

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

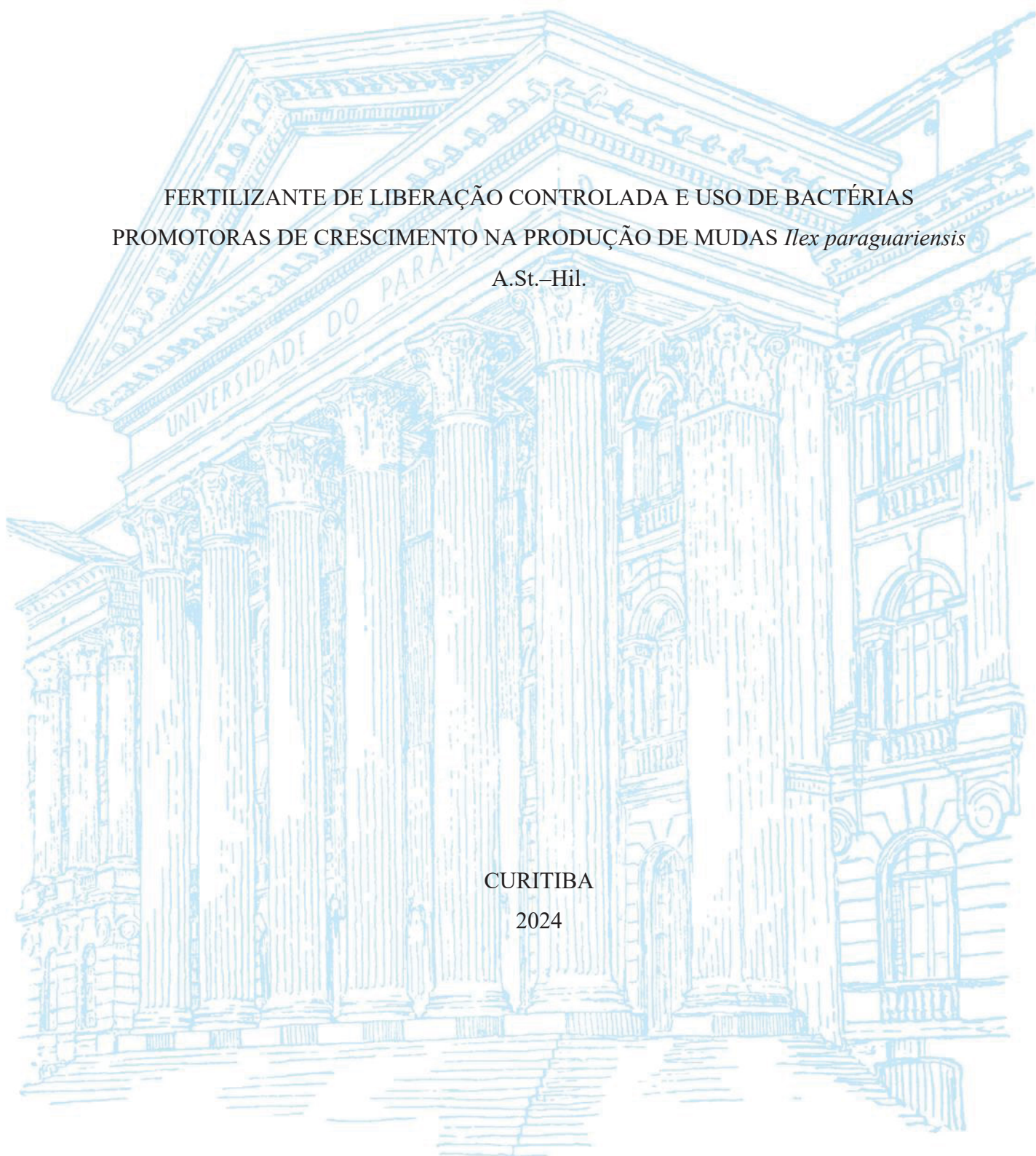
ALESSANDRA DA CUNHA PESSOA

FERTILIZANTE DE LIBERAÇÃO CONTROLADA E USO DE BACTÉRIAS
PROMOTORAS DE CRESCIMENTO NA PRODUÇÃO DE MUDAS *Ilex paraguariensis*

A.St.–Hil.

CURITIBA

2024



ALESSANDRA DA CUNHA PESSOA

FERTILIZANTE DE LIBERAÇÃO CONTROLADA E USO DE BACTÉRIAS
PROMOTORAS DE CRESCIMENTO NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE *Ilex*
paraguarienses A.St.–Hil.

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Antônio Carlos Nogueira

Coorientadoras: Prof(a). Dr(a). Dagma Kratz
Prof(a). Dr(a). Jesiane Stefânia da Silva Batista

CURITIBA

2024

Ficha catalográfica elaborada pela
Biblioteca de Ciências Florestais e da Madeira - UFPR

Pessoa, Alessandra da Cunha

Fertilizante de liberação controlada e uso de bactérias promotoras de crescimento na produção de mudas *Ilex paraguariensis* A.St.–Hil. / Alessandra da Cunha Pessoa. - Curitiba, 2024.

1 recurso on-line : PDF

Orientador: Prof. Dr. Antônio Carlos Nogueira

Coorientadoras: Profa. Dra. Dagma Kratz

Profa. Dra. Jesiane Stefânia da Silva Batista

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Defesa: Curitiba, 14/08/2024.

1. Erva-mate - Adubos e fertilizantes. 2. Erva-mate - Mudanças. 3. Erva-mate - Crescimento. 4. Erva-mate - Inoculação. 5. *Bacillus megaterium*. 6. *Bacillus subtilis*. I. Nogueira, Antônio Carlos. II. Kratz, Dagma. III. Batista, Jesiane Stefânia da Silva. IV. Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias. V. Título.

CDD - 633.77

CDU - 633.77

634.0.285

634.0.232.42

Bibliotecária: Marilene do Rocio Veiga – CRB9/424




MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ENGENHARIA
FLORESTAL - 40001016015P0


TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação ENGENHARIA FLORESTAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da dissertação de Mestrado de **ALESSANDRA DA CUNHA PESSOA** intitulada: **FERTILIZANTE DE LIBERAÇÃO CONTROLADA E USO DE BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE *Ilex paraguariensis* A.St.-Hil.**, sob orientação do Prof. Dr. ANTÔNIO CARLOS NOGUEIRA, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestra está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 14 de Agosto de 2024.


ANTÔNIO CARLOS NOGUEIRA
Presidente da Banca Examinadora


MANOELA MENDES DUARTE
Avaliador Externo (AUTONOMA)


ALVARO LUIS PASQUETTI BERGHETTI
Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer ao meu orientador, Prof. Dr. Antônio Carlos Nogueira, por me aceitar como sua orientanda no período desses dois anos, de muitas conversas e valiosas dicas de estudo e de passeios pelo Paraná. Também agradeço às coorientadoras, Prof.^a Dr.^a. Dagma Kratz pela idealização do desenvolvimento desta pesquisa, suas sugestões, orientações e pelo seu apoio ao longo de todo o processo; e a Prof.^a. Dr.^a Jesiane S. Batista da Silva pela parceria e contribuições para a melhoria da pesquisa.

Agradeço aos membros da banca examinadora, Prof. Dr. Álvaro Luís Pasquetti Berghetti, à Dr.^a Manoela Mendes Duarte e à Dr.^a Mônica Moreno Gabira pela disponibilidade e pelas contribuições a este trabalho.

À Universidade Federal do Paraná (UFPR), por me proporcionar momentos indescritíveis e inesquecíveis, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal para a realização desta pesquisa e à CAPES pela bolsa de estudo que possibilitou minha morada aqui em Curitiba.

Expresso minha gratidão aos meus amigos do Laboratório de Sementes Florestais (LASF), em especial meu amigo Francival Cardoso pela receptividade com minha chegada, Letícia Walter, Leonardo Castilho e Luara Castilho pelo apoio com os estudos (principalmente pelos ensinamentos sobre o software R), pelos ótimos passeios, conversas e carinho, e à técnica Simone Pereira, pela boa convivência.

Aos amigos do Pará em Curitiba que souberam deixar os dias mais tranquilos, seja no jantar do RU, num almoço de comida paraense ou em um barzinho, nas risadas sobre conversas aleatórias, e principalmente pelo ombro amigo em momentos difíceis. Aqueles que iniciaram comigo a pós-graduação: Washington Duarte e Ana Paula Ferreira, e aos que chegaram logo depois: Amanda Costa, Girlene Cruz, Jordan Modesto e Amanda Oliveira. Ao Raimundo Júnior, sempre muito gentil, à amiga de república Marcela Albuquerque, com quem assistia uma novela romântica cheia de drama, comendo um bom pão com ovo.

Um parágrafo especial às minhas amigas de graduação, pós-graduandas, que mesmo distante sempre executaram muito bem esse papel: Nívea Mafra, Ana Laura Luz e Denyse Maria. Meninas, obrigada pela consideração e carinho ao longo desses anos.

Agradeço profundamente à minha família, aos meus pais Antônio Pessoa e Ivanilde Cunha, que mesmo sem aceitar, me apoiaram e deram sua benção para eu viver algo novo e diferente em outro estado. Ao meu amado irmão Israel Pessoa, pelo incentivo em continuar esta jornada, por dizer: mana, seja feliz! E a minha cunhada Adriana, uma amiga que ganhei.

A mim, pelos dias em que pensei em abandonar e seguir outra área, mas por voltar à razão e lembrar-me do meu objetivo de vida, e principalmente por ter orgulho de ter continuado.

Por fim, ao meu Deus, o responsável por tornar estes agradecimentos reais, aquele que me fez sua testemunha, provando que, quando oramos e aguardamos, Ele dá sinais e até fala contigo por meio da fé. Obrigada, Senhor!

RESUMO

Ilex paraguariensis A.St.–Hil. é uma espécie lenhosa nativa da América do Sul, amplamente produzida no Paraná. Devido à grande demanda de produção, é necessário o estabelecimento de plantios com mudas de qualidade, para o estabelecimento de ervais e projetos de restauração florestal. A adubação influencia nesse processo de produção e as bactérias promotoras de crescimento em plantas (BPCP), podem reduzir a quantidade de fertilizantes aplicados, por meio da simbiose, pois causam efeitos diretos e indiretos no desenvolvimento das plantas. O objetivo foi avaliar o efeito de diferentes doses de fertilizante de liberação controlada (FLC) em combinação com BPCP na produção de mudas de erva-mate. O experimento constou com quatro doses de fertilizante em dois momentos de inoculação com um inoculante comercial composto por cepas de *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium*. O delineamento foi inteiramente casualizado, com quatro doses de FLC (2,13 kg m⁻³, 4,25 kg m⁻³, 6,38 kg m⁻³ e 8,50 kg m⁻³) e aplicação de um mililitro (ml) de inoculante, com oito repetições de 25 plantas, avaliadas aos 150 dias. Após esse período, metade das repetições recebeu uma dose adicional de 1 ml do inoculante, sendo um delineamento fatorial – quatro doses de fertilizantes e duas inoculações (aplicação única e reforço), avaliadas aos 180 dias. Os resultados mostraram que as mudas inoculadas com *Bacillus* spp. aos 150 dias apresentaram maior altura (H) na dose 4, e o diâmetro do coleto (DC) foi estatisticamente semelhante nas doses 3 e 4. A relação altura/diâmetro (H/DC) foi mais significativa na dose 4. A biomassa seca aérea (BSA), biomassa seca da raiz (BSR), biomassa seca total (BST) e o volume da raiz (VR) foram maiores nas doses 3 e 4. O índice de qualidade de Dickson (IQD) foi superior apenas na dose 4. Para as folhas, a área foliar (AF), área foliar específica (AFE), largura (L), comprimento (C) e a relação L/C não apresentaram diferenças significativas entre as doses. Aos 180 dias, houve interação entre as doses de fertilizante e o número de inoculações para as variáveis H e DC. A dose 3 com uma inoculação foi suficiente para o crescimento das mudas. A relação H/DC, BSA e IQD, a dose máxima de FLC se destacou, enquanto a dose 2 com uma inoculação foi necessária BSR, BST e VR. Para AF, L e C das folhas foram estatisticamente significativas na dose 4 de FLC com uma inoculação, porém a AF foi superior com a dose 1 de FLC e uma inoculação. A relação L/C e a densidade estomática (DE) não foram influenciadas pelos tratamentos testados. Concluiu-se que a dose 3 de FLC (6,38 kg m³), associada a uma única inoculação de *Bacillus* spp., foi eficiente no desenvolvimento das mudas de erva-mate, sem efeitos significativos da reinoculação durante a fase de rustificação.

Palavras-chave: adubação; *Bacillus subtilis*; *Bacillus megaterium*; erva-mate; inoculante.

ABSTRACT

Ilex paraguariensis A.St.–Hil. is a woody species native to South America, widely cultivated in Paraná, Brazil. Due to the high production demand, it is essential to establish plantations with high-quality seedlings for the development of yerba mate groves and forest restoration projects. Fertilization plays a key role in this production process, and plant growth-promoting bacteria (PGPB) can reduce the amount of fertilizers applied through symbiosis, as they exert both direct and indirect effects on plant development. The objective of this study was to evaluate the effect of different doses of controlled-release fertilizer (CRF) combined with PGPB on the production of yerba mate seedlings. The experiment involved four doses of fertilizer applied at two inoculation times using a commercial inoculant composed of *Bacillus subtilis* and *Bacillus megaterium* strains. A completely randomized design was used, with four CRF doses (2,13 kg m⁻³, 4,25 kg m⁻³, 6,38 kg m⁻³, and 8.50 kg m⁻³) and the application of 1 mL of inoculant, with eight replicates of 25 plants each, evaluated at 150 days. After this period, half of the replicates received an additional 1 mL dose of inoculant, resulting in a factorial design—four fertilizer doses and two inoculation regimes (single application and reinforcement), evaluated at 180 days. The results showed that seedlings inoculated with *Bacillus spp.* at 150 days exhibited greater height (H) at dose 4, while the stem diameter (D) was statistically similar at doses 3 and 4. The height-to-diameter stem (H/D) was significantly higher at dose 4. Shoot dry biomass (SDB), root dry biomass (RDB), total dry biomass (TDB), and root volume (RV) were higher at doses 3 and 4. The Dickson quality index (DQI) was superior only at dose 4. For leaf traits, leaf area (LA), specific leaf area (SLA), width (W), length (L), and the L/W ratio showed no significant differences among doses. At 180 days, there was an interaction between fertilizer doses and the number of inoculations for the variables H and D. Dose 3 with a single inoculation was sufficient for seedling growth. For H/D, SDB, and DQI, the maximum CRF dose stood out, while dose 2 with a single inoculation was sufficient for RDB, TDB, and RV. For LA, W, and L, dose 4 with a single inoculation was statistically significant, though LA was superior with dose 1 and a single inoculation. The L/W ratio and stomatal density (D) were not influenced by the tested treatments. It was concluded that dose 3 of CRF (6,38 kg m³), combined with a single inoculation of *Bacillus spp.*, was effective for the development of yerba mate seedlings, with no significant effects of reinoculation during the hardening phase.

Keywords: fertilization; *Bacillus subtilis*; *Bacillus megaterium*; yerba mate; inoculant.

LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1 – ETAPAS DO EXPERIMENTO COM MUDAS DE *Ilex paraguariensis* A.St.-Hil. (A) CAIXA COM PLÂNTULAS DE ORIGEM SEMINAL; (B) SUBSTRATO COMERCIAL UMEDECIDO; (C) FERTILIZANTE DE LIBERAÇÃO CONTROLADA; (D) REPICAGEM DAS PLÂNTULAS EM BANDEJAS; (E) INOCULAÇÃO DE BACTÉRIAS COM PIPETA AUTOMÁTICA E (F) COBERTURA DAS PLÂNTULAS COM SOMBRITE.23
- FIGURA 2 – ANÁLISE DOS PARÂMETROS DE CRESCIMENTO DE *Ilex paraguariensis* A.St.-Hil. (A, B) MENSURAÇÃO DA ALTURA E DIÂMETRO DO COLETO COM RÉGUA E PAQUÍMETRO DIGITAL, RESPECTIVAMENTE; (C) DETERMINAÇÃO DO VOLUME RADICULAR POR DESLOCAMENTO DE ÁGUA EM PROVETA; (D) CAPTURA DE IMAGENS DAS FOLHAS EM SCANNER E (E, F) PESAGEM DA BIOMASSA SECA DE FOLHAS E RAÍZES EM BALANÇA DE PRECISÃO.24
- FIGURA 3 – ETAPA FINAL DE REINOCULAÇÃO E RUSTIFICAÇÃO DAS MUDAS DE *Ilex paraguariensis* A.St.-Hil. (A) INOCULANTE COMERCIAL EM FORMA LÍQUIDA; (B) REINOCULAÇÃO DE *BACILLUS* spp. NAS MUDAS; (C) MUDAS TRANSFERIDAS PARA A ÁREA DE PLENO SOL; (D) CAMADA DE ESMALTE INCOLOR NA FACE FRONTAL ABAXIAL PARA FORMAÇÃO DE PELÍCULA E FIXAÇÃO DOS ESTÔMATOS; (E) MICROSCÓPIO UTILIZADO PARA VISUALIZAÇÃO E CONTAGEM DOS ESTÔMATOS, E (F) VISUALIZAÇÃO DOS ESTÔMATOS EM FOLHAS AO MICROSCÓPIO COM AUMENTO DE 10X.26
- FIGURA 4 - CRESCIMENTO EM ALTURA (A) E DIÂMETRO DO COLETO (B) DE MUDAS DE *Ilex paraguariensis* A.St.-Hil. SUBMETIDAS A DIFERENTES DOSES DE FERTILIZANTE DE LIBERAÇÃO CONTROLADA E INOCULAÇÃO *Bacillus* spp., AOS 150 DIAS.28
- FIGURA 5 – COMPARAÇÃO DE MÉDIAS PARA ALTURA (A), DIÂMETRO DO COLETO (B) E RELAÇÃO ALTURA/DIÂMETRO (C) DE MUDAS DE *Ilex paraguariensis* A.St.-Hil. SUBMETIDAS A DIFERENTES DOSES DE FERTILIZANTE DE LIBERAÇÃO CONTROLADA E INOCULAÇÃO DE *Bacillus* spp., AOS 150 DIAS. BARRAS VERTICAIS REPRESENTAM O DESVIO PADRÃO.31

- FIGURA 6 – BIOMASSA SECA AÉREA (A), BIOMASSA SECA DA RAIZ (B), BIOMASSA SECA TOTAL (C), RELAÇÃO BIOMASSA SECA AÉREA/BIOMASSA DA RAIZ (D), ÍNDICE DE QUALIDADE DE DICKSON (E) E VOLUME DAS RAÍZES (F) DE MUDAS DE *Ilex paraguariensis* A. St.-Hil. SUBMETIDAS A DIFERENTES DOSES DE FERTILIZANTE DE LIBERAÇÃO CONTROLADA E INOCULAÇÃO DE *Bacillus* spp., AOS 150 DIAS. BARRAS VERTICAIS REPRESENTAM O DESVIO PADRÃO. 32
- FIGURA 7 – ÁREA FOLIAR (A), ÁREA FOLIAR ESPECÍFICA (B), LARGURA DA FOLHA (C) COMPRIMENTO DA FOLHA (D) E RELAÇÃO LARGURA/COMPRIMENTO (E) DE MUDAS DE *Ilex paraguariensis* A.St.-Hil. SUBMETIDAS A DIFERENTES DOSES DE FERTILIZANTE DE LIBERAÇÃO CONTROLADA E INOCULAÇÃO DE *Bacillus* spp., AOS 150 DIAS. BARRAS VERTICAIS REPRESENTAM O DESVIO PADRÃO..... 34
- FIGURA 8 – MÉDIAS DE ALTURA (A) E DIÂMETRO DO COLETO (B) DAS MUDAS DE *Ilex paraguariensis* A.St.-Hil. SUBMETIDAS A DIFERENTES DOSES DE FERTILIZANTE DE LIBERAÇÃO CONTROLADA E INOCULAÇÃO DE *Bacillus* spp., AOS 180 DIAS. BARRAS VERTICAIS REPRESENTAM O ERRO PADRÃO..... 39
- FIGURA 9 – A RELAÇÃO ENTRE A ALTURA E DIÂMETRO DO COLETO DE MUDAS DE *Ilex paraguariensis* A.St.–Hil. SUBMETIDAS A DIFERENTES DOSES DE FERTILIZANTE DE LIBERAÇÃO CONTROLADA E INOCULAÇÃO DE *Bacillus* spp., AOS 180 DIAS. 40
- FIGURA 10 – BIOMASSA SECA AÉREA (A), BIOMASSA SECA DA RAIZ (B), BIOMASSA SECA TOTAL (C), RELAÇÃO BIOMASSA SECA AÉREA/BIOMASSA SECA DA RAIZ (D), ÍNDICE DE QUALIDADE DE DICKSON (E) E VOLUME DA RAIZ (F) DE MUDAS DE *Ilex paraguariensis* A.St.–Hil. SUBMETIDAS A DIFERENTES DOSES DE FERTILIZANTE DE LIBERAÇÃO CONTROLADA E INOCULAÇÃO DE *Bacillus* spp., AOS 180 DIAS. 41
- FIGURA 11 – ÁREA FOLIAR (A), ÁREA FOLIAR ESPECÍFICA (B), LARGURA DA FOLHA (C) E COMPRIMENTO DA FOLHA (D) DE MUDAS DE *Ilex paraguariensis* A.St.–Hil. SUBMETIDAS A DIFERENTES DOSES DE FERTILIZANTE DE LIBERAÇÃO CONTROLADA E INOCULAÇÃO DE *Bacillus* spp., AOS 180 DIAS. 43

LISTA DE TABELAS

- TABELA 1 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA ALTURA, DIÂMETRO DO COLETO, RELAÇÃO ALTURA E DIÂMETRO DE COLETO, BIOMASSA SECA AÉREA, BIOMASSA SECA RADICULAR, BIOMASSA SECA TOTAL, RELAÇÃO DA BIOMASSA SECA AÉREA E RADICULAR, ÍNDICE DE QUALIDADE DE DICKSON, VOLUME DE RAÍZ, ÁREA FOLIAR, ÁREA FOLIAR ESPECÍFICA, LARGURA FOLIAR, COMPRIMENTO FOLIAR (C) E RELAÇÃO DA LARGURA E COMPRIMENTO FOLIAR DE MUDAS DE *Ilex paraguariensis* A.St.-Hil. SUBMETIDAS A DIFERENTES DOSES DE FERTILIZANTE DE LIBERAÇÃO CONTROLADA E INOCULAÇÃO DE *Bacillus* spp., AOS 150 DIAS.29
- TABELA 2 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA ALTURA, DIÂMETRO DO COLETO, RELAÇÃO ENTRE ALTURA E DIÂMETRO DE COLETO, BIOMASSA SECA DA AÉREA, BIOMASSA SECA RADICULAR, BIOMASSA SECA TOTAL, RELAÇÃO DA BIOMASSA SECA AÉREA E RADICULAR (BSA/BSR), ÍNDICE DE QUALIDADE DE DICKSON, VOLUME DE RAÍZ, ÁREA FOLIAR, ÁREA FOLIAR ESPECÍFICA, LARGURA FOLIAR, COMPRIMENTO FOLIAR E RELAÇÃO DA LARGURA E COMPRIMENTO FOLIAR DE MUDAS DE *Ilex paraguariensis* A.St.-Hil. SUBMETIDAS A DIFERENTES DOSES DE FERTILIZANTE DE LIBERAÇÃO CONTROLADA E INOCULAÇÃO DE *Bacillus* spp., AOS 180 DIAS.35
- TABELA 3 – ANÁLISE DE CONTRASTES ORTOGONAL DA ALTURA E DIÂMETRO DO COLETO DE MUDAS DE *Ilex paraguariensis* A.St.-Hil. SUBMETIDAS A DIFERENTES DOSES DE FERTILIZANTE DE LIBERAÇÃO CONTROLADA E INOCULAÇÃO DE *Bacillus* spp., AOS 180 DIAS.38

LISTA DE SIGLAS

AF	Área Foliar
AFE	Área Foliar Específica
BSA	Biomassa Seca Aérea
BSR	Biomassa Seca Radicular
BSA/BSR	Biomassa Seca Aérea/Biomassa Seca Radicular
BST	Biomassa Seca Total
BPCP	Bactéria Promotora de Crescimento em Planta
BSF	Bactéria Solubilizadora de Fósforo
C	Comprimento
DC	Diâmetro do Coleto
DE	Densidade Estomática
DERAL	Departamento de Economia Rural do Paraná
FLC	Fertilizante de Liberação Controlada
H	Altura
H/DC	Relação Altura/Diâmetro do Coleto
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IQD	Índice De Qualidade De Dickson
K	Potássio
L	Largura
L/C	Relação Largura/Comprimento
N	Nitrogênio
P	Fósforo
PFNM's	Produtos Florestais Não-Madeireiros
SNIF	Sistema Nacional de Informações Florestais
t	toneladas
UFC	Unidade Formadora de Colônia
VR	Volume da Raiz

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
1.1.	OBJETIVOS.....	16
1.1.1.	Objetivo geral.....	16
1.1.2.	Objetivos específicos.....	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.1.	ERVA-MATE	17
2.2.	PARÂMETROS DE QUALIDADE DE MUDAS	18
2.3.	FERTILIZANTES E BACTÉRIAS NA PRODUÇÃO DE MUDAS	19
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	22
3.1.	LOCAL DE ESTUDO E PREPARO DO EXPERIMENTO	22
3.2.	PARÂMETROS MORFOLÓGICOS DAS MUDAS	23
3.3.	FASE DE REINOCULAÇÃO E RUSTIFICAÇÃO DAS MUDAS	25
3.4.	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	26
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
4.1.	PARÂMETROS MORFOLÓGICOS DAS MUDAS	28
4.1.1.	Altura e diâmetro.....	28
4.1.2.	Biomassa seca.....	32
4.1.3.	Folhas	33
4.2.	REINOCULAÇÃO E RUSTIFICAÇÃO DAS MUDAS	34
4.2.1.	Altura e diâmetro.....	34
4.2.2.	Biomassa seca.....	40
4.2.3.	Folhas	42
5	CONCLUSÃO.....	45
6	CONSIDERAÇÃO FINAL.....	45
	REFERÊNCIAS	46

1 INTRODUÇÃO

Os produtos florestais não-madeireiros (PFNM's) têm atraído considerável interesse global devido ao reconhecimento de sua contribuição à importância socioeconômica e ambiental (ELIAS; SANTOS, 2016, p. 250). Dentro dessa categoria, encontra-se a erva-mate (*Ilex paraguariensis* A.St.–Hil.), com grande volume de produção no território brasileiro (MARTINS *et al.*, p. 2021, p. 523), alcançando um total de 1.064,12 mil toneladas em 2021 (DERAL, 2022, p. 03).

A erva-mate é uma espécie nativa da América do Sul, de importância econômica e cultural (ONETTO *et al.*, 2022, p. 01). Na natureza, a planta adulta apresenta porte alto, mas quando cultivada, é mantida em estrato arbustivo devido ao manejo, visando a utilização das folhas e galhos para preparar bebidas comerciais - consumidas em uma infusão com água quente (“chimarrão/mate”) ou em água fria (“tereré”) (DARTORA *et al.*, 2013, p. 1776; LACZESKI, *et al.*, 2020, p. 02) - uma alternativa ao café em função dos seus efeitos estimulantes (BERGOTTINI, *et al.*, 2015, p. 749). O mercado tem expandido para diferentes formas de uso, como panificação, refrigerantes e produtos de higiene pessoal, onde a erva-mate é um dos componentes principais (LACZESKI, *et al.*, 2020, p. 02).

Em virtude do cultivo intensivo dessa espécie e a expansão de áreas plantadas, tem-se observado um aumento da demanda por mudas de qualidade (GABIRA *et al.*, 2020, p. 01). Portanto, é necessário investir na produção de mudas com alto padrão genético, fisiológico e sanitário, visando aumentar a produtividade e a valorização dessa matéria-prima (DUARTE *et al.*, 2020, p. 06). Para isso, é fundamental que as mudas atendam aos padrões de qualidade, como uniformidade na altura, diâmetro do coleto, boa proporção entre parte aérea e radicular, e plantas vigorosas, sem sintomas de deficiência nutricional, especialmente nas folhas (WENDLING; DUTRA; GROSSI, 2006, p. 17).

O estabelecimento de ervais, assim como de outras espécies arbóreas, está intimamente relacionado à qualidade das mudas, que depende diretamente de fatores de produção como substrato, irrigação, sementes de alto vigor, recipientes e nutrição (GABIRA *et al.*, 2020, p. 01). Entre esses insumos, os substratos e os fertilizantes representam uma parte significativa dos custos de produção (GABIRA *et al.*, 2022, p. 139). Em viveiros florestais, os fertilizantes são utilizados em quantidades mínimas em comparação à agricultura, principalmente os de liberação controlada, que reduzem as perdas de nutrientes, mas podem resultar em altos custos de produção (LIU *et al.*, 2013, p. 4617).

O fósforo é o macronutriente que apresenta baixa mobilidade no substrato (SANTOS; GATIBONI; KAMINSKI, 2008, p. 578), entretanto, indispensável ao crescimento e desenvolvimento das plantas. Desta forma, é de grande interesse o emprego de estratégias para melhorar a absorção e utilização de fósforo nas culturas, a fim de aumentar a produtividade das áreas (ALORI; GLICK; BABALOLA, 2017, p. 02; ZHANG *et al.*, 2024, p. 01). A inoculação com bactérias promotoras do crescimento pode minimizar a dependência de fertilizantes químicos fosfatados, e aumentar a eficiência do uso desse adubo mineral (HUSSAIN *et al.*, 2019, p. 1812). A comunidade microbiana associada às plantas é considerada uma alternativa que auxilia no crescimento e desenvolvimento das plantas sob condições de estresse abiótico e biótico, além de contribuir para a sustentabilidade e a estabilidade ambiental (KUMAR; VERMA, 2018, p. 41). Quando uma relação simbiótica é estabelecida entre bactérias e plantas, estas fornecem ácidos orgânicos às bactérias para que gerem mais energia (YU *et al.*, 2023, p. 2868), resultando no crescimento das plantas por uma variedade de mecanismos diretos e indiretos (GROVER *et al.*, 2021, p. 01). De forma direta, as bactérias do gênero *Bacillus* realizam a absorção de nutrientes e promovem frequentes atividades fisiológicas, químicas e biológicas; indiretamente, elas ativam o efeito adverso de microrganismos deletérios que causam doenças nas plantas (HASHEM; TABASSUM; ABD_ALLAH, 2019, p. 1291).

A pesquisa sobre a utilização de bactérias solubilizadoras de fósforo (BSF) na produção de mudas de *I. paraguariensis* é fundamental devido ao seu impacto na produção de mudas florestais e sustentabilidade ambiental. Essa abordagem contribui para melhorar a qualidade das mudas, reduzir custos e impactos ambientais, e aplicar tecnologias sustentáveis no setor florestal. Além disso, promove a eficiência no uso de recursos e o desenvolvimento de práticas na silvicultura mais sustentáveis e economicamente viáveis.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo geral

Investigar o efeito de diferentes doses de fertilizante de liberação controlada, em associação com bactérias promotoras do crescimento, na produção de mudas de *I. paraguariensis*.

1.1.2. Objetivos específicos

Avaliar altura e diâmetro do coleto de mudas de *I. paraguariensis* em resposta a diferentes doses de fertilizante de liberação controlada associadas a aplicação de inoculante comercial a base de *Bacillus* spp.

Avaliar os parâmetros foliares de mudas de *I. paraguariensis* em resposta a diferentes doses de fertilizante de liberação controlada associadas a aplicação de inoculante comercial a base de *Bacillus* spp.

Quantificar o acúmulo de biomassa seca de mudas de *I. paraguariensis* em resposta a diferentes doses de fertilizante de liberação controlada associadas a aplicação de inoculante comercial a base de *Bacillus* spp.

Verificar a efetividade da reaplicação do inoculante comercial a base de *Bacillus* spp. na fase de rustificação das mudas de *I. paraguariensis*.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. ERVA-MATE

Ilex paraguariensis A.St. -Hil., é uma espécie lenhosa da família Aquifoliaceae que coexiste com o pinheiro-do-paraná *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze na Floresta Ombrófila Mista, pode atingir até 30 m de altura na natureza, quando manejada varia de 3 m a 5 m (CARVALHO, 2003, p. 459). Na América do Sul está presente no Brasil, nordeste da Argentina, especialmente na Província de Misiones, leste do Paraguai (CARVALHO, 2003, p. 459; GELSLEICHTER *et al.*, 2021, p. 494). A grande ocorrência no Brasil é nos estados sulinos, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul e sul do Mato Grosso do Sul (LORENZI, 2009, p. 31; LUTOMSKI; GOZDZIEWSKA; FLOREK-LUSZCZKI, 2020, p. 310).

A erva-mate é considerada o principal produto florestal não-madeireiro (PFNM) da região sul do Brasil, com relevância econômica, social e ecológica (DUARTE *et al.*, 2019, p. 06). Sua cadeia produtiva é fonte de emprego e renda, especialmente para pequenos produtores rurais (SNIF, 2019, p. 14; DAVID *et al.*, 2024, p. 35).

O consumo das folhas e galhos finos secos dão origem a produtos tradicionais (GAWRON-GZELLA; CHANAJ-KACZMAREK; CIELECKA-PIONTEK, 2021, p. 01). Quando preparado em água quente e servido em cuia, é chamado de chimarrão e em água fria de tereré (mate gelado) (CARDOZO *et al.*, 2021, p. 02). O hábito de consumir como bebida e compartilhar a cuia é de origem indígena e está enraizado no contexto cultural da América do Sul (EUFLASINO; SCHARDONG; PEPECE, 2022, p. 211). As folhas são ricas em cafeína, teobromina, saponinas e compostos antioxidantes (VEIGA *et al.*, 2018, p. 01). Além do chimarrão, essas folhas têm permitido o desenvolvimento de usos alternativos em processos industriais (MACCARI JUNIOR, 2005, p. 14). Seu potencial é explorado nas indústrias alimentícia, farmacêutica, cosmética e química devido aos seus compostos bioativos e às suas propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias (GABIRA *et al.*, 2024, p. 02).

O Brasil, em 2021, foi considerado o maior produtor mundial de erva-mate, o país produziu 557.99 mil toneladas a pleno sol e 506.13 mil toneladas sombreada, totalizando 1.064,12 mil toneladas, seguido pela Argentina (882.095 mil toneladas) (DERAL, 2022, p. 03 e 04). O estado do Paraná, foi responsável por 696.09 t, sendo 379.476 t em meio à vegetação nativa, em seguida o Rio Grande do Sul com 231.85 t e por último Santa Catarina 131.50 t (IBGE, 2022).

De acordo com o prognóstico do Departamento de Economia Rural (2022, p.05), a erva-mate produzida no Paraná se destaca dos demais estados produtores pelo fato de ser

cultivada, em sua grande maioria, em áreas sombreadas com mata nativa, criando um sabor e qualidade diferenciado. A cultura tem potencial de usos em sistemas agroflorestais, programas de restauração ecológica, enriquecimento da floresta nativa, extrativismo sustentável e projetos paisagísticos (STEDILLE, 2020, p. 14).

Em virtude do cultivo intensivo dessa espécie e da expansão de áreas plantadas, tem-se levado ao aumento na demanda por mudas de qualidade (GABIRA *et al.*, 2020, p. 01). Portanto, é necessário investir em produção de mudas com alto padrão genético, fisiológico e sanitário, para aumentar a produtividade e a valorização dessa matéria-prima (DUARTE *et al.*, 2019, p. 06; DUARTE *et al.*, 2020, p. 06). Produzir mudas de qualidade é um requisito e um desafio dos viveiristas, pois envolve o estabelecimento da muda no ambiente de produção e a capacidade de responder aos atributos de sobