram colhidas três plantas da área útil para avaliação. Como parâmetro de colheita, adotou-se o padrão de florescimento, estando aptas para colheita as parcelas experimentais onde 50% das plantas apresentassem capítulos florais totalmente abertos. Após a colheita, foram avaliadas as seguintes características:

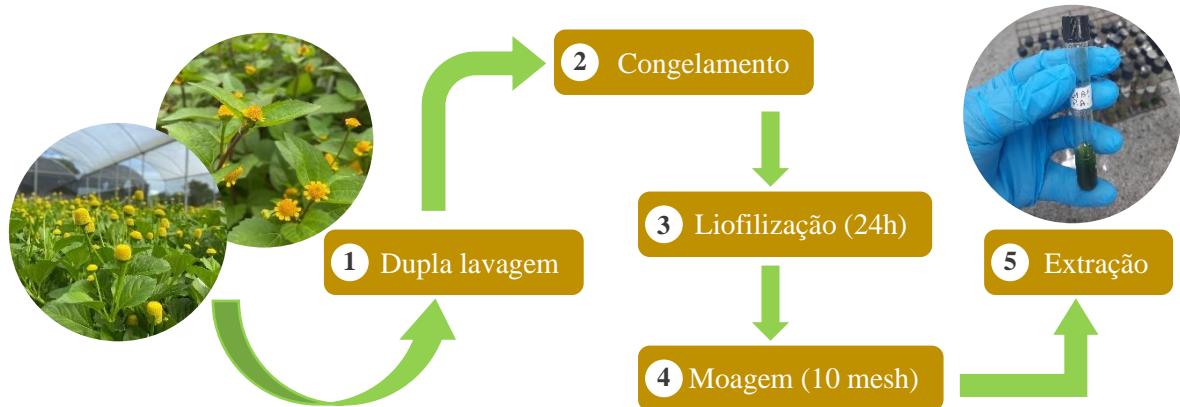
- a) *comprimento da ramificação principal (cm)*: realizado por meio da mensuração do colo ao ápice do ramo principal, com auxílio de fita métrica;
- b) *diâmetro da ramificação principal (mm)*: mensurado na região da base do ramo principal, com auxílio de paquímetro digital;
- c) *número de ramificações secundárias*: obtida pela contagem total de ramos secundários por planta;
- d) *número de folhas*: determinado pela contagem de todas as folhas da planta, considerando aquelas totalmente desenvolvidas;
- e) *massa fresca da parte aérea (g)*: obtida a partir da pesagem da parte aérea (hastes e folhas) em balança digital semi-analítica;
- f) *massa seca da parte aérea (g)*: realizada pela secagem da parte aérea em estufa de circulação forçada a 65 °C, por 48 horas, e posterior pesagem em balança digital semi-analítica;
- g) *produtividade de massa fresca da parte aérea (kg m<sup>-2</sup>)*: obtida a partir do quantitativo de massa fresca produzida por planta, em função do número de plantas por metro quadrado;
- h) *produtividade de massa seca da parte aérea (kg m<sup>-2</sup>)*: obtida a partir do quantitativo de massa seca produzida por planta, em função do número de plantas por metro quadrado;
- i) *produtividade de massa fresca de inflorescências (g m<sup>-2</sup>)*: determinada com base na massa fresca total de inflorescências produzidas por planta, em função do número de plantas por metro quadrado;
- j) *produtividade de massa seca de inflorescências (g m<sup>-2</sup>)*: determinada com base na massa seca de inflorescências produzidas por planta, em função do número de plantas por metro quadrado.

### 3.2.8 Extração e quantificação de espilantol

Para avaliação do conteúdo de espilantol, a parte aérea (folhas + caule) e as inflorescências foram submetidas a dupla lavagem, sendo a primeira em água corrente e a

segunda em água destilada. Posteriormente foram acondicionadas em freezer até o congelamento. Em seguida, as amostras foram liofilizadas e processadas em moinho de facas tipo Willey, equipado com abertura de peneira de 10 mesh, até formarem um pó fino. Em seguida, uma alíquota dessa amostra na forma de pó (0,1 g), foi submetida ao processo de extração. Cada amostra foi extraída em frasco de vidro tampado, contendo 1,9 mL de etanol 99,5% (1:9 m/v) como solvente, sendo homogeneizadas em vórtex por 30 segundos a 2800 rpm, e levadas a banho maria por 1 hora a 50 °C, conforme metodologia adaptada de Bae *et al.* (2010) (Figura 3).

**Figura 3** - Fluxograma de etapas do preparo e extração etanólica das amostras de variedades locais de jambu associadas com bioestimulantes à base de *Trichoderma* spp.



Fonte: O autor (2024).

Após a extração, foi realizado a remoção da clorofila, por meio de extração exaustiva, adotando a razão de 1:9 v/v, com solução NaCl 0,16 M (100 µL de extrato e 900 µL de NaCl), sob homogeneização constante por 30 segundos a 2800 rpm e posterior centrifugação (14.000 rpm, 20 min a 25° C). Os sobrenadantes obtidos foram saturados com N<sub>2</sub> e armazenados a -22° C até a quantificação de espilantol por cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC) (Sampaio *et al.*, 2024).

O espilantol foi quantificado em HPLC (High Performance Liquid Chromatography). Para isso, os extratos foram diluídos em metanol e água ultrapura (1:9 v/v), filtrados em filtro de seringa de 0,22 µm (PVDF) e em seguida 5 µL foram injetados em coluna Kinetex EVO C18 100 Å, 1,7 µm 100 × 2,1 mm (Phenomenex, Torrance, CA, EUA). A fase móvel foi composta por água ultrapura (Solvante A) e acetonitrila (Solvante B), ambas filtradas em membrana de 0,22 µm (nylon). A eluição foi realizada em modo isocrático, com 30% do solvente B constante por 30 min.

Os cromatogramas foram obtidos com base no tempo de retenção do espilantol e na faixa de absorbância (229 nm).

### 3.2.9 Análise estatística

Os dados coletados foram submetidos a identificação de outliers (boxplot e identify outliers), com posterior verificação de pressupostos, tais como normalidade dos resíduos (Shapiro-Wilk e gráfico qqplot) e homogeneidade das variâncias (teste de Bartlett). Para os dados do *screening* de bioestimulantes foi realizado análise de variância (ANOVA) e aplicado teste de Tukey para comparação das médias a 5% de significância, utilizando o pacote ‘Tratamentos.ad’ (Azevedo, 2022).

O modelo estatístico utilizado para o delineamento foi:  $Y_{kl} = A_k + B_l + (AB)_{kl} + \epsilon_{kl}$ , em que:  $Y_{kl}$ : é o valor observado da variável para a k-ésima variedade e l-ésimo bioestimulante;  $A_k$ : é o efeito da k-ésima variedade;  $B_l$ : é o efeito do l-ésimo bioestimulante;  $(AB)_{kl}$ : efeito diferencial da interação do k-ésimo nível do fator variedade com o l-ésimo nível do fator bioestimulante;  $\epsilon_{kl}$ : é o erro experimental.

Os dados referentes a fase de muda, trocas gasosas, crescimento e produção de biomassa foram testados a partir da adaptação da análise de variância multivariada (MANOVA), com base nos modelos lineares e não-lineares existentes, sendo desenvolvida a função para tratamentos adicionais. Os vetores de média foram comparados pelo teste de Wilks a 5% de significância. Além disso, foram testados contrastes multivariados, utilizando o pacote ‘biotools’ e a função ‘mvpaircomp’ (Silva, 2021).

O modelo estatístico multivariado seguido foi:  $Y = X\beta + \epsilon$ , onde  $Y$  é o vetor de médias da variável resposta;  $X$  é a matriz de delineamento que contém as informações do experimento;  $\beta$  é o vetor de parâmetros estimados;  $\epsilon$  é a matriz do erro experimental.

Na análise de agrupamento, submetemos a matriz de dissimilaridade ao método UPGMA (*Unweighted Pair-Group Method Using an Arithmetic Average*), por meio do pacote *Multivariate Analysis* (Azevedo, 2024). Para definir o número ideal de clusters foi utilizado o método de largura da silhueta média. Além disso, a consistência do agrupamento foi verificada pelo coeficiente de correlação cofenético (Sokal; Rohlf, 1962), que avalia o grau de ajuste entre a matriz de distância original e a matriz resultante do agrupamento UPGMA.

Realizou-se análise de componentes principais (PCA) para a validação e quantificação da contribuição das variáveis. Para isso, os dados foram padronizados, deixando todas as

variáveis na mesma escala, utilizando a função *scale*. A análise de PCA foi realizada por meio do pacote *factoextra* (Kassambara *et al.*, 2020), e representada em gráfico do tipo *biplot*.

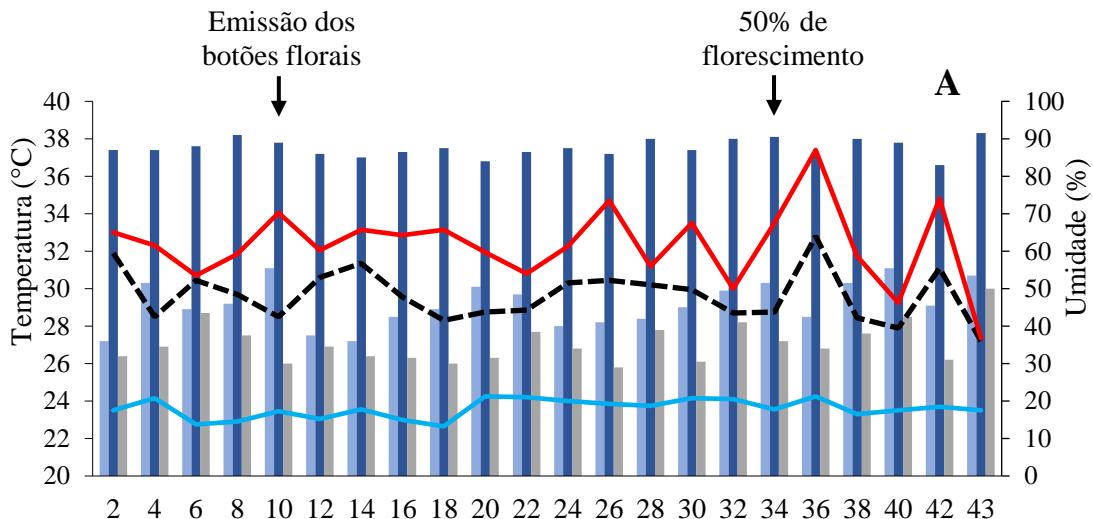
Todos os dados obtidos foram processados e analisados estatisticamente por linguagem de programação R, versão 4.3.3 (R Core Team, 2024).

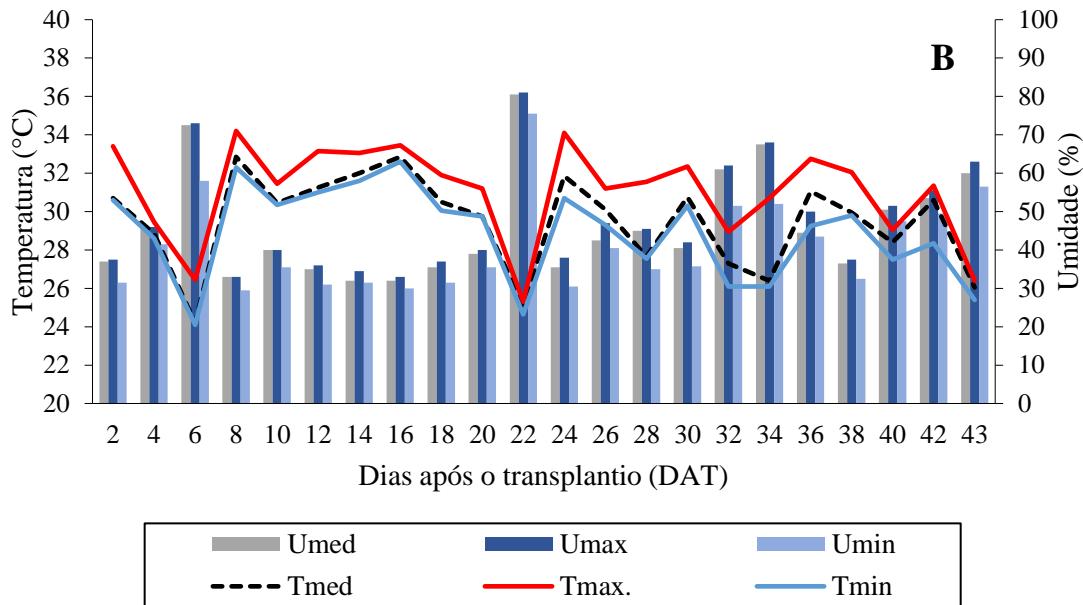
### 3.3 Resultados

#### 3.3.1 Monitoramento climático

Durante o desenvolvimento do cultivo, no período diurno, foi realizado o monitoramento de variáveis climáticas no ambiente protegido, sendo os dados apresentados na Figura 4. A temperatura matutina atingiu valores entre 22,5 e 34 °C, com umidade relativa do ar variando de 35 a 92% (Figura 4A). Pela tarde, a temperatura alcançou valores na faixa de 24 a 34 °C, enquanto a umidade situou-se entre 31 e 68% (Figura 4B).

**Figura 4** - Médias de temperatura (linhas) e umidade relativa (colunas) do ar diurnas (A e B), no ambiente protegido, em função dos dias após o transplantio de variedades locais de jambu associadas com bioestimulantes à base de *Trichoderma* spp., cultivadas na Fazenda Escola de Igarapé-Açu, PA, no período de dezembro de 2023 a janeiro de 2024.





Fonte: O autor (2024).

Para verificar as condições adequadas de crescimento das colônias de *Trichoderma* spp. no sistema, foi realizado o monitoramento da umidade relativa e temperatura do solo no período diurno (Tabela 3). Constatou-se que a umidade variou entre 40 a 80% ao longo dos dias, atingindo valores superiores a 80% durante a tarde. Já a temperatura situou-se entre 28 e 29 °C no início do dia, chegando a faixas de 29 a 31 °C pela tarde.

**Tabela 3** - Níveis de umidade relativa (%) e temperatura (°C) do solo das parcelas experimentais, na profundidade de 0-15 cm, para o período diurno, em função dos dias após o transplantio de variedades locais de jambu associadas com bioestimulantes à base de *Trichoderma* spp., cultivadas na Fazenda Escola de Igarapé-Açu, PA, no período de dezembro de 2023 a janeiro de 2024.

Turno	Dias após o transplantio (DAT)												
	3	6	9	12	15	12	18	21	24	27	30	33	36
Manhã	NOR	NOR	WET	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR	WET
	29	28	28	29	28	28	28	29	29	29	29	28	28
Tarde	NOR	NOR	WET+	WET+	WET	WET	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR	WET
	31	30	31	31	31	30	29	31	30	30	29	29	29

NOR: 40% ~ 65% UR; WET: 60% ~ 80% UR; WET+: > 80% UR.

Fonte: O autor (2024).

### 3.3.2 Microbiologia fúngica da área experimental

As análises de microbiologia fúngica das parcelas, antes da inoculação de *Trichoderma* spp., mostraram grande diversidade de gêneros degradadores de matéria orgânica, dentre eles estão *Paecilomyces* spp., *Penicillium* spp., *Rhizopus* spp., *Aspergillus* spp., *Fusarium* spp., *Colletotrichum* spp., *Zigomicetos* spp., *Humicula* spp. e *Trichoderma* spp.

Após a inoculação com as cepas de *Trichoderma* spp. e diferenciação dos tratamentos, houve a detecção dos gêneros *Cladosporium* spp., e *Clonostachys* spp., e a possível redução populacional de *Colletotrichum* spp., visto que este gênero não foi mais detectado nas amostras.

### 3.3.3 Screening de bioestimulantes

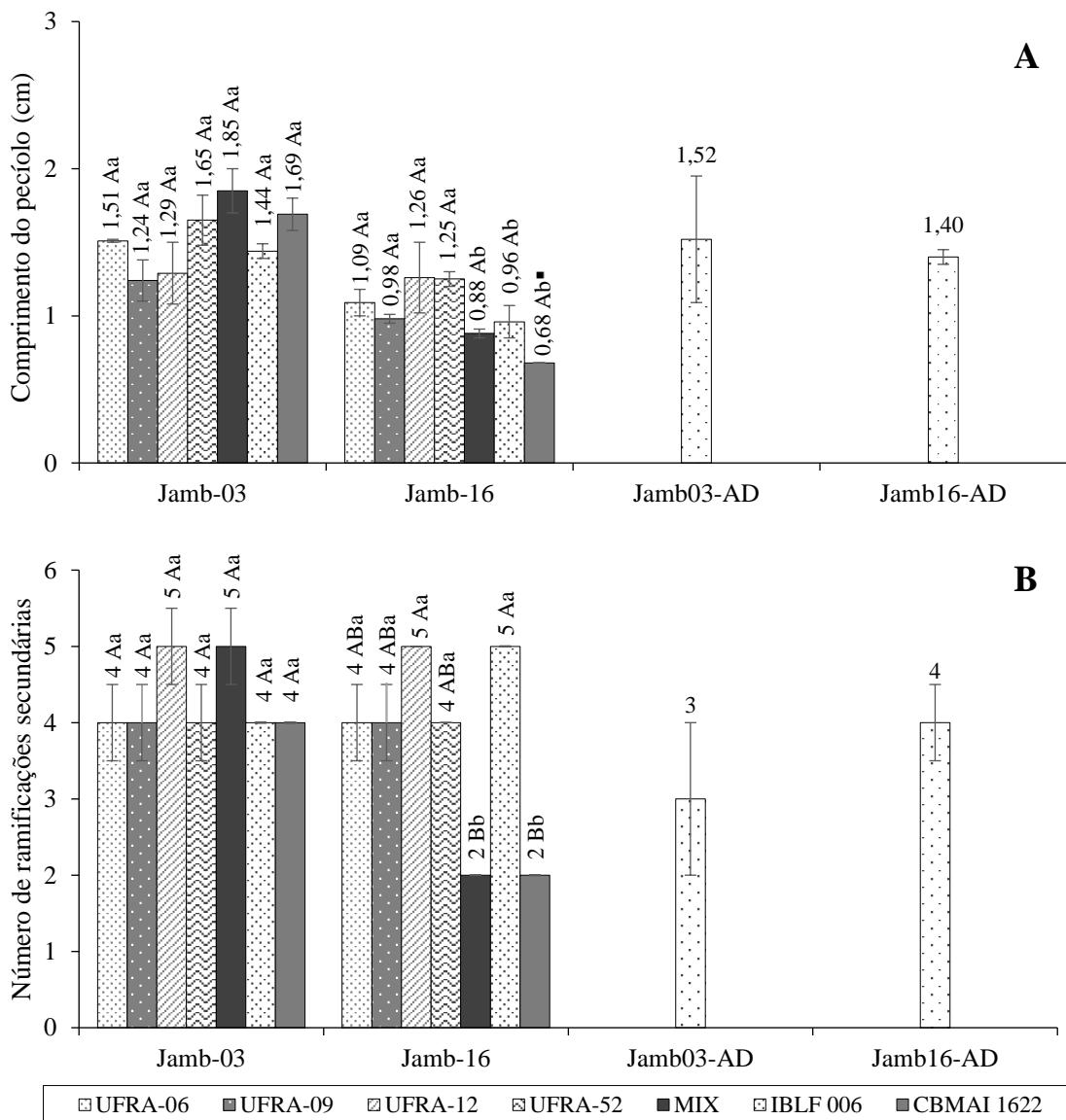
A interação entre variedades e bioestimulantes foi significativa apenas para o comprimento do pecíolo e o número de ramificações secundárias (Figura 5). Não houve diferença significativa para variedades e bioestimulantes em relação ao número de folhas e massa seca da parte aérea. Para altura de planta, diâmetro do coleto e índice SPAD, apenas o fator variedades foi significativo.

Nós observamos que houve diferença significativa no comprimento do pecíolo entre as variedades, sendo que Jamb-03 apresentou aumento de aproximadamente 53% quando comparado a Jamb-16, para as mudas bioestimuladas com MIX e CBMAI 1622 (Figura 5A e 6). Não houve efeito significativo entre bioestimulantes para o comprimento do pecíolo.

Houve diferença significativa entre as mudas de Jamb-16 bioestimuladas e não bioestimuladas, onde aquelas inoculadas com CBMAI 1622 apresentaram menor comprimento do pecíolo, em comparação ao Jamb16-AD (Figura 5A).

Quando analisamos o número de ramificações secundárias (Figura 5B), verificamos que Jamb-03 apresentou resultados superiores a Jamb-16, para as inoculações com MIX e CBMAI 1622, similar ao comportamento de comprimento do pecíolo. Para o fator bioestimulante, a diferença foi significativa apenas para MIX e CBMAI associados a Jamb-16, com menor lançamento de ramificações, em comparação as outras cepas.

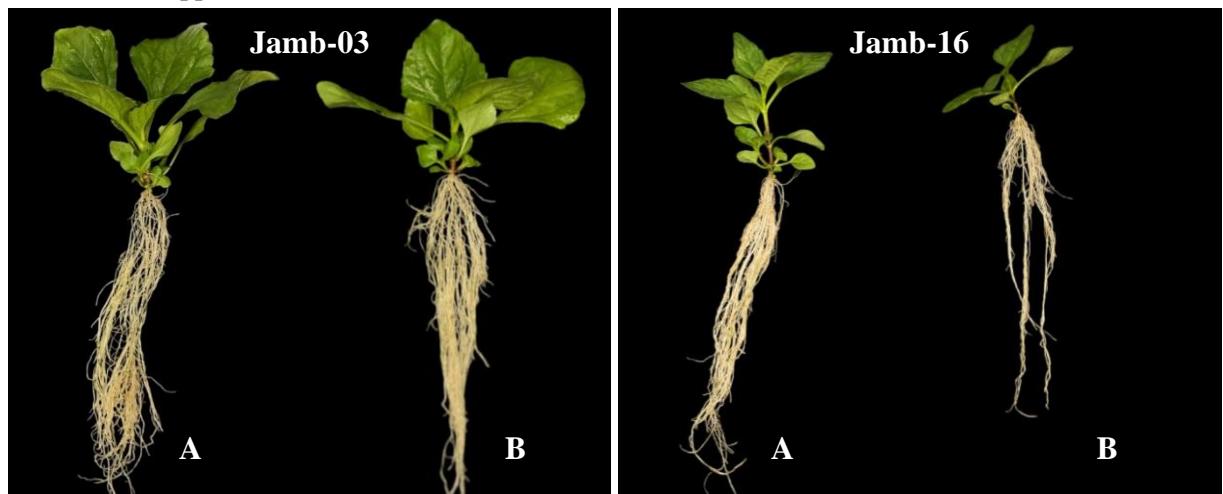
**Figura 5** - Comprimento do pecíolo (A) e número de ramificações secundárias (B) de variedades locais de jambu associadas com bioestimulantes à base de *Trichoderma* spp.



Médias seguidas da mesma letra minúscula (variedades) e maiúscula (bioestimulantes) não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Médias seguidas de ▪ diferem do tratamento Jamb16-AD, ao nível de 5% de significância, pelo teste Dunnnett.

Fonte: O autor (2024).

**Figura 6** - Desenvolvimento de variedades locais de jambu associadas com bioestimulantes à base de *Trichoderma* spp. (A) MIX e (B) CBMAI 1622.



Fonte: O autor (2024).

### 3.3.4 Ensaio I - Desenvolvimento vegetativo em fase de muda

Após o *screening*, os bioestimulantes selecionados foram inoculados em fase de muda para verificarmos a performance inicial no desenvolvimento vegetativo. Observou-se, a partir da MANOVA (Tabela 4), diferença significativa ( $p<0,05$ ) para todos os efeitos principais avaliados (variedades e bioestimulantes) e para os efeitos da interação fatorial *versus* adicional e variedade *versus* bioestimulante. Estes resultados significativos para os vetores de médias mostram que pelo menos um dos vetores diferiu dos demais.

**Tabela 4** - Resumo da análise de variância multivariada (MANOVA), indicando o valor estatístico de Wilks e o valor de F para três variáveis respostas da fase de muda analisadas simultaneamente: *i*) altura de planta (ALT); *ii*) número de folhas (NF) e *iii*) diâmetro do coleto (DC) de variedades locais jambu associadas com bioestimulantes à base de *Trichoderma* spp.

Efeito	Wilks	Valor F	Pr>F
Bloco	0,4365	4,40	7,719e-05
Fat x Ad	0,6043	8,73	0,0001
Adicional	0,1278	23,97	4,901e-16
Variedade (V)	0,0539	44,10	<2,2e-16
Bioestimulante (B)	0,1912	10,55	2,991e-11
V x B	0,1897	5,05	2,842e-08

Fonte: O autor (2024).

De modo complementar à MANOVA, os contrastes multivariados evidenciaram diferença para um número significativo de pares (Tabela 5), quando avaliado variedades dentro de cada bioestimulante, para todas as variáveis analisadas, simultaneamente.

**Tabela 5** - Teste multivariado dos efeitos simples: variedade dentro de bioestimulante e valor-*p*, para a comparação dos contrastes testados pela estatística de Wilks.

Fase de muda	
Contraste	Pr>F
Jamb03-IBLF006 vs Jamb03-MIX	0,0132
Jamb03-CBMAI1622 vs Jamb03-MIX	0,0240
Jamb17-IBLF006 vs Jamb17-CBMAI1622	0,0465
Jamb17-IBLF006 vs Jamb17-MIX	0,0209
Jamb17-CBMAI1622 vs Jamb17-IBLF1236	0,0190
Jamb16-IBLF006 vs Jamb16-IBLF1236	0,0155
Jamb16-IBLF1236 vs Jamb16-MIX	0,0269
Jamb17-CBMAI1622 vs Jamb17-AD	0,0028
Jamb03-MIX vs Jamb03-AD	0,0281
Jamb17-MIX vs Jamb17-AD	0,0013
Jamb16-MIX vs Jamb16-AD	0,4816

Jamb03: *Acmella oleracea*; Jamb17: *A. oleracea*; Jamb16: *A. ciliata*; IBLF 006: *Trichoderma harzianum*; CBMAI 1622: *T. asperellum*; IBLF 1622: *T. asperellum*; MIX: pool de *T. asperellum* (UFRA-T06, T09, T12 e T52); AD: adicional.

Fonte: O autor (2024).

Os contrastes ‘Jamb03-MIX versus Jamb03-IBLF006’, ‘Jamb-03 MIX versus Jamb03-CBMAI1622’ e ‘Jamb-03-MIX versus Jamb03-AD’, apresentaram resultados significativos ( $p<0,05$ ), tendo sempre como um dos pares o tratamento Jamb03-MIX (Tabela 5). Nota-se, portanto, que a significância dos contrastes se deve a variedade Jamb-03 bioestimulada com o pool de *T. asperellum* (MIX), com desenvolvimento vegetativo superior, sendo possível verificar a partir das médias de ALT, NF e DC (Tabela 6).

**Tabela 6** - Valores médios de altura de planta (ALT), número de folhas (NF) e diâmetro do coleto (DC), de variedades locais de jambu associadas com bioestimulantes à base de *Trichoderma* spp., e seus respectivos tratamentos adicionais sem inoculação.

Tratamentos	ALT (cm)	NF	DC (mm)
Jamb03-AD	2,45	5	1,72
Jamb17-AD	1,79	4	1,37
Jamb16-AD	2,14	6	1,23
Jamb03-IBLF 006	2,33	5	1,67
Jamb03-CBMAI 1622	2,44	6	1,72
Jamb03-IBLF 1236	2,53	6	1,73
<b>Jamb03-MIX</b>	<b>3,35</b>	<b>6</b>	<b>1,87</b>
Jamb17-IBLF 006	2,33	5	1,52
Jamb17-CBMAI 1622	2,52	6	1,61
Jamb17-IBLF 1236	1,65	5	1,35
<b>Jamb17-MIX</b>	<b>2,52</b>	<b>6</b>	<b>1,73</b>
Jamb16-IBLF 006	2,65	6	1,33
Jamb16-CBMAI 1622	2,18	6	1,26
Jamb16-IBLF 1236	1,76	6	1,26
Jamb16-MIX	2,52	6	1,23
Média Geral	2,34	6	1,51
CV (%)	8,20	8,85	5,13

Jamb03: *Acmella oleracea*; Jamb17: *A. oleracea*; Jamb16: *A. ciliata*; IBLF 006: *Trichoderma harzianum*; CBMAI 1622: *T. asperellum*; IBLF 1622: *T. asperellum*; MIX: pool de *T. asperellum* (UFRA-T06, T09, T12 e T52); AD: adicional; CV (%): Coeficiente de variação.

Fonte: O autor (2024).

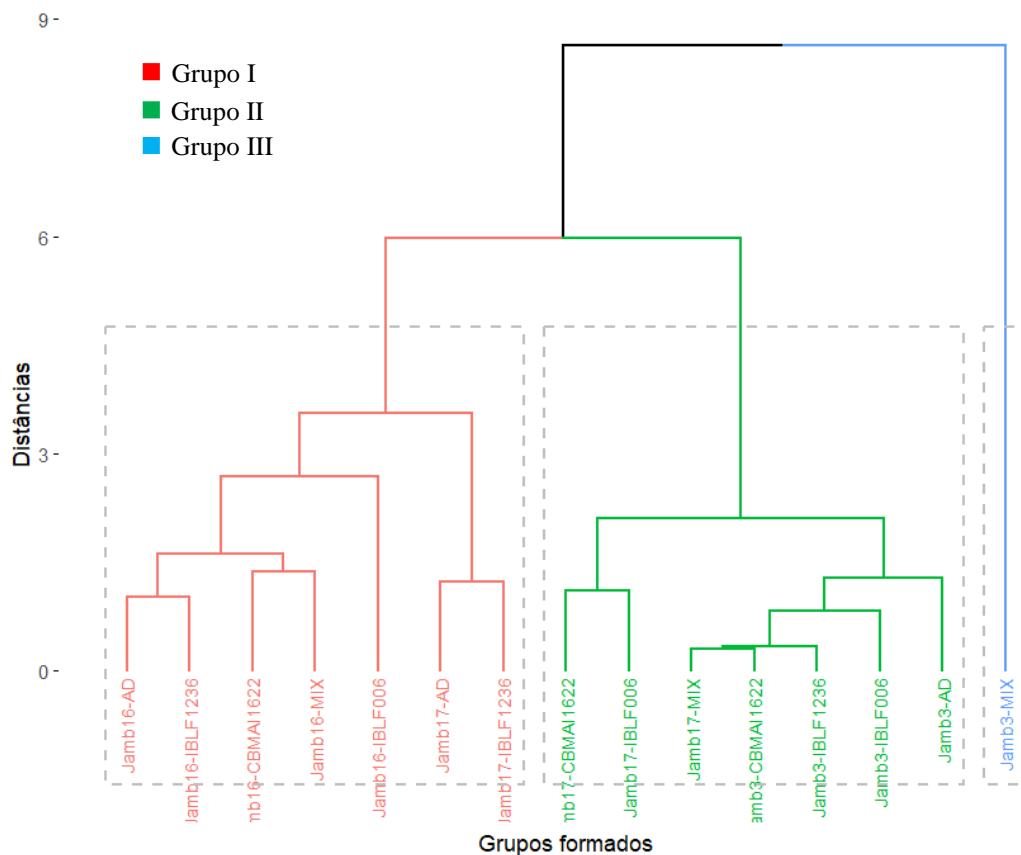
Nossos resultados mostraram que as mudas de Jamb-17 bioestimuladas com CBMAI 1622 ou MIX apresentaram contrastes significativos com Jamb17-IBLF 006 (Tabela 5), em função deste tratamento apresentar mudas com menor crescimento vegetativo (Tabela 6). Além disso, o contraste testado entre Jamb17-MIX e Jamb17-AD (mudas não bioestimuladas) foi significativo, verificado pela diferença dos parâmetros de crescimento, superiores em Jamb17-MIX.

Para os contrastes ‘Jamb16-IBLF 1236 versus Jamb16-IBLF 006’ e ‘Jamb16-IBLF 1236 versus Jamb16-MIX’ os resultados foram significativos (Tabela 5), proporcionados pelos menores valores de altura de planta em Jamb16-IBLF 1236 (Tabela 6). Já em relação a ‘Jamb16-MIX versus Jamb16-AD’, o contraste testado não foi significativo (Tabela 5), possivelmente em virtude de médias similares para NF e DC.

Quando os tratamentos foram testados em uma abordagem de análise de agrupamento (Figura 7), foi possível separar os tratamentos em grupos, pelo método de UPGMA. Formou-se três grupos, sendo eles: Grupo I (Jamb16-AD, Jamb16-IBLF1236, Jamb16-CBMAI1622, Jamb16-MIX, Jamb16-IBLF006, Jamb17-AD e Jamb17-IBLF1236); Grupo II (Jamb17-

CBMAI1622, Jamb17-IBLF006, Jamb17-MIX, Jamb03-CBMAI1622, Jamb03-IBLF1236, Jamb03-IBLF006 e Jamb03-AD) e Grupo III (Jamb03-MIX) (Figura 7). O método UPGMA proporcionou um adequado coeficiente de correlação cofenética (CCC = 0,71), confirmando a concordância do dendrograma com a matriz de dissimilaridade entre os tratamentos analisados.

**Figura 7** - Dendrograma obtido via UPGMA, representando a similaridade entre os grupos, representados pelos tratamentos compostos pelas variedades locais de jambu associadas com bioestimulantes à base de *Trichoderma* spp., considerando a frequência de discrepância para ALT: altura de planta; NF: número de folhas; DC: diâmetro do coleto.



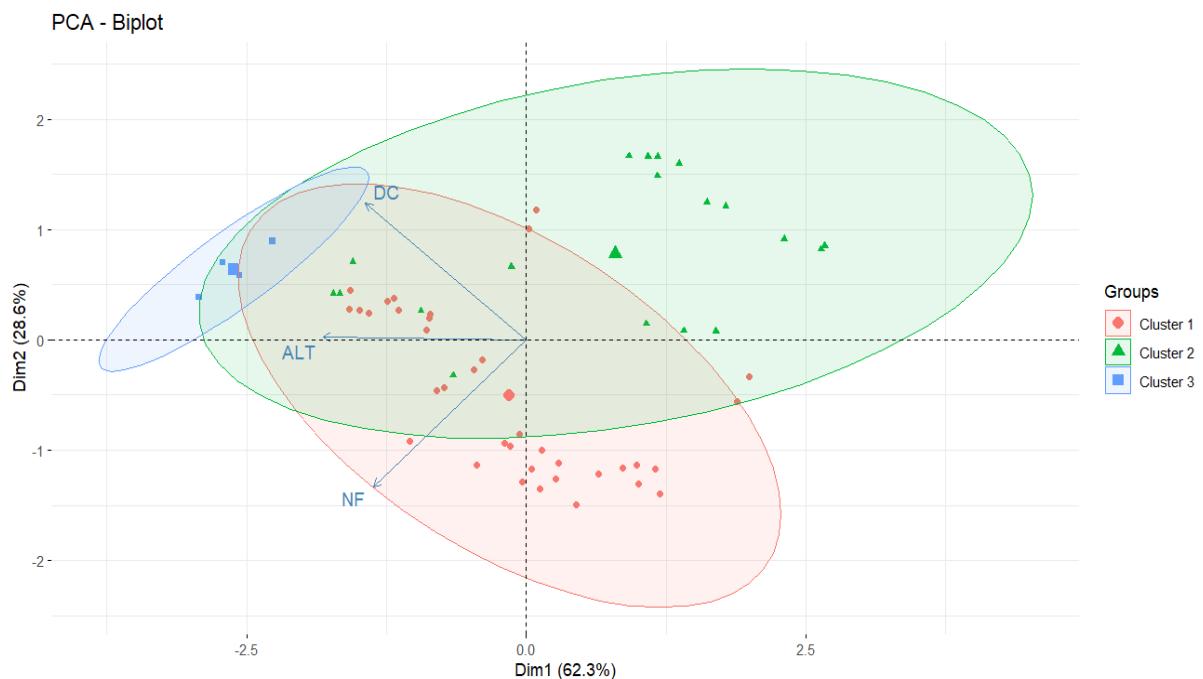
Fonte: O autor (2024).

A análise de agrupamento confirma os resultados obtidos para os contrastes multivariados (Tabela 5), com o tratamento Jamb03-MIX formando um grupo isolado dos demais, relacionado ao melhor desempenho vegetativo das mudas de Jamb-03 bioestimuladas com MIX (Tabela 6).

Para verificar a influência das variáveis no agrupamento, foi utilizada a PCA de forma complementar. Assim, foi constatado que a contribuição das variáveis em explicar a variação

dos dados foi eficiente, pois reduziu o conjunto de dados, concentrando mais de 90% da variação nas duas primeiras dimensões (Figura 8).

**Figura 8** - Biplot da análise de componentes principais (PCA) para altura de planta (ALT), número de folhas (NF) e diâmetro do coleto (DC) de variedades locais de jambu associadas com bioestimulantes à base de *Trichoderma* spp.



Fonte: O autor (2024).

ALT foi a variável de maior contribuição para explicar a variação da primeira dimensão (Dim1), por estar alinhada com o eixo correspondente (Figura 8). ALT e DC apresentaram maior peso para discriminar Jamb03-MIX, em virtude do comprimento do vetor e a posição no quadrante. Além disso, ALT e DC estão correlacionadas, em razão dos seus vetores formarem ângulo menor que 90°.

Por outro lado, a correlação entre DC e NF foi baixa, por apresentarem ângulo maior que 90°. O NF teve forte influência na distinção dos tratamentos compostos pela variedade Jamb-16, mostrado a partir do comprimento e proximidade do vetor, resultado oposto ao vetor de DC, que teve maior sensibilidade para discriminar os tratamentos de Jamb-03 e Jamb-17, reforçando os resultados de agrupamento e contrastes multivariados.

### 3.3.5 Ensaio II – Desenvolvimento vegetativo e produtivo

Para as trocas gasosas, a MANOVA apresentou significância apenas para os efeitos de bloco e variedade, não havendo diferença entre os vetores de média para o efeito de adicional, fatorial *versus* adicional, bioestimulante e a interação entre os fatores (variedade *versus* bioestimulante) (Tabela 7).

**Tabela 7** - Resumo da análise de variância multivariada (MANOVA), por meio do teste Lambda de Wilks, indicando a aproximação de F e a probabilidade para o teste F de cinco variáveis respostas analisadas simultaneamente: *i*) assimilação líquida de CO<sub>2</sub> (A); *ii*) condutância estomática (gs); *iii*) transpiração (E); *iv*) concentração interna de CO<sub>2</sub> e *v*) uso eficiente da água (UEA).

Efeito	Wilks	Valor F	Pr>F
Bloco	0,0260	19,31	<2,2 e-16
Fat x Ad	0,9476	0,42	0,8319
Adicional	0,6567	1,78	0,0791
<b>Variedade (V)</b>	<b>0,3301</b>	<b>5,63</b>	<b>3,023e-06</b>
Bioestimulante (B)	0,6667	1,11	0,3564
V x B	0,4467	1,15	0,2908

Fonte: O autor (2024).

Entre os contrastes testados apenas ‘Jamb16-IBLF006 *versus* Jamb16-AD’ e ‘Jamb16-IBLF1236 *versus* Jamb16-AD’ foram significativos. Com base nas médias (Tabela 8), é possível observar que as plantas não bioestimuladas de Jamb-16 apresentaram taxa de A superior ( $51,86 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) em relação ao tratamento de Jamb-16 bioestimulados com IBLF 006 ( $47,14 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) e IBLF 1236 ( $50,44 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), além de variações nas demais variáveis fisiológicas, influenciando nos vetores de média para estes contrastes.

**Tabela 8** - Valores médios de assimilação líquida de CO<sub>2</sub> (A), condutância estomática (gs), transpiração (E), concentração interna de CO<sub>2</sub> (Ci) e uso eficiente da água (UEA) de variedades locais de jambu associadas com bioestimulantes à base de *Trichoderma* spp.

Tratamentos	<i>A</i> ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	<i>gs</i> ( $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	<i>E</i> ( $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	<i>Ci</i> (ppm)	<i>UEA</i> ( $\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$ )
Jamb03-AD	41,38	0,42	3,86	162,06	11,21
Jamb17-AD	44,73	0,42	3,90	140,50	12,03
<b>Jamb16-AD</b>	<b>51,86</b>	<b>0,45</b>	<b>3,96</b>	<b>113,81</b>	<b>13,23</b>
Jamb03-IBLF 006	40,79	0,39	3,67	156,25	11,66
Jamb03-CBMAI 1622	41,04	0,39	3,54	152,94	11,78
Jamb03-IBLF 1236	38,95	0,38	3,69	165,19	10,85
Jamb03-MIX	37,56	0,37	3,53	167,13	10,75
Jamb17-IBLF 006	49,42	0,44	4,12	124,69	12,58
Jamb17-CBMAI 1622	46,24	0,45	4,15	145,63	11,45
Jamb17-IBLF 1236	45,17	0,42	3,80	141,00	12,00
Jamb17-MIX	40,91	0,40	3,66	157,25	11,30
Jamb16-IBLF 006	47,14	0,48	4,34	150,94	11,15
Jamb16-CBMAI 1622	51,84	0,46	3,91	120,44	13,39
Jamb16-IBLF 1236	50,44	0,46	3,95	117,69	13,17
Jamb16-MIX	50,26	0,44	3,84	115,44	13,52
Média Geral	45,18	0,42	3,86	142,06	12,00
CV (%)	9,91	6,81	8,33	15,68	10,38

Jamb03: *Acmella oleracea*; Jamb17: *A. oleracea*; Jamb16: *A. ciliata*; IBLF 006: *Trichoderma harzianum*; CBMAI 1622: *T. asperellum*; IBLF 1622: *T. asperellum*; MIX: pool de *T. asperellum* (UFRA-T06, T09, T12 e T52); AD: adicional. CV: coeficiente de variação (%).

Fonte: O autor (2024).

Para as variáveis de crescimento e produção de biomassa, todos os efeitos foram altamente significativos pela MANOVA (Tabela 9), confirmando que houve diferença entre os vetores de média.

**Tabela 9** - Resumo da análise de variância multivariada (MANOVA), indicando a aproximação de F e a probabilidade para o teste F de 11 variáveis-resposta analisadas simultaneamente: *i*) dias para o florescimento (DPF); *ii*) comprimento da ramificação principal (CRP); *iii*) diâmetro da ramificação principal (DRP); *iv*) número de ramificações secundárias (NRS); *v*) número de folhas (NF); *vi*) massa fresca da parte aérea (MFPA); *vii*) massa seca da parte aérea (MSPA); *viii*) produtividade de massa fresca (PROD); *ix*) produtividade de massa seca (PROD MS); *x*) produtividade de massa fresca de inflorescências (PRODINF) e *xi*) produtividade de massa seca de inflorescências (PRODINFMS).

Efeito	Wilks	Valor F	Pr>F
Bloco	0,2464	1,75	0,0187
Fat x Ad	0,1906	12,36	1,259e-08
Adicional	0,0219	16,77	<2,2e-16
Variedade (V)	0,0017	66,72	<2,2e-16
Bioestimulante (B)	0,1064	3,28	3,481e-06
V x B	0,0359	2,31	7,008e-06

Fonte: O autor (2024).

Embora os vetores de média tenham diferido em todos os efeitos estudados, somente o contraste ‘Jamb17-MIX versus Jamb17-AD’ foi significativo ao nível de  $p<0,05$ . Este contraste está alinhado com as diferenças nas médias de dias para o florescimento (DPF) e nas produtividades de inflorescências, tanto fresca quanto seca (Tabelas 10 e 11).

**Tabela 10** - Valores médios de dias para o florescimento (DPF), comprimento da ramificação principal (CRP), número de ramificações secundárias (NRS), número de folhas (NF), massa fresca da parte aérea (MFPA), massa seca da parte aérea (MSPA) de variedades locais de jambu associadas com bioestimulantes à base de *Trichoderma* spp.

Tratamentos	DPF (dias <sup>-1</sup> )	CRP (cm)	NRS	NF	MFPA (g)	MSPA (g)
Jamb03-AD	12,09	23,73	10,00	126,00	134,57	8,83
<b>Jamb17-AD</b>	<b>17,71</b>	<b>26,48</b>	<b>12,00</b>	<b>126,00</b>	<b>122,12</b>	<b>8,27</b>
Jamb16-AD	24,27	69,43	16,00	404,00	227,42	22,36
Jamb03-IBLF 006	12,86	23,19	11,00	108,00	125,28	9,41
Jamb03-CBMAI 1622	12,16	20,21	11,00	110,00	123,28	8,04
Jamb03-IBLF 1236	12,89	21,39	9,00	112,00	107,38	7,69
Jamb03-MIX	11,93	25,36	10,00	131,00	137,06	9,85
Jamb17-IBLF 006	15,73	26,06	11,00	152,00	133,47	10,02
Jamb17-CBMAI 1622	15,36	24,72	12,00	137,00	121,20	8,38
Jamb17-IBLF 1236	17,46	28,11	13,00	131,00	106,60	7,99
<b>Jamb17-MIX</b>	<b>13,00</b>	<b>26,16</b>	<b>11,00</b>	<b>113,00</b>	<b>107,24</b>	<b>7,97</b>
<b>Jamb16-IBLF 006</b>	<b>21,98</b>	<b>73,01</b>	<b>16,00</b>	<b>434,00</b>	<b>267,00</b>	<b>26,53</b>
Jamb16-CBMAI 1622	23,68	71,30	16,00	398,00	241,50	23,42
Jamb16-IBLF 1236	24,00	69,47	15,00	356,00	202,42	18,97
<b>Jamb16-MIX</b>	<b>22,30</b>	<b>76,25</b>	<b>17,00</b>	<b>496,00</b>	<b>308,58</b>	<b>29,01</b>
Média Geral	17,16	40,32	13,00	222,00	164,34	13,78
CV (%)	9,00	8,84	6,42	27,43	26,35	26,11

Jamb03: *Acmella oleracea*; Jamb17: *A. oleracea*; Jamb16: *A. ciliata*; IBLF 006: *Trichoderma harzianum*; CBMAI 1622: *T. asperellum*; IBLF 1622: *T. asperellum*; MIX: pool de *T. asperellum* (UFRA-T06, T09, T12 e T52); AD: adicional. CV (%): Coeficiente de variação.

Fonte: O autor (2024).

As plantas da variedade Jamb-17 bioestimuladas com MIX apresentaram redução no tempo de emissão dos botões florais em relação àquelas não bioestimuladas (13 e 18 dias, respectivamente). Além disso, Jamb17-MIX produziu maior quantidade de massa fresca (45,06 g m<sup>-2</sup>) e seca (5,05 g m<sup>-2</sup>) de inflorescências em comparação ao tratamento não bioestimulado, um acréscimo de 95,49% de massa fresca e 108,68% de massa seca de inflorescência por metro quadrado (Tabela 11).

**Tabela 11** - Valores médios de produtividade de massa fresca (PROD), produtividade de massa seca (PRODMS), produtividade de massa fresca de inflorescências (PRODINF) e produtividade de massa seca de inflorescências (PRODINFMS) de variedades locais de jambu associadas com bioestimulantes à base de *Trichoderma* spp.

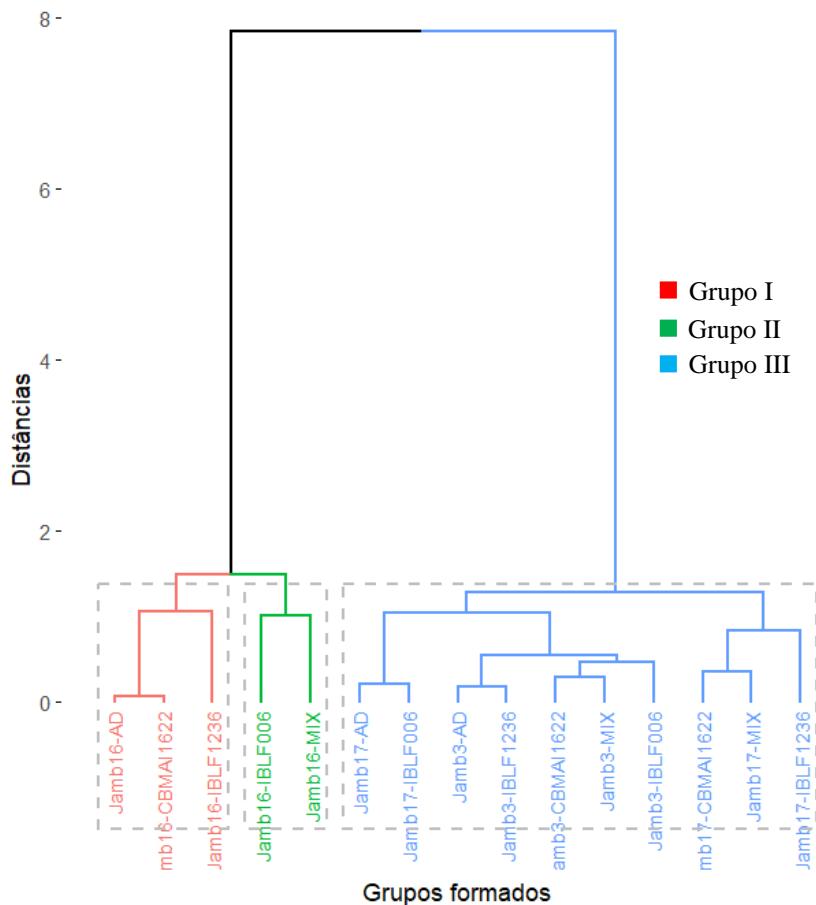
Tratamentos	PROD (kg m <sup>-2</sup> )	PRODMS (kg m <sup>-2</sup> )	PRODINF (g m <sup>-2</sup> )	PRODINFMS (g m <sup>-2</sup> )
Jamb03-AD	3,37	0,22	102,56	10,85
Jamb17-AD	3,05	0,21	23,05	2,42
Jamb16-AD	5,69	0,56	21,02	3,21
Jamb03-IBLF 006	3,13	0,24	77,43	7,85
Jamb03-CBMAI 1622	2,58	0,20	89,27	10,36
Jamb03-IBLF 1236	2,68	0,19	68,37	7,56
<b>Jamb03-MIX</b>	<b>3,43</b>	<b>0,25</b>	<b>124,00</b>	<b>14,17</b>
Jamb17-IBLF 006	3,34	0,25	37,46	3,86
Jamb17-CBMAI 1622	3,03	0,21	34,17	3,48
Jamb17-IBLF 1236	2,67	0,20	23,11	2,40
<b>Jamb17-MIX</b>	<b>2,68</b>	<b>0,20</b>	<b>45,06</b>	<b>5,05</b>
<b>Jamb16-IBLF 006</b>	<b>6,68</b>	<b>0,66</b>	<b>29,88</b>	<b>5,46</b>
Jamb16-CBMAI 1622	6,04	0,59	22,89	3,87
Jamb16-IBLF 1236	5,06	0,47	15,34	3,00
<b>Jamb16-MIX</b>	<b>7,72</b>	<b>0,73</b>	<b>43,96</b>	<b>7,18</b>
Média Geral	4,08	0,35	50,50	6,05
CV (%)	26,34	26,10	45,83	43,34

Jamb03: *Acmella oleracea*; Jamb17: *A. oleracea*; Jamb16: *A. ciliata*; IBLF 006: *Trichoderma harzianum*; CBMAI 1622: *T. asperellum*; IBLF 1622: *T. asperellum*; MIX: pool de *T. asperellum* (UFRA-T06, T09, T12 e T52); AD: adicional. CV (%): Coeficiente de variação.

Fonte: O autor (2024).

Para verificar similaridades e diferenças da bioestimulação, submetemos os tratamentos à análise de agrupamento, com base nas variáveis de trocas gasosas, crescimento e produção de biomassa (Figura 9). Com isso, obtivemos a formação de três grupos: Grupo I (Jamb16-AD, Jamb16-CBMAI1622 e Jamb16-IBLF1236), Grupo II (Jamb16-IBLF006 e Jamb16-MIX) e Grupo III (Jamb17-AD, Jamb17-IBLF006, Jamb03-AD, Jamb03-IBLF1236, Jamb03-CBMAI1622, Jamb03-MIX, Jamb03-IBLF006, Jamb17-CBMAI1622, Jamb17-MIX e Jamb17-IBLF1236). Os tratamentos foram agrupados a partir das distâncias obtidas, sendo classificados de acordo com o nível de similaridade entre si. Jamb-16 (*A. ciliata*) formou os Grupos I e II, ficando o Grupo III composto pelas variedades Jamb-03 e Jamb-17, ambas da espécie *A. oleracea* (Figura 9).

**Figura 9** - Dendrograma obtido via UPGMA, representando a similaridade entre os grupos, representados pelos tratamentos compostos pelas variedades locais de jambu associadas com bioestimulantes à base de *Trichoderma* spp., considerando a frequência de discrepância para variáveis de trocas gasosas, crescimento e produção de biomassa.



Fonte: O autor (2024).

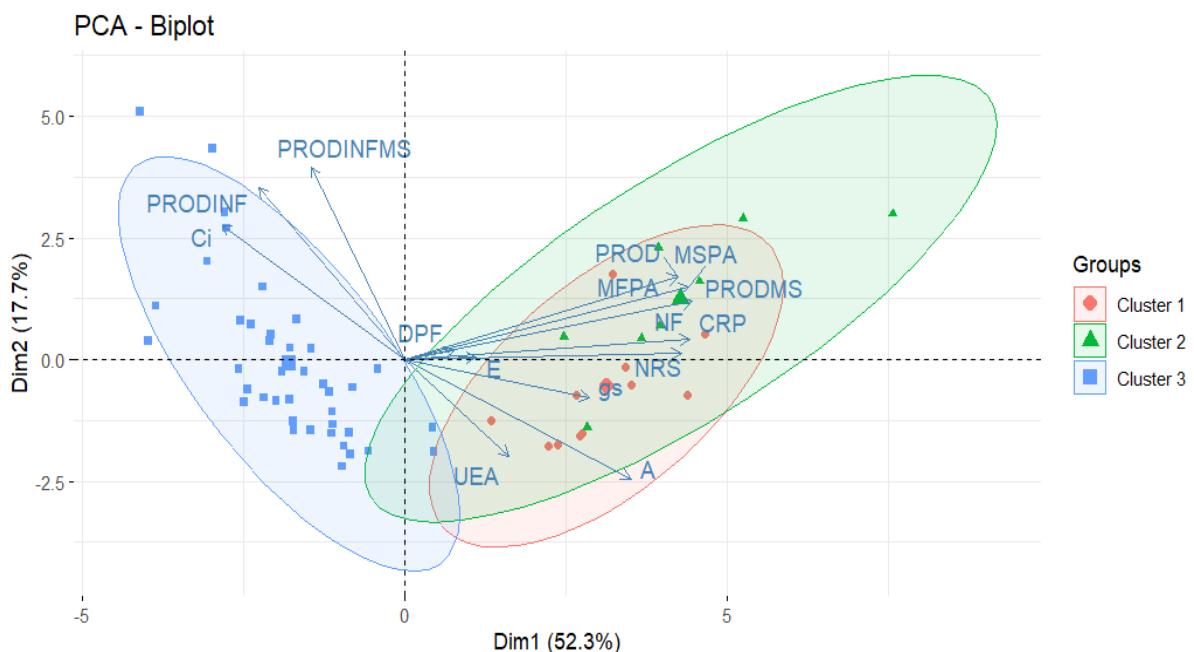
Para os tratamentos da variedade Jamb-16, embora pertencentes a mesma espécie, formaram grupos distintos (I e II), confirmando a dissimilaridade em relação às variáveis analisadas (Figura 9). Em Jamb16-IBLF006 e Jamb16-MIX observamos desempenho elevado de crescimento e produção de biomassa (Tabela 10), fator que contribuiu na diferenciação do Grupo II.

Além disso, é possível verificar que, embora os tratamentos compostos por Jamb-17 estejam no mesmo grupo (III), a disposição no dendrograma os distribuiu em subgrupos distintos, com base nas maiores similaridades (Figura 9).

A fim de entender quais variáveis mais influenciaram na distinção dos tratamentos e confirmar a análise de agrupamento, foi utilizado a PCA, na qual observamos que as duas primeiras dimensões (Dim1 e Dim2) foram capazes de explicar 70% da variação do conjunto de dados (Figura 10). Isso mostra que houve redução na dimensionalidade das variáveis

originais, com 30% de perda na explicação dos dados, conferindo robustez aos resultados encontrados.

**Figura 10** - Biplot da análise de componentes principais (PCA) para as variáveis de trocas gasosas (*A*, *gs*, *E*, *Ci* e *UEA*), crescimento (DPF, CRP, NRS e NF) e produção de biomassa (MFPA, MSPA, PROD, PRODMS, PRODINF e PRODINFMS) de variedades locais de jambu associadas com bioestimulantes à base de *Trichoderma* spp.



Fonte: O autor (2024).

Verificamos que as variáveis de crescimento (CRP, NF, NRS, MFPA e MSPA), produção de biomassa da parte aérea (PROD e PRODMS) e trocas gasosas (*A*, *gs* e *UEA*) foram altamente relevantes para explicar a variação da Dim1, em virtude do comprimento dos vetores e o ângulo em relação ao eixo da primeira dimensão (Figura 10). Esse grupo de variáveis apresentou forte correlação positiva, o que é indicado pela proximidade dos vetores, com formação de ângulo menor que 90°. Dentre as variáveis, DPF e *E* possibilitaram baixa contribuição para explicar a variação dos dados, em virtude do vetor mais curto, próximo da origem.

Os tratamentos da variedade Jamb-16 bioestimulados com MIX e IBLF 006 foram fortemente influenciados pelas variáveis de crescimento e produção de biomassa da parte aérea, caracterizando alto desenvolvimento vegetativo, constatado pela proximidade com os vetores correspondentes a essas variáveis (Figura 10).

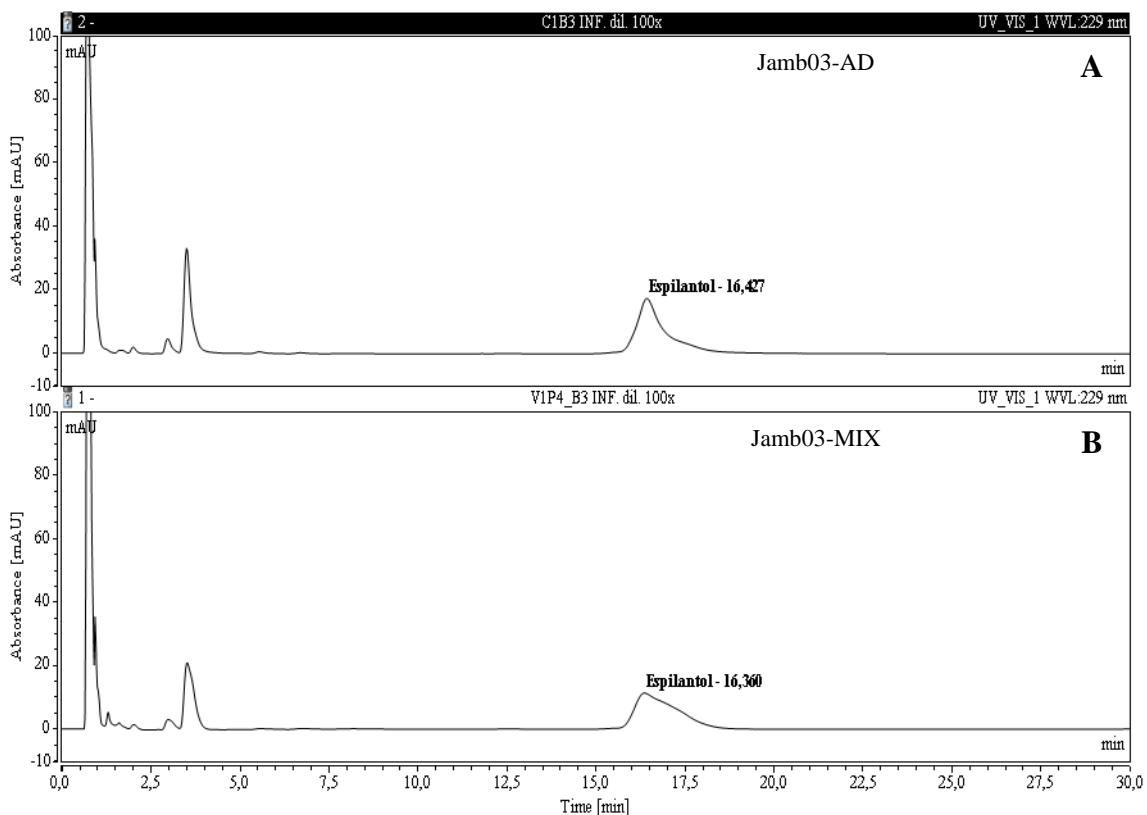
A segunda dimensão (Dim 2) foi explicada, majoritariamente, pelas produtividades de inflorescências (PRODINF e PRODINFMS) e *Ci*, com forte correlação positiva entre si (Figura 10). Além disso, a elevada produtividade fresca e seca de inflorescências por metro quadrado em plantas de Jamb-03 confirma os resultados obtidos na PCA, onde é possível verificar que PRODINF e PRODINFMS tiveram alta influência na diferenciação desta variedade, com maior incremento sendo apresentado por Jamb03-MIX (Tabela 11).

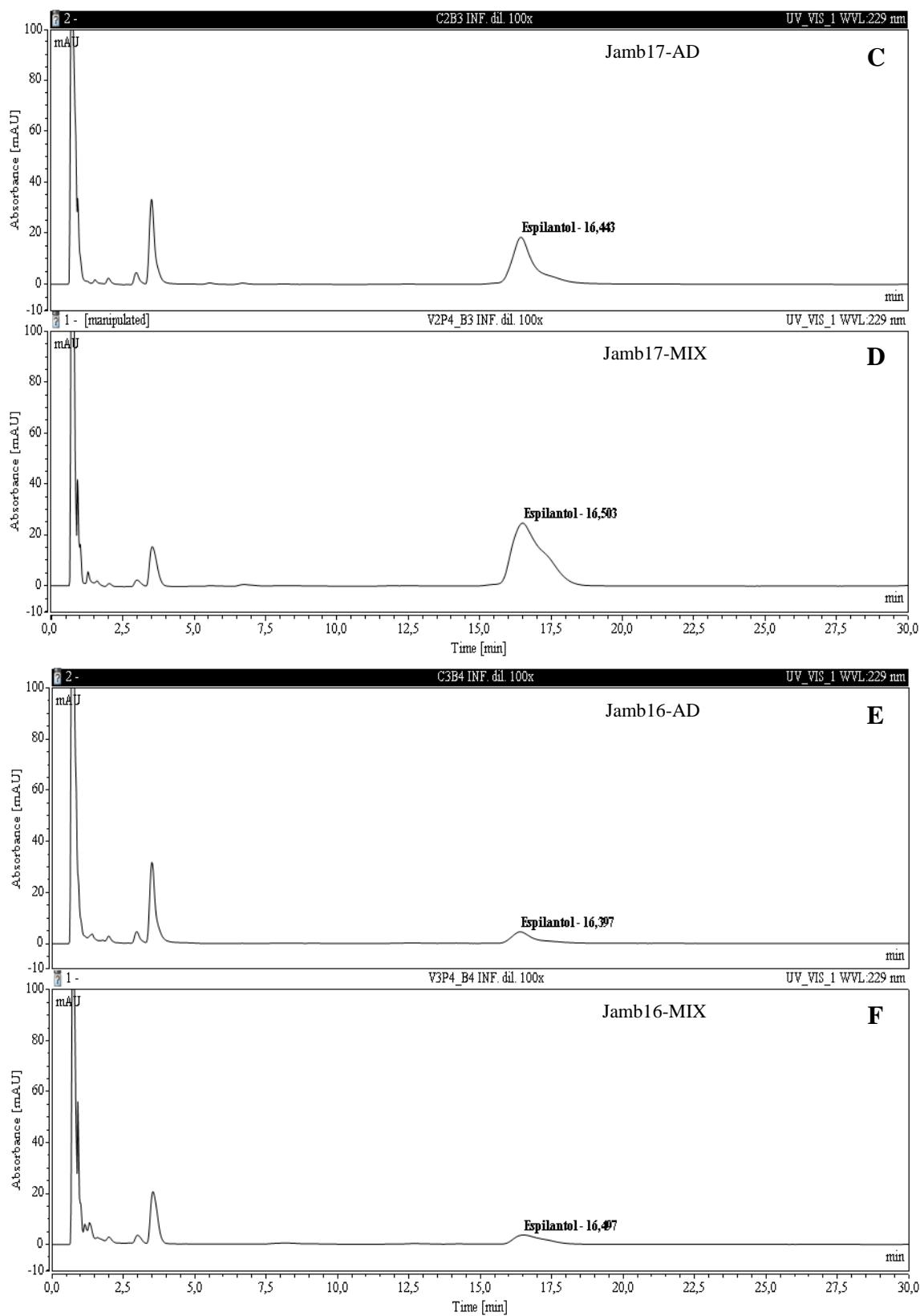
### 3.3.6 Conteúdo de espilantol

Com base nas respostas da inoculação na fase de muda, trocas gasosas, crescimento e produção de biomassa para cada variedade, selecionamos os resultados dos extratos metanólicos das inflorescências de jambu para as três variedades bioestimuladas com MIX e os tratamentos adicionais (sem inoculação), para comparação dos efeitos no teor de espilantol.

Verificamos, a partir dos cromatogramas (Figura 11) e dos resultados quantificados (Tabela 12), que tanto nos tratamentos adicionais quanto naqueles bioestimulados com MIX, houve a detecção de espilantol, confirmado pela curva de calibração da solução padrão.

**Figura 11** - Cromatograma de pico do extrato metanólico de inflorescências de variedades locais de jambu associadas com bioestimulantes à base de *Trichoderma* spp., apresentando a faixa de absorbância e o tempo de retenção. Jamb03-AD (A) versus Jamb03-MIX (B); Jamb17-AD (C) versus Jamb17-MIX (D); Jamb16-AD (E) versus Jamb16-MIX (F).





Fonte: O autor (2024).

**Tabela 12** - Comparativo do teor de espilantol em extratos metanólicos de inflorescências de variedades locais de jambu associadas com bioestimulantes à base de *Trichoderma* spp, e seus respectivos tratamentos adicionais (sem inoculação).

Tratamentos	Teor de espilantol (mg/g MS)	Desvio padrão	CV (%)
Jamb03-AD	31,57	2,34	7,42
Jamb03-MIX	27,62	1,61	5,82
<b>Jamb17-AD</b>	<b>31,64</b>	1,45	4,57
<b>Jamb17-MIX</b>	<b>39,24</b>	6,42	16,35
Jamb16-AD	7,44	0,94	12,56
Jamb16-MIX	5,05	2,16	42,68

Fonte: O autor (2024).

Para as variedades Jamb-03 e Jamb-16, não houve diferença entre os picos dos tratamentos adicionais (Figura 11A, E) e os bioestimulados com MIX (Figura 11B, F), resultado este corroborado nos valores quantificados (Tabela 12), onde foi observado que a bioestimulação não promoveu incremento de espilantol. Por outro lado, as plantas de Jamb-17 em associação com o MIX apresentaram diferença no teor de espilantol, sendo relativamente superior a Jamb17-AD (Figura 11C, D e Tabela 12), representando incremento de 24,02%. Além disso, em todos os tratamentos observamos a presença de outros compostos no início dos cromatogramas, reflexo da diversa produção de metabólitos secundários no jambu (Figura 11).

### 3.4 Discussão

#### 3.4.1 Monitoramento climático

Os fatores climáticos podem ser limitantes ao desenvolvimento das cepas de *Trichoderma* spp., em razão da influência no crescimento micelial. A maioria das espécies tem o crescimento estimulado com temperaturas do substrato entre 25 a 30 °C e umidade relativa elevada (Abreu; Pfenning, 2019). Observamos que as condições climáticas do ar, monitoradas no ambiente protegido (Figura 4), podem estar relacionadas com a baixa amplitude térmica e alta umidade no solo. Além disso, a utilização de cobertura morta influenciou na criação de microclima propício, favorecendo o desenvolvimento de *Trichoderma* spp.

A temperatura do solo nesta pesquisa, ao longo dos dias variou entre 28 a 30 °C, chegando até 31 °C em períodos específicos da tarde, com umidade acima de 40% (Tabela 3). Estes resultados evidenciam que o sistema de cultivo se encontrava adequado para a germinação dos conídios e desenvolvimento do fungo inoculado. Para algumas cepas de *T. asperellum*, o crescimento micelial ainda é expressivo em temperaturas de até 32 °C (Domingues *et al.*, 2016).

Em trabalho de Oliveira et al. (2019), com cepas das espécies *T. harzianum* e *T. asperellum* observou-se maior crescimento dos micélios, capacidade de esporulação e germinação dos conídios em temperaturas de 30 °C. Além disso, os autores verificaram que a cepa ESALQ 1306 (*T. harzianum*), apresentou maior germinação de conídios a 35 °C, mostrando a capacidade de adaptação intrínseca de algumas cepas.

Essa adaptação é importante, principalmente, a nível de campo na região amazônica, onde as médias de temperatura do ar são superiores a 26 °C ao longo do ano, podendo atingir mais de 30 °C durante o verão, em razão da elevada umidade (Alvares et al., 2013). Tais parâmetros alteram o microclima do solo em cultivos a céu aberto e protegidos, logo, cepas adaptadas a amplitudes térmicas podem ter maior sucesso na colonização das raízes.

### 3.4.2 Microbiologia fúngica

A diversidade de fungos na área experimental representa uma pequena parte da microbiota presente no solo, com forte capacidade de interação, e como os fungos do gênero *Trichoderma* são altamente competitivos na colonização dos ambientes, a comunidade microbiana pode ser alterada (Senkovs et al., 2021). Os resultados revelaram que após a inoculação das cepas no solo de cultivo, houve a detecção e supressão de novos gêneros de fungos, possivelmente derivado das interações naturais que ocorrem no solo, incluindo a liberação de metabólitos secundários por *Trichoderma* spp. (Ramada et al., 2019).

Além disso, as variações nas densidades populacionais antes e depois das inoculações em nossa pesquisa, sugerem que organismos externos adicionados ao solo podem modificar a microbiota nativa. Estas modificações são resultantes de ações mutualísticas ou antagonistas coordenadas, que podem favorecer o aumento populacional de fungos benéficos, contribuindo para a maior dinâmica metabólica no ambiente rizosférico, de modo a incrementar o crescimento vegetal (Wang et al., 2023).

Vale ressaltar que os efeitos expressos nas plantas de jambu, além da colonização eficiente dos isolados de *Trichoderma* spp., também são resultado da interação deste fungo com o conjunto da comunidade microbiana nativa.

### 3.4.3 Screening de bioestimulantes

Nossos resultados indicam que a promoção do crescimento no screening apresentou interação significativa entre as variedades de *Acmenella* spp. e os bioestimulantes. Verificamos que as mudas de Jamb-03 bioestimuladas apresentaram diferenças no comprimento do pecíolo

e número de ramificações secundárias (Figura 5A e B), assim como houve o desenvolvimento de pecíolos mais curtos e menor número de ramificações secundárias em mudas de Jamb-16 bioestimuladas com MIX e CBMAI 1622, em comparação a Jamb-03, resultados estes associados, sobretudo, ao desempenho vegetativo, como é possível observar na Figura 6. Estes tipos de respostas indicam que a magnitude da bioestimulação nas plantas depende do genótipo utilizado (García *et al.*, 2015).

Em mudas de Jamb-16 bioestimuladas com a cepa CBMAI 1622 (*T. asperellum*) o comprimento do pecíolo foi menor, em comparação ao tratamento não bioestimulado (Figura 5A), sugerindo que a interação desta cepa com a variedade resultou em efeito pouco expressivo, como pode ser constatado no desenvolvimento da muda aos 30 DAS (Figura 6). Inicialmente, para haver a correta colonização, a cepa de *Trichoderma* spp. necessita penetrar nos tecidos da raiz e suprimir as defesas da planta, sendo reconhecido neste período como patógeno, até completar o estabelecimento, portanto, a indução do crescimento, dependente da colonização, varia entre as cepas (Mendoza *et al.*, 2018).

#### 3.4.4 Ensaio I - Desenvolvimento vegetativo em fase de muda

Na fase de muda pré-transplantio, os contrastes multivariados testados apresentaram efeitos significativos para boa parte dos tratamentos, em razão das diferenças na promoção de crescimento. É evidente que o desenvolvimento vegetativo inicial das plantas é a fase em que se faz necessário adequada disponibilidade de nutrientes e água para a obtenção de mudas vigorosas, portanto, é essencial a manutenção destes fatores. Para tal, a utilização de *Trichoderma* spp. permite o aumento na disponibilidade de nutrientes, além de produzir compostos que auxiliam no metabolismo vegetal (Lanzuise *et al.*, 2022). Isso pode explicar o maior crescimento da variedade de Jamb-03 inoculada com o bioestimulante MIX (Tabela 6), composto por um *pool* de *T. asperellum*.

As mudas de Jamb-03 bioestimuladas com MIX tiveram acréscimo em altura e diâmetro do coletor, diferindo das mudas bioestimuladas com as demais cepas e das não bioestimuladas (Tabela 6), possivelmente em razão do *pool* de *T. asperellum* que compõe este bioestimulante, com variações na intensidades de colonização. Além disso, estas cepas são oriundas de solos da Amazônia (áreas de floresta), adaptadas as condições edafoclimáticas da região, e com resultados positivos na promoção de crescimento (Silva *et al.*, 2012).

Isso fica mais evidente na análise de agrupamento (Figura 7), onde Jamb03-MIX foi alocado individualmente no Grupo III, em virtude das suas dissimilaridades. De modo

complementar, a PCA revelou que as principais variáveis que contribuíram para a separação de Jamb03-MIX foram ALT e DC. Tais resultados sustentam que efeitos no desenvolvimento vegetativo proporcionados pelas cepas de *Trichoderma* spp., se devem além da maior biodisponibilidade de nutrientes, também pela capacidade de produzir ácido indolacético (AIA) e compostos voláteis, promovendo o aumento da biomassa vegetal e modificações na morfogênese da raiz (Ortuño *et al.*, 2016; Vergara *et al.*, 2016).

Verificamos que nos materiais bioestimulados, algumas cepas promoveram diferenças entre as variedades de jambu para o NF. As mudas de Jamb-17 inoculadas com CBMAI 1622 e MIX produziram maior NF, diferindo da mudas bioestimuladas com IBLF 006 (Tabela 5). Além disso, Jamb17-MIX obteve incremento em ALT, NF e DC, quando comparado a Jamb17-AD, resultados evidenciados pela análise de agrupamento (Figura 7). O incremento de folhas nesta fase facilita o desenvolvimento das mudas de jambu em campo, devido a maior área fotossinteticamente ativa para produção de fotoassimilados. Portanto, nossos resultados sugerem que mudas de jambu bioestimuladas com *Trichoderma* spp. podem atingir o tempo de bandeja com maior conteúdo de biomassa de folhas, e possivelmente mais vigorosas.

Nesta pesquisa, cepas de *T. asperellum* beneficiaram o desenvolvimento vegetativo das variedades de *A. oleracea* em fase de muda para ALT, DC e NF (Tabela 6), podendo estar relacionado com o estímulo hormonal nos primeiros dias pós-colonização das raízes. Resultados consistentes mostram que *T. asperellum* inicia a produção de AIA e sideróforos, aos sete dias após a inoculação (Li *et al.*, 2018).

A significância dos contrastes ‘Jamb16-IBLF006 versus Jamb16-IBLF1236’ e ‘Jamb16-IBLF1236 versus Jamb16-MIX’, se relacionam com o desenvolvimento de mudas mais baixas e com caule mais delgado em Jamb16-IBLF1236 (Tabela 6). O menor desenvolvimento de mudas para esta cepa pode estar associado ao nível de especificidade *Trichoderma*-planta, que varia entre cepas da mesma espécie (Souza *et al.*, 2022). A nível de campo, as mudas de jambu com coleto de menor diâmetro podem absorver menos água e nutrientes, em virtude da limitação dos vasos condutores.

Com base nestes achados, a análise de agrupamento mostrou que os tratamentos da variedade Jamb-16, embora compondo o mesmo grupo (I), estão separados em subgrupos, conforme o grau de similaridade, sendo possível verificar que Jamb16-IBLF006 e Jamb16-MIX situaram-se mais distantes de Jamb16-1236, devido a diferenças em ALT. Para esta variedade de jambu, constatamos que a bioestimulação não promoveu incremento em NF, quando comparamos com as mudas não bioestimuladas (Tabela 6). No entanto, a PCA mostrou que NF

foi a variável que teve maior influência na separação dos tratamentos compostos por Jamb-16 (Figura 7), sendo esta característica de maior produção de folhas inerente a espécie *A. ciliata*.

Em trabalho anterior de Souza *et al.* (2022), avaliando a inoculação de *T. asperellum* em alface, foi possível verificar que as respostas diferiam entre as cultivares, ligadas especificamente ao genótipo, para as características de desenvolvimento das mudas. Ainda segundo os autores, a interação de materiais distintos com *Trichoderma* spp. pode gerar efeitos positivos, negativos ou a ausência deles. Estes resultados corroboram com os achados de nossa pesquisa, quando para certas características (NF) houve ausência de efeitos nas mudas bioestimuladas, ou diferença na magnitude do efeito entre as variedades.

### 3.4.5 Ensaio II – Desenvolvimento vegetativo e produtivo

Mudanças nos fatores ambientais, sejam bióticos ou abióticos podem alterar o metabolismo vegetal, com efeitos nas respostas fisiológicas (Rezende; Furlan, 2020). No entanto, não observamos diferença significativa entre os vetores de média para as variáveis de trocas gasosas, com a inoculação de *Trichoderma* spp. em variedades de jambu (Tabela 7).

Jamb-16 apresentou alta taxa de *A* e *E*, reflexo direto da maior abertura dos estômatos nas plantas, relacionando-se com os resultado significativo da MANOVA para o fator variedade (Tabela 4). A maior assimilação de CO<sub>2</sub> nos permite constatar que esta variedade possui forte potencial na realização de fotossíntese e produção de biomassa fresca e seca, devido a relação com a síntese de fotoassimilados na planta. Além disso, os resultados de *gs* para Jamb-16 podem ter sido influenciados pelo baixo *Ci* observado (exceto para Jamb16-IBLF 006), inferindo aumentos na fotossíntese do mesófilo foliar, visto que baixas concentrações de CO<sub>2</sub> intercelular abrem os estômatos (Taiz *et al.*, 2017). Esses resultados se justificam em virtude da maior arquitetura de Jamb-16, associada com o elevado NF corroborar o potencial de utilização do *Ci*, com consequente aumento no processo de fotossíntese.

Sampaio *et al.* (2022) estudando as espécies de *A. oleracea* e *A. ciliata* verificaram maior assimilação líquida de CO<sub>2</sub> nos materiais UFR-5, UFR-6 e UFR-8, todos pertencentes a espécie *A. ciliata*, entretanto com baixos valores de abertura estomática (0,14 e 0,23 mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), estes diferindo dos resultados obtidos nesta pesquisa. Embora com resultados de abertura estomática menores, a assimilação de CO<sub>2</sub> em *A. ciliata* foi alta nas duas pesquisas, caracterizando a capacidade genética da espécie para a fotossíntese. Vale ressaltar que o processo de abertura dos estômatos influencia no total de CO<sub>2</sub> absorvido, e que pode ser fixado pela rubisco, enzima que atua na etapa de carboxilação, para produção de sacarose e amido (Taiz *et al.*, 2017).

O tratamento Jamb16-IBLF 006 estimulou maior abertura dos estômatos nas plantas, em comparação ao tratamento não bioestimulado (Tabela 8), observado pelo contraste multivariado. A modulação em  $gs$  pela utilização de bioestimulantes pode estar relacionada com a absorção de potássio pela planta, devido a maior solubilização no solo por *Trichoderma* spp., a partir da liberação de ácidos orgânicos (Bucio *et al.*, 2015). Assim, a disponibilidade de potássio influencia na osmorregulação, pois o transporte deste nutriente para as células-guarda altera o potencial osmótico, contribuindo diretamente na abertura dos estômatos (Taiz *et al.*, 2017). Estas constatações refletem a importância da interação fungo-planta para cultivos de jambu em ambiente protegido no trópico úmido, em razão da amplitude térmica do ar.

Além disso, a variedade Jamb-16 também apresentou melhores resultados para o *UEA*, em relação a Jamb-03 e Jamb-17 (Tabela 8), confirmados pela proximidade do vetor de *UEA* aos tratamentos compostos por Jamb-16, na PCA (Figura 10). Tais resultados tem relação com os altos valores de *E* e *A* em Jamb-16. Valores elevados de *UEA* mostram o total de água evapotranspirada pela planta para produção de matéria seca, a partir do aumento de  $CO_2$  assimilado (Rasouli *et al.*, 2023). O aumento de massa por unidade de água transpirada é uma característica valiosa para hortaliças folhosas, como o jambu, sendo possível o incremento de produtividade nos sistemas de cultivo, e consequentemente rápido retorno dos investimentos financeiros.

As diferenças observadas e detectadas pelos contrastes multivariados para trocas gasosas na variedade Jamb-16, podem ser visualizadas na análise de agrupamento, havendo separação dos tratamentos em grupos distintos (Figura 9). De forma complementar, na análise de PCA observamos que as variáveis de trocas gasosas (exceto *Ci*), tiveram alta contribuição para diferenciar os tratamentos Jamb16-AD, Jamb16-CBMAI 1622 e Jamb16-IBLF1236 (Figura 10). Por outro lado, verificou-se que a diferenciação de Jamb-03 foi altamente influenciada pela *Ci*. Ao cruzar estes resultados com os valores médios de *A* e *Ci*, constatamos que o aumento de *Ci* teve efeitos na redução de *A* nesta variedade (Tabela 8), confirmado pela oposição dos vetores, predizendo forte correlação negativa.

Nos parâmetros de crescimento e produção de biomassa, os efeitos da bioestimulação de *Trichoderma* spp. apresentaram-se distintos entre as variedades. Para DPF, Jamb-03 e Jamb-16 bioestimuladas com o fungo não apresentaram diferença significativa, visto que pelos contrastes multivariados testados apenas ‘Jamb17-MIX versus Jamb17-AD’ foi significativo. No entanto, a partir dos valores médios, podemos observar que todos os tratamentos compostos por Jamb-16 foram tardios quanto ao DPF, quando comparados as variedades de *A. oleracea*,

sendo essa uma característica própria de *A. ciliata* (Tabela 10). Resultados similares foram encontrados por Sampaio *et al.* (2022) para o início do florescimento, com médias de 24 a 26 dias após o transplantio para *A. ciliata* (UFR-5 e UFR-6) e nove dias para *A. oleracea*.

Houve precocidade de florescimento para a variedade Jamb-17 inoculada com MIX, que diferiu do controle não bioestimulado. É constatado que espécies de *Trichoderma* spp. possuem a capacidade de reduzir o tempo para o início do florescimento, bem como estimular o desenvolvimento de botões florais (Andrzejak *et al.*, 2021). Nesta pesquisa, para Jamb17-MIX, verificamos redução de cinco dias para emissão de botões florais e aumento na produtividade de inflorescências, em comparação com Jamb17-AD (Tabela 10), que não foi inoculado com *Trichoderma* spp., confirmando a capacidade do fungo em promover precocidade no florescimento e produção de novas inflorescências.

Em jambu, resultados promissores quanto ao uso de *Trichoderma* spp. na redução de DPF é um fator crucial no setor ligado diretamente a comercialização de inflorescências, visto que é possível antecipar o período de colheita, aprimorando este nicho de produção que tem crescido, em razão da possibilidade de inúmeras colheitas por ciclo da planta e maior valor agregado das inflorescências frente a parte aérea. Além disso, as inflorescências de *Acemella* spp. possuem maior teor de espilantol quando comparadas a parte aérea, bioativo altamente demandado nas pesquisas e no setor industrial (Sharma *et al.*, 2022).

Verificamos que, apesar de ter havido diferença entre Jamb17-MIX e Jamb17-AD para DPF, a análise de agrupamento alocou estes tratamentos no mesmo grupo, em virtude das similaridades apresentadas para as demais variáveis (Figura 9). De forma complementar, observou-se que DPF não foi eficiente em explicar a variação dos dados pela PCA, tendo baixa contribuição na diferenciação dos tratamentos, pois não houve efeito significativo nas variedades Jamb-03 e Jamb-16 bioestimuladas e não bioestimuladas.

Para as características de crescimento e produção de biomassa, embora a MANOVA tenha mostrado efeito significativo no efeito da interação (variedade *versus* bioestimulante) (Tabela 9), o que prediz influência dos tratamentos, observamos variações pouco expressivas entre as plantas bioestimuladas e não bioestimuladas, sugerindo que houve equiparação no desenvolvimento vegetativo ao longo do ciclo de cultivo nas variedades de jambu utilizadas (Tabelas 10 e 11). Prashar *et al.* (2017) observam que em ambientes onde a planta não está submetida a estresses bióticos ou abióticos, a promoção de crescimento e o aumento da biomassa vegetal não é visualizado, dependendo especificamente das características intrínsecas da variedade.

No entanto, a variedade Jamb-16 bioestimulada com IBLF 006 e MIX formou um grupo isolado dos demais tratamentos, devido ao elevado desenvolvimento vegetativo e produção de biomassa da parte aérea, resultados estes enfatizados na análise de PCA, onde os vetores referentes a estas variáveis situaram-se próximos a Jamb16-IBLF006 e Jamb16-MIX, representados pelo elipse do Grupo II (Figura 10). Possivelmente estas bioestimulações auxiliaram na rápida adaptação ao campo e absorção superior de água e nutrientes, refletindo nos parâmetros e acúmulo de massa da parte aérea na colheita. Além disso, diferenças de solubilização de nutrientes (fósforo, potássio, ferro etc.) pelas cepas podem ter proporcionado oscilações na intensidade do acúmulo de massa (Eslahi *et al.*, 2020).

Ressalta-se, ainda, que Jamb-16 apresentou resultados superiores para todas as características vegetativas e de produção de biomassa, em comparação a Jamb-03 e Jamb-17 (Tabelas 10 e 11). Estes resultados sugerem que Jamb-16 possui elevada capacidade de crescimento, associada a maior assimilação de CO<sub>2</sub> das plantas, com alta produção de fotoassimilados, resultando em acúmulo de biomassa.

Com base nesses achados, verificamos que as variedades locais de jambu manifestaram respostas distintas, pois *A. oleracea* apresentou menor CRP e aproximadamente 112% menos MFPA e 182% menos MSPA, em comparação a *A. ciliata* (Tabela 5). Diferenças assim subsidiam a escolha a nível de campo, alinhando as características das variedades de jambu ao objetivo de produção.

Além do mais, observamos que Jamb-16 sempre produziu maior NRS, diferindo de Jamb-03 e Jamb-17, sendo esta variável importante na separação dos tratamentos pela PCA (Figura 10). Além da diferença entre espécies, nos parece que Jamb-16 possui forte distinção morfológica, ligado a genética do material, já que o padrão entre plantas bioestimuladas e não bioestimuladas foi o mesmo. Isso nos mostra que características coordenadas por fatores fenotípicos ou genéticos proporcionam resultados com diferenças pequenas ou inexistentes para alguns genótipos, quando tratados com *Trichoderma* spp. (Silva *et al.*, 2022).

Em relação a PROD e PRODMS, obteve-se o mesmo padrão de aumento em Jamb-16, com maior produtividade de massa por metro quadrado. Devido essa capacidade mais intensa de desenvolvimento vegetativo, as diferenças de *A. ciliata* em relação as variedades de *A. oleracea* foi de aproximadamente 3,4 kg de massa fresca e 0,4 kg de massa seca produzida por metro quadrado, resultados estes refletidos nas produtividades de parte aérea (Tabela 11). O incremento em produtividade em Jamb-16 pode ser um atrativo interessante a nível industrial para extração de metabólitos secundários, visto que se otimiza o rendimento por área.

Na PCA, os tratamentos Jamb16-MIX e Jamb16-IBLF006 foram os mais influenciados pelos vetores de PROD e PRODMS, destacando-se dos demais tratamentos (Figura 10). Quando comparamos os pares Jamb16-MIX e Jamb16-IBLF 1236, observamos que a bioestimulação com MIX promoveu incremento de aproximadamente 53% na PROD e 55% na PRODMS, comparado a bioestimulação com IBLF 1236 (Tabela 11). A diferença nos valores constata que áreas cultivadas com a variedade Jamb-16 bioestimuladas com MIX, podem gerar ganhos de até 2,66 kg na PROD e 260 g em PRODMS por metro quadrado, em comparação a inoculações com IBLF 1236, sendo ambos os bioestimulantes compostos pela espécie *T. asperellum*.

Resultados distintos foram observados para a PRODINF e PRODINFMS, onde Jamb-03 bioestimulada com MIX apresentou maiores produtividades (Tabela 11). Além disso, os demais tratamentos compostos por Jamb-03 também proporcionaram produtividades de massa de inflorescências elevadas, tornando evidente o potencial genético desta variedade na produção de inflorescências. Ao avaliarmos o incremento de Jamb03-MIX em relação às outras variedades, observamos que houve incremento de 175% em PRODINF e 181% em PRODINFMS, quando comparado a Jamb17-MIX, já para Jamb16-MIX, a diferença foi de 182% e 97% para PRODINF e PRODINFMS, respectivamente.

Ressaltamos que, embora Jamb-17 e Jamb-03 sejam a mesma espécie, suas inflorescências possuem menor comprimento e largura, refletindo na diferença em produtividade. Quanto a Jamb-16, morfologicamente, suas inflorescências possuem capítulos menores e com menor massa, padrão observado em *A. ciliata*. Portanto, para campos de produção onde o produto de interesse sejam as inflorescências, Jamb-03 pode ser indicado.

Os resultados elevados em PRODINF e PRODINFMS obtidos para Jamb03-MIX podem ter estreita relação com os valores observados em *A* e *Ci* nesta variedade. Verificamos que aumentos no *Ci* representaram redução na taxa de *A*, revelando uma possível remobilização de reservas armazenadas no decorrer da fase reprodutiva, levando a reorganização de todo aparato fotossintético, com direcionamento energético à produção de inflorescências, e estabilização no uso de CO<sub>2</sub> interno (Taiz *et al.*, 2017; Sampaio *et al.*, 2022).

A bioestimulação com MIX, por acelerar o desenvolvimento vegetativo de Jamb-03 em fase de muda (ensaio I), pode ter possibilitado a antecipação no acúmulo de reservas, de modo que Jamb03-MIX apresentou menores valores de DPF, com maior *Ci* e menor *A*, reflexos da intensa remobilização para as inflorescências, consideradas órgãos dreno. Sampaio *et al.* (2022) também verificaram que em plantas de *A. oleracea* com precocidade de florescimento, houve

baixa taxa de *A* e elevado *Ci*, comportamento inverso ao de *A. ciliata*, que apresentou emissão tardia de botões florais. Estes resultados sustentam a hipótese levantada em nossa pesquisa para o jambu, com rápido acúmulo e remobilização de reservas em plantas que iniciam a fase reprodutiva mais cedo.

### 3.4.6 Conteúdo de espilantol

A produção de bioativos derivados do metabolismo secundário, como o espilantol, é amplamente coordenada por características genéticas, fisiológicas e ambientais (Santos, 2020). Portanto, a interação com fatores bióticos e/ou abióticos pode modificar ou não as concentrações deste metabólito, já que a predisposição genética influencia no metabolismo secundário.

Nossos resultados mostraram que os extratos metanólicos das inflorescências, para os tratamentos bioestimulados com MIX, nas variedades Jamb-03 e Jamb-16, não apresentaram respostas superiores ao tratamento não bioestimulado (Tabela 12). Por outro lado, a análise dos cromatogramas permitiu obsercar influência da bioestimulação em Jamb-17, verificado pela diferença de tamanho nos picos, sugerindo que as alterações no ambiente de cultivo promovem modificações na biossíntese de espilantol. Ao associar este resultado com a precocidade no florescimento e aumento nas produtividades de inflorescências (PRODINF e PRODINFMS) em Jamb-17 bioestimulada com MIX, podemos predizer maior rendimento no conteúdo de espilantol, em comparação a Jamb17-AD.

O comportamento observado em Jamb-17 pode estar relacionado com a produção de aminoácidos precursores de espilantol na rota do ácido chiquimico, pois inoculações com *Trichoderma* spp. influenciam no conteúdo e diversidade de aminoácidos, promovendo a formação de compostos nitrogenados (Wu *et al.*, 2018; Formisano *et al.*, 2021;). Possivelmente, a produção de aminoácidos em Jamb17-MIX não foi utilizada majoritariamente na síntese de proteínas para remobilização na fase reprodutiva, em razão do menor tamanho e massa dos órgãos dreno (inflorescências), em relação a Jamb-03, conforme é preconizado por Taiz *et al.* (2017). onde drenos de menor biomassa demandam por menos fotoassimilados para o desenvolvimento, com isso, a biodisponibilidade de aminoácidos pode ter favorecido a rota metabólica para síntese de espilantol.

Assim, modificações no ambiente de cultivo que alterem as quantidades de compostos bioativos, vem sendo uma estratégia adotada em cultivos de jambu, com grande foco no espilantol, em razão das inúmeras potencialidades do composto (Barbosa *et al.*, 2016). Vieira

*et al.* (2021), verificaram incremento na produção de espilantol ao cultivarem jambu em vaso, associando fungos micorrízicos arbusculares (*Rhizophagus clarus* e *Claroideoglomus etunicatum*) com doses de fósforo (30 e 60 mg/kg de solo). No mesmo contexto de incremento, Sampaio *et al.* (2024), obtiveram melhores respostas em cultivo de jambu hidropônico, utilizando concentrações de 17 mmol L<sup>-1</sup> de nitrogênio, com 25,4% a mais de espilantol nas inflorescências, em relação a menor concentração de nitrogênio (11 mmol L<sup>-1</sup>).

A baixa diferença para as concentrações de espilantol nas variedades Jamb-03 e Jamb-16 entre as plantas bioestimuladas e não bioestimuladas com MIX, podem estar relacionadas a ligação do metabolismo primário com o desenvolvimento vegetativo e acúmulo de biomassa, visto que as rotas metabólicas são associadas (Taiz *et al.*, 2017; Santos, 2020), possivelmente havendo maior alocação de metabólitos primários para a produção de massa da parte aérea em Jamb-16 e massa de inflorescências em Jamb-03. No entanto, estes resultados são satisfatórios, quando se avalia o rendimento final de espilantol extraível.

Em trabalho de Sut *et al.* (2020), avaliando a influência de bioestimulantes vegetais (extrato de algas, triacontanol e extrato de tecidos vegetais) no crescimento, biomassa de inflorescências e produção de alquilamidas em plantas de jambu cultivadas sob campo aberto, observaram acréscimo no desenvolvimento vegetativo e produção de biomassa, porém a concentração de bioativos, dentre eles, o espilantol, não variou significativamente entre os tratamentos bioestimulados e os controles. Esses resultados revelam que a modificação do ambiente de cultivo com bioestimulantes pode manifestar efeitos mais bem definidos nas características agronômicas da planta, semelhante ao encontrado nesta pesquisa.

### 3.5 Conclusão

A inoculação de *Trichoderma* spp. no cultivo de variedades locais de jambu estimula o desenvolvimento vegetativo em fase de muda, com acréscimos em altura e diâmetro do coletor, com efeitos mais evidentes na variedade Jamb-03 bioestimulada com MIX.

Nossa pesquisa também mostrou que o pool de *T. asperellum* auxiliou na precocidade de florescimento da variedade Jamb-17, assim como teve efeitos diretos na maior produtividade de inflorescências em Jamb-03. A bioestimulação de Jamb-16 com IBLF 006 e MIX influenciou na osmorregulação e no aumento da produtividade de biomassa fresca e seca na colheita, tanto da parte aérea quanto das inflorescências.

Os teores de espilantol nas inflorescências apresentaram incremento direto somente na variedade Jamb-17 bioestimulada com MIX, porém em Jamb-03 a maximização na

produtividade de inflorescências pelo bioestimulante possibilita alto rendimento de espilantol total.

Portanto, verificamos que as respostas foram condicionadas fortemente pela interação *Trichoderma*-planta, dependentes da variedade de jambu ou do bioestimulante utilizado, com diferenças na magnitude da bioestimulação. Logo, o uso de *Trichoderma* spp. como indutor de crescimento e produtividade pode ser indicado como estratégia de manejo agrícola em cultivos de jambu na Amazônia.

No entanto, é necessário pesquisas para o estabelecimento de doses e formas de inoculação em jambu, tendo em vista que não há bioestimulante registrado para a cultura. Além disso, o conhecimento do nível de colonização entre a cepa de *Trichoderma* spp. e a variedade de jambu é essencial para a seleção de cepas potencialmente efetivas.

## REFERÊNCIAS

- ABREU, L. M.; PFENNING, L. H. O gênero *Trichoderma*. In: MEYER, M. C.; MAZARO, S. M.; SILVA, J. C. ***Trichoderma***: uso na agricultura. 1. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2019. p. 163-179.
- ALVARES, C. A. *et al.* Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Alemanha, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ANDRZEJAK, R. *et al.* Effect of *Trichoderma* spp. and Fertilization on the Flowering of *Begonia x tuberhybrida* Voss. ‘Picotee Sunburst’. **Agronomy**, Basiléia, v. 11, n. 7, p. 1-11, 2021.
- AZEVEDO, A. M. **MultivariateAnalysis**: Pacote Para Análise Multivariada (R package version 0.5.0). 2024. Disponível em: <https://cran.r-project.org/package=MultivariateAnalysis>. Acesso em: 15 jul. 2024.
- AZEVEDO, A. M. **Tratamentos.ad**: Pacote para análise de experimentos com testemunhas adicionais (R package version 0.2.4). 2022. Disponível em: <https://cran.r-project.org/package=Tratamentos.ad>. Acesso em: 13 mar. 2024.
- BAE, S. S. *et al.* A Validated Liquid Chromatography–Electrospray Ionization–Mass Spectrometry Method for Quantification of Spilanthol in *Spilanthes acmella* (L.) Murr. **Phytochemical Analysis**, v. 21, n. 5, p. 438-443, 2010.
- BARBOSA, A. F. *et al.* Spilanthol: occurrence, extraction, chemistry and biological activities. **Brazilian Journal of Pharmacognosy**, v. 26, p. 128-133, 2016.
- BELLUMORI, M. *et al.* *Acmella oleracea* (L.) R.K. Jansen: Alkylamides and phenolic compounds in aerial parts and roots of *in vitro* seedlings. **Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis**, Amsterdã, v. 220, p. 1-9, 2022.
- BFG. Growing knowledge: an overview of Seed Plant diversity in Brazil. **Rodriguésia**, v. 66, n. 4, p. 1085-1113, 2015.
- BRASIL, E. C.; CRAVO, M. S.; VIÉGAS, I. J. M. **Recomendações de calagem e adubação para o estado do Pará**. 2 ed. Brasília: Embrapa. 2020. 419 p.
- BUCIO, J. L.; FLORES, R. P.; ESTRELLA, A. H. *Trichoderma* as bioestimulant: exploiting the multilevel properties of a plant beneficial fungus. **Scientia Horticulturae**, Amsterdã, v. 196, p. 109-123, 2015.
- CAMPOS, M. M. *et al.* A new species of jambú (*Acmella*, Heliantheae, Asteraceae) from Amazonia, Brazil. **Phytotaxa**, v. 403, p. 137-141, 2019.
- CHUNG, K. F. *et al.* Notes on *Acmella* (Asteraceae: Heliantheae) in Taiwan. **Botanical Studies**, Taiwan, v. 49, p. 73-82, 2008.

DEDINO, D. B. *et al.* Red LED light and different cultivation methods changed the essential oil composition of *Acmella oleracea*. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, Suíça, v. 151, p. 511-520, 2022.

DOMINGUES, M. V. P. F. *et al.* Effect of temperature on mycelial growth of *Trichoderma*, *Sclerotinia minor* and *S. sclerotiorum*, as well as on mycoparasitism. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 42, n. 3, p. 222-227, 2016.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília: Embrapa. 2018.

ESLAHI, N. *et al.* Influence of recombinant *Trichoderma* strains on growth of bean (*Phaseolus vulgaris* L) by increased root colonization and induction of root growth related genes. **Scientia Horticulturae**, Amsterdã, v. 261, p. 1-13. 2020.

FOOD AND AGRICURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Internacional soil classification system of naming soils and creating legends for soil maps**. Rome: FAO. 2015. 203 p.

FORMISANO, L. *et al.* *Trichoderma* and Phosphite Elicited Distinctive Secondary Metabolite Signatures in Zucchini Squash Plants. **Agronomy**, Basiléia, v. 11, p. 1-12, 2023.

FRANÇA, D. V. C. *et al.* *Trichoderma* spp. isolates with potential of phosphate solubilization and growth promotion in cherry tomato. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 47, n. 4, p. 360-368, 2017.

GARCÍA, J. G. O. *et al.* Effect of *Trichoderma asperellum* applications and mineral fertilization on growth promotion and the content of phenolic compounds and flavonoids in onions. **Scientia Horticulturae**, Amsterdã, v. 195, p. 8-16, 2015.

JANSEN, R. K. The Systematics of *Acmella* (Asteraceae-Heliantheae). **American Society of Plant Taxonomists**, Missouri, v. 8, p. 1-115, 1985.

JI, S. *et al.* The effect of *Trichoderma* biofertilizer on the quality of flowering Chinese cabbage and the soil environment. **Scientia Horticulturae**, Amsterdã, v. 262, p. 1-8, 2020.

KASSAMBARA, A.; MUNDT, F. **Factoextra**: Extract and Visualize the Results of Multivariate Data Analyses (R package version 1.0.7). 2020. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=factoextra>. Acesso em: 15 jul. 2024.

LANZUISE, S. *et al.* Combined Biostimulant Applications of *Trichoderma* spp. with Fatty Acid Mixtures Improve Biocontrol Activity, Horticultural Crop Yield and Nutritional Quality. **Agronomy**, Basiléia, v. 275, n. 12, p. 1-22, 2022.

LI, Y. T. *et al.* Effects of *Trichoderma asperellum* on nutrient uptake and Fusarium wilt of tomato. **Crop Protection**, v. 110, p. 275-282, 2018.

MEDEIROS, F. H. V. *et al.* *Trichoderma*: interações e estratégias. In: MEYER, M. C.; MAZARO, S. M.; SILVA, J. C. (Eds.). **Trichoderma**: uso na agricultura. Brasília: Embrapa, 2019. p. 219-231.

- MENDOZA, A. M. *et al.* Molecular dialogues between *Trichoderma* and roots: Role of the fungal secretome. **Fungal Biology Reviews**, v. 32, p. 62-85, 2018.
- NEVES, D. A. *et al.* Chemical and nutritional characterization of raw and hydrothermal processed jambu (*Acmella oleracea* (L.) R. K. Jansen). **Food Research International**, v. 116, p. 1144-1152, 2019.
- OLIVEIRA, L. L. B. *et al.* Influência da temperatura e radiação ultravioleta no desenvolvimento de isolados de *Trichoderma* spp. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 34, n. 3, p. 423-430, 2019.
- ORTUÑO, N. *et al.* The use of secondary metabolites extracted from *Trichoderma* for plant growth promotion in the Andean highlands. **Renewable Agriculture and Food Systems**, v. 32, p. 1-10, 2016.
- PEREIRA, F. T. *et al.* Growth promotion and productivity of lettuce using *Trichoderma* spp. commercial strains. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 1, p. 69-74, 2019.
- PRASHAR, P.; VANDENBERG, A. Genotype-specific responses to the effects of commercial *Trichoderma* formulations in lentil (*Lens culinaris* ssp. *culinaris*) in the presence and absence of the oomycete pathogen *Aphanomyces euteiches*. **Biocontrol Science and Technoloogy**, v. 27, n. 10, p. 1123-1144, 2017.
- R CORE TEAM. R Foundation for Statistical Computing. **R**: a language and environment for statistical computing. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 13 mar. 2024.
- RAMADA, M. H. S.; LOPES, F. A. C., ULHOA, C. J. *Trichoderma*: metabólitos secundários. In: MEYER, M. C.; MAZARO, S. M.; SILVA, J. C. (Eds.). **Trichoderma**: uso na agricultura. Brasília: Embrapa, 2019. p. 163-179.
- RASOULI, F. *et al.* Physiological and Yield Performance Is Partially Linked to Water Use Efficiency of Eggplant Genotypes in a High-Tech Glasshouse. **Horticulturae**, v. 9, n. 1, p. 1-14, 2023.
- REZENDE, F. M.; FURLAN, C. M. Interações planta-ambiente: o papel dos metabólitos secundários. In: SANTOS, D. Y. A. C. (Ed.). **Biossíntese, funções e aplicações dos metabólitos secundários de plantas**. Curitiba: Appris, 2020. p. 357-374.
- SAMPAIO, I. M. G. *et al.* Productive and physiological performance of jambu genotypes cultivated in hydroponics. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 2, p. 190-196, 2022.
- SAMPAIO, I. M. G. *et al.* Biomass and spilanthol content of hydroponic jambu as a function of nitrogen supply. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 28, n. 12, p. 1-8, 2024.
- SANTOS, D. Y. A. C. **Biossíntese funções e aplicações dos metabólitos secundários de plantas**. 1. ed. Curitiba: Appris, 2020. 401 p.

SENKOVS, M. et al. Influence of *Trichoderma asperellum* and *Bacillus subtilis* as biocontrol and plant growth promoting agents on soil microbiota. **Annals of Microbiology**, v. 71, n. 34, p. 1-10, 2021.

SHARMA, R. et al. Evaluation of biologically active secondary metabolites isolated from the toothache plant *Acmella ciliata* (Asteraceae). **Advances in Traditional Medicine**, v. 22, p. 713-122, 2022.

SILVA, A. R. **biotools**: Tools for Biometry and Applied Statistics in Agricultural Science (R package version 4.2). 2021. Disponível em: <https://cran.r-project.org/package=biotools>. Acesso em 15 jul. 2024.

SILVA, F. G. et al. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em plantas de berinjela sob lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, p. 946-952, 2015.

SILVA, G. A. R.; SANTOS, J. U. M. *Acmella marajoensis* G.A.R. Silva & J.U.M. Santos: Uma nova espécie de Asteraceae para a Amazônia brasileira. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 41, n. 2, p. 191-194, 2011.

SILVA, J. C. et al. Rice sheath blight biocontrol and growth promotion by *Trichoderma* isolates from the Amazon. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, v. 55, n. 4, p. 243-250, 2012.

SOKAL, R. R.; ROHLF, F. J. The comparison of dendograms by objective methods. **TAXON**, v. 11, n. 2, p. 30-40, 1962. <http://dx.doi.org/10.2307/1217208>.

SOUZA, R. R. et al. Effects of *Trichoderma asperellum* on Germination Indexes and Seedling Parameters of Lettuce Cultivars. **Current Microbiology**, Suíça, v. 79, n. 5, p. 1-12, 2022.

SOUZA, T. P. et al. Molecular identification of *Trichoderma* sp. isolates and biochemical characterization of antagonistic interaction against rice blast. **Archives of Microbiology**, v. 203, p. 3257-3268, 2021. <https://doi.org/10.1007/s00203-021-02307-5>.

SUT, S. et al. Comparasion of bioestimulant treatments in *Acmella oleracea* cultivation for alkylamides production. **Plants**, Suíça, v. 9, n. 7, p. 1-17, 2020.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6. ed. Porto Alegre, BR: Artmed. 2017. 858 p.

VERGARA, A. G. et al. The volatile 6-pentyl-2H-pyran-2-one from *Trichoderma atroviride* regulates *Arabidopsis thaliana* root morphogenesis via auxin signaling and ETHYLENE INSENSITIVE 2 functioning. **New Phytologist**, v. 209, n. 4, p. 1496-1512, 2016.

VIEIRA, M. E. et al. Arbuscular mycorrhizal fungi and phosphorus in spilanthol and phenolic compound yield in jambu plants. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 2, p. 192-198, 2021.

WANG, Y. et al. Biodiversity of the beneficial soil-borne fungi steered by *Trichoderma*-amended biofertilizers stimulates plant production. **Biofilms and Microbiomes**, v. 46, p. 1-9,

2023.

WU, Q. *et al.* Co-culture of *Bacillus amyloliquefaciens* ACCC11060 and *Trichoderma asperellum* GDFS1009 enhanced pathogen-inhibition and amino acid yield. **Microbial Cell Factories**, v. 17, p. 1-12, 2018.

#### **4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

As diferentes estratégias de modificação no ambiente de cultivo apresentam relevante papel na agricultura moderna, principalmente pela dinâmica de interações das culturas com fatores bióticos e abióticos do meio. Por isso, esta pesquisa tem impacto na contribuição de novos conhecimentos, ao iniciar a validação de resultados da bioestimulação de *Trichoderma* spp. em variedades locais de jambu, sendo avaliado tanto a indução no crescimento como os desdobramentos dos efeitos na produtividade e concentração de espilantol.

Os achados mostraram que *Trichoderma* spp. estabeleceu relação mutualística com as variedades de jambu, porém apresentando variações nos efeitos observados, sendo verificados maiores incrementos no desenvolvimento vegetativo e acúmulo de biomassa. Além disso, as concentrações de espilantol foram potencializadas pós-inoculação, revelando modulações nas rotas de biossíntese de metabólitos secundários, mas que, no entanto, carecem de pesquisas direcionadas às avaliações metabólicas em jambu.

Assim, os dados validados permitem somar no desenvolvimento da cadeia produtiva de jambu, não somente a nível de mercado regional, mas com potencial para indústria, tendo em vista que maior rendimento de biomassa e espilantol geram incentivo à produção em larga escala da cultura. Logo, esta pesquisa promove o desenvolvimento produtivo e social na Amazônia.

## REFERÊNCIAS

- ABREU, L. M.; PFENNING, L. H. O gênero *Trichoderma*. In: MEYER, M. C.; MAZARO, S. M.; SILVA, J. C. *Trichoderma: uso na agricultura*. 1. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2019. p. 163-179.
- ALVARES, C. A. et al. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Alemanha, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ANDRZEJAK, R. et al. Effect of *Trichoderma* spp. and Fertilization on the Flowering of *Begonia x tuberhybrida* Voss. 'Picotee Sunburst'. **Agronomy**, Basiléia, v. 11, n. 7, p. 1-11. 2021.
- AVIZ, W. L. C. et al. Productivity of jambu (*Acmella oleracea*) using different soil water tensions and nitrogen rates under greenhouse condition. **Australian Journal of Crop Science**, Australia, v. 13, n. 3, p. 360-366, 2019.
- AZEVEDO, A. M. **MultivariateAnalysis**: Pacote Para Análise Multivariada (R package version 0.5.0). 2024. Disponível em: <https://cran.r-project.org/package=MultivariateAnalysis>. Acesso em: 15 jul. 2024.
- AZEVEDO, A. M. **Tratamentos.ad**: Pacote para análise de experimentos com testemunhas adicionais (R package version 0.2.4). 2022. Disponível em: <https://cran.r-project.org/package=Tratamentos.ad>. Acesso em: 13 mar. 2024.
- BAE, S. S. et al. A Validated Liquid Chromatography–Electrospray Ionization–Mass Spectrometry Method for Quantification of Spilanthol in *Spilanthes acmella* (L.) Murr. **Phytochemical Analysis**, v. 21, n. 5, p. 438-143, 2010.
- BARBOSA, A. F. et al. Spilanthol: occurrence, extraction, chemistry and biological activities. **Brazilian Journal of Pharmacognosy**, v. 26, p. 128-133, 2016.
- BELLUMORI, M. et al. *Acmella oleracea* (L.) R.K. Jansen: Alkylamides and phenolic compounds in aerial parts and roots of *in vitro* seedlings. **Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis**, Amsterdã, v. 220, 2022.
- BETTIOL, W.; SILVA, J. C.; CASTRO, M. L. M. P. Uso atual e perspectivas do *Trichoderma* no Brasil. In: MEYER, M. C.; MAZARO, S. M.; SILVA, J. C. *Trichoderma: uso na agricultura*. 1. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2019. p. 21-43.
- BFG. Growing knowledge: an overview of Seed Plant diversity in Brazil. **Rodriguésia**, v. 66, n. 4, p. 1085-1113, 2015.
- BORGES, L. S.; GOTO, R.; LIMA, G. P. P. Índices morfo-fisiológicos e produtividade de cultivares de jambu influenciadas pela adubação orgânica e mineral. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 30, n. 6, p. 1768-1778, 2014.
- BRASIL, E. C.; CRAVO, M. S.; VIÉGAS, I. J. M. **Recomendações de calagem e adubação para o estado do Pará**. 2 ed. Brasília: Embrapa. 2020. 419 p.

BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Manual de hortaliças não-convencionais**. 1. ed. Brasília:MAPA/ACS, 2010. 92 p.

BRASIL. Instituto Nacional de Propriedade Industrial. **Pesquisa de patentes**. Disponível em: <https://busca.inpi.gov.br/pePI/jsp/patentes/PatenteSearchBasico.jsp>. Acesso em: 05 mai. 2023.

BUCIO, J. L.; FLORES, R. P.; ESTRELLA, A. H. *Trichoderma* as bioestimulant: exploiting the multilevel properties of a plant beneficial fungus. **Scientia Horticulturae**, Amsterdã, v. 196, p. 109-123, 2015.

CAMPOS, M. M. *et al.* A new species of jambú (*Acmella*, Heliantheae, Asteraceae) from Amazonia, Brazil. **Phytotaxa**, v. 403, p. 137-141, 2019.

CHAGAS, L. F. B. *et al.* Efficiency of *Trichoderma* spp. as a growth promoter of cowpea (*Vigna unguiculata*) and analysis of phosphate solubilization and indole acetic acid synthesis. **Brazilian Journal of Botany**, Suíça, v. 39, n. 2, p. 437-445, 2016.

CHUNG, K. F. *et al.* Notes on *Acmella* (Asteraceae: Heliantheae) in Taiwan. **Botanical Studies**, Taiwan, v. 49, p. 73-82, 2008.

CORSINI, I. *et al.* The cherry tomato under an organic system inoculated with *Trichoderma asperellum* and intercropped with vegetables of family Fabaceae. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 52, n. 2, p. 1-9, 2021.

CRUZ, C. D.; FERREIRA, F. M.; PESSONI, L. A. **Biometria aplicada ao estudo da diversidade genética**. 2. ed. Viçosa, MG: UFV, 2020. 620 p.

DALLAZEN, J. L. *et al.* Pharmacological potential of alkylamides from *Acmella oleracea* flowers and synthetic isobutylalkyl amide to treat inflammatory pain. **Inflammopharmacology**, Suíça, v. 28, n. 1, p. 175-186, 2019.

DEDINO, D. B. *et al.* Red LED light and different cultivation methods changed the essential oil composition of *Acmella oleracea*. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, Suíça, v. 151, p. 511-520, 2022.

DOMINGUES, M. V. P. F. *et al.* Effect of temperature on mycelial growth of *Trichoderma, Sclerotinia minor* and *S. sclerotiorum*, as well as on mycoparasitism. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 42, n. 3, p. 222-227, 2016.

DUBEY, S. *et al.* Phytochemistry, Pharmacology and Toxicology og *Spilanthes acmella*: A Review. **Advances in Pharmacological Sciences**, Reino Unido, v. 6, p. 1-9, 2013.

EFSA. Scientific Opinion on Flavouring Group Evaluation 303, Revision 1 (FGE.303Rev1): Spilanthol from chemical group 30. **EFSA Journal**, Itália, v. 13, n. 1, p. 1-28, 2015.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília: Embrapa. 2018.

ESLAHI, N. et al. Influence of recombinant *Trichoderma* strains on growth of bean (*Phaseolus vulgaris* L) by increased root colonization and induction of root growth related genes. **Scientia Horticulturae**, Amsterdā, v. 261, p. 1-13. 2020.

FEMA. **Flavoring Substances:** Safety Assessment of Jambu Oleoresin #3783. Washington, D.C.: FEMA, 2000. 36 p.

FIORENTINO, N. et al. *Trichoderma*-Based Biostimulants Modulate Rhizosphere Microbial Populations and Improve N Uptake Efficiency, Yield, and Nutritional Quality of Leafy Vegetables. **Frontiers in Plant Science**, Beijing, v. 9, p. 1-15, 2018.

FOOD AND AGRICULURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Internacional soil classification system of naming soils and creating legends for soil maps**. Rome: FAO. 2015. 203 p.

FORMISANO, L. et al. *Trichoderma* and Phosphite Elicited Distinctive Secondary Metabolite Signatures in Zucchini Squash Plants. **Agronomy**, Basiléia, v. 11, p. 1-12, 2023.

FRANÇA, D. V. C. et al. *Trichoderma* spp. isolates with potential of phosphate solubilization and growth promotion in cherry tomato. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 47, n. 4, p. 360-368, 2017.

FREITAS-BLANCO, V. S. et al. Development and Evaluation of a Novel Mucoadhesive Filme Containing *Acmella oleracea* Extract for Oral Mucosa Topical Anesthesia. **Plos One**, Califórnia, v. 11, n. 9, p. 1-18, 2016.

GAIA, C. D. C. et al. Crescimento e produção do jambu submetido a lâminas de irrigação. **Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, Belém, v. 63, p. 1-8, 2020.

GARCÍA, J. G. et al. Effect of *Trichoderma asperellum* applications and mineral fertilizationon growth promotion and the content of phenolic compounds andflavonoids in onions. **Scientia Horticulturae**, Amsterdā, v. 195, p. 8-16, 2015.

GAZZETTA UFFICIALE. **Decreto n. 10, de agosto de 2018:** Disciplina dell'impiego negli integratori alimentari di sostanze e preparati vegetali. (18A06095). Itália: Diário Oficial da República Italiana, 10 ago. 2018. Disponível em: <<https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2018/09/26/18A06095>>. Acesso em: 05 mai. 2023.

HOMMA, A. K. O. et al. Etnocultivo do jambu para abastecimento da cidade de Belém, estado do Pará. **Amazônia: Ciência e Desenvolvimento**, Belém, v. 6, p. 125-141, 2011.

JANSEN, R. K. The Systematics of *Acmella* (Asteraceae-Heliantheae). **American Society of Plant Taxonomists**, Missouri, v. 8, p. 1-115, 1985.

JARDIN, P. D. Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. **Scientia Horticulturae**, Amsterdā, v. 196, p. 3-14, 2015.

JI, S. et al. The effect of *Trichoderma* biofertilizer on the quality of flowering Chinese cabbage and the soil environment. **Scientia Horticulturae**, Amesterdā, v. 262, p. 1-8, 2020.

KASSAMBARA, A.; MUNDT, F. **Factoextra**: Extract and Visualize the Results of Multivariate Data Analyses (R package version 1.0.7). 2020. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=factoextra>. Acesso em: 15 jul. 2024.

LANZUISE, S. *et al.* Combined Biostimulant Applications of *Trichoderma* spp. with Fatty Acid Mixtures Improve Biocontrol Activity, Horticultural Crop Yield and Nutritional Quality. **Agronomy**, Basiléia, v. 12, n. 12, p. 1-22, 2022.

LI, Y. T. *et al.* Effects of *Trichoderma asperellum* on nutrient uptake and Fusarium wilt of tomato. **Crop Protection**, v. 110, p. 275-282, 2018.

MAHMOODIAN, S. *et al.* Effect of Improved *Trichoderma harzianum* on Growth and Resistance Promotion in Bean Plant. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Paraná, v. 65, p. 1-10, 2022.

MARTINS, C. P. S. *et al.* Caracterização morfológica e agronômica de acessos de jambu (*Spilanthes oleracea* L.) nas condições do Norte de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, Botucatu, v. 14, n. 2, p. 410-413, 2012.

MEDEIROS, F. H. V. *et al.* *Trichoderma*: interações e estratégias. In: MEYER, M. C.; MAZARO, S. M.; SILVA, J. C. (Eds.). *Trichoderma*: uso na agricultura. Brasília: Embrapa, 2019. p. 219-231.

MENDOZA, A. M. *et al.* Molecular dialogues between *Trichoderma* and roots: Role of the fungal secretome. **Fungal Biology Reviews**, v. 32, p. 62-85, 2018.

NASCIMENTO, L. E. S. *et al.* Phytochemical profile of different anamotical parts of jambu (*Acmella oleracea* (L.) R.K. Jansen): A comparison between hydroponic and conventional cultivation using PCA and cluster analysis. **Food Chemistry**, Amsterdã, v. 332, p. 1-12, 2020.

NEVES, D. A. *et al.* Chemical and nutritional characterization of raw and hydrothermal processed jambu (*Acmella oleracea* (L.) R. K. Jansen). **Food Research International**, v. 116, p. 1144-1152, 2019.

OLIVEIRA, A. G. *et al.* Potencial de solubilização de fosfato e produção de AIA por *Trichoderma* spp. **Revista Verde**, Mossoró, v. 7, n. 3, p. 149-155, 2012.

OLIVEIRA, L. L. B. *et al.* Influência da temperatura e radiação ultravioleta no desenvolvimento de isolados de *Trichoderma* spp. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 34, n. 3, p. 423-430, 2019.

ORTUÑO, N. *et al.* The use of secondary metabolites extracted from *Trichoderma* for plant growth promotion in the Andean highlands. **Renewable Agriculture and Food Systems**, v. 32, p. 1-10, 2016.

PATIL, A. S.; PATIL, S. R.; PAIKRAO, H. M. *Trichoderma* Secondary Metabolites: Their Biochemistry and Possible Role in Disease Management. In: CHOUDHARY, D.; VARMA, A. (eds). **Microbial-mediated Induced Systemic Resistance in Plants**. 1. ed. Singapore: Springer, 2016. p. 69-102.

PEREIRA, F. T. *et al.* Growth promotion and productivity of lettuce using *Trichoderma* spp. commercial strains. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 1, p. 69-74, 2019.

PRASHAR, P.; VANDENBERG, A. Genotype-specific responses to the effects of commercial *Trichoderma* formulations in lentil (*Lens culinaris* ssp. *culinaris*) in the presence and absence of the oomycete pathogen *Aphanomyces euteiches*. **Biocontrol Science and Technology**, Inglaterra, v. 27, n. 10, p. 1123-1144, 2017.

R CORE TEAM. R Foundation for Statistical Computing. **R**: a language and environment for statistical computing. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 13 mar. 2024.

RAMADA, M. H. S.; LOPES, F. A. C., ULHOA, C. J. *Trichoderma*: metabólitos secundários. In: MEYER, M. C.; MAZARO, S. M.; SILVA, J. C. (Eds.). *Trichoderma*: uso na agricultura. Brasília: Embrapa, 2019. p. 163-179.

RASOULI, F. *et al.* Physiological and Yield Performance Is Partially Linked to Water Use Efficiency of Eggplant Genotypes in a High-Tech Glasshouse. **Horticulturae**, v. 9, n. 1, p. 1-14, 2023.

REZENDE, F. M.; FURLAN, C. M. Interações planta-ambiente: o papel dos metabólitos secundários. In: SANTOS, D. Y. A. C. (Ed.). **Biossíntese, funções e aplicações dos metabólitos secundários de plantas**. Curitiba: Appris, 2020. p. 357-374.

ROUPHAEL, Y; COLLA, G. Editorial: Bioestimulants in Agriculture. **Frontiers in Plant Science**, Beijing, v. 11, p. 1-7, 2020.

SAMPAIO, I. M. G. *et al.* Biomass and spilanthol content of hydroponic jambu as a function of nitrogen supply. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 28, n. 12, p. 1-8, 2024.

SAMPAIO, I. M. G. *et al.* Productive and physiological performance of jambu genotypes cultivated in hydroponics. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 40, p. 190-196, 2022.

SANTOS, D. Y. A. C. **Biossíntese funções e aplicações dos metabólitos secundários de plantas**. 1. ed. Curitiba: Appris, 2020. 401 p.

SANTOS, J. M. R. *et al.* *Trichoderma* in the promotion of growth and nutrition of dwarf cashew rootstock. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 52, n. 4, p. 1-9, 2021.

SAVIC, S. *et al.* Identification and photostability of N-alkylamides from *Acmella oleracea* extract. **Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis**, Amsterdã, v. 195, p. 1-7, 2021.

SENKOVS, M. *et al.* Influence of *Trichoderma asperellum* and *Bacillus subtilis* as biocontrol and plant growth promoting agents on soil microbiota. **Annals of Microbiology**, v. 71, n. 34, p. 1-10, 2021.

SHARMA, R. *et al.* Evaluation of biologically active secondary metabolites isolated from the toothache plant *Acmella ciliata* (Asteraceae). **Advances in Traditional Medicine**, v. 22, p. 713-122, 2022.

SILVA, A. R. **biotools**: Tools for Biometry and Applied Statistics in Agricultural Science (R package version 4.2). 2021. Disponível em: <https://cran.r-project.org/package=biotools>. Acesso em 15 jul. 2024.

SILVA, F. G. *et al.* Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em plantas de berinjela sob lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, p. 946-952, 2015.

SILVA, G. A. R.; SANTOS, J. U. M. *Acmella marajoensis* G.A.R. Silva & J.U.M. Santos: Uma nova espécie de Asteraceae para a Amazônia brasileira. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 41, n. 2, p. 191-194, 2011.

SILVA, G. B. P. *et al.* Identificação e utilização de *Trichoderma* spp. armazenados e nativos no biocontrole de *Sclerotinia sclerotiorum*. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 28, n. 4, p. 33-42, 2015.

SILVA, J. C. *et al.* Rice sheath blight biocontrol and growth promotion by *Trichoderma* isolates from the Amazon. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, v. 55, n. 4, p. 243-250, 2012.

SILVA, V. N. *et al.* Promoção de crescimento e indução de resistência à antracnose por *Trichoderma* spp. em pepineiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 12, p. 1609-1618, 2011.

SINGH, U. B. *et al.* Earthworm Grazed-*Trichoderma harzianum* Biofortified Spent Mushroom Substrates Modulate Accumulation of Natural Antioxidants and Bio-Fortification of Mineral Nutrients in Tomato. **Frontiers in Plant Science**, Beijinag, v. 9, p. 1-15, 2018.

SOKAL, R. R.; ROHLF, F. J. The comparison of dendograms by objective methods. **TAXON**, v. 11, n. 2, p. 30-40, 1962. <http://dx.doi.org/10.2307/1217208>.

SOUZA, R. R. *et al.* Effects of *Trichoderma asperellum* on Germination Indexes and Seedling Parameters of Lettuce Cultivars. **Current Microbiology**, Suíça, v. 79, n. 5, p. 1-12, 2022.

SOUZA, T. P. *et al.* Molecular identification of *Trichoderma* sp. isolates and biochemical characterization of antagonistic interaction against rice blast. **Archives of Microbiology**, v. 203, p. 3257-3268, 2021. <https://doi.org/10.1007/s00203-021-02307-5>.

SUT, S. *et al.* Comparasion of bioestimulant treatments in *Acmella oleracea* cultivation for alkylamides production. **Plants**, Suíça, v. 818, n. 9, p. 1-17, 2020.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6. ed. Porto Alegre, BR: Artmed. 2017. 858 p.

TUCCI, M. *et al.* The beneficial effect of *Trichoderma* spp. on tomato is modulated by the plant genotype. **Molecular Plant Pathology**, Nova Jersey, v. 12, n. 4, p. 341-354, 2011.

VERGARA, A. G. *et al.* The volatile 6-pentyl-2H-pyran-2-one from *Trichoderma atroviride* regulates *Arabidopsis thaliana* root morphogenesis via auxin signaling and ETHYLENE INSENSITIVE 2 functioning. **New Phytologist**, v. 209, n. 4, p. 1496-1512, 2016.

VIEIRA, M. E. *et al.* Arbuscular mycorrhizal fungi and phosphorus in spilanthol and phenolic compound yield in jambu plants. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 2, p. 192-198, 2021.

WANG, Y. *et al.* Biodiversity of the beneficial soil-borne fungi steered by *Trichoderma*-amended biofertilizers stimulates plant production. **Biofilms and Microbiomes**, v. 46, p. 1-9, 2023.

WU, Q. *et al.* Co-culture of *Bacillus amyloliquefaciens* ACCC11060 and *Trichoderma asperellum* GDFS1009 enhanced pathogen-inhibition and amino acid yield. **Microbial Cell Factories**, v. 17, p. 1-12, 2018.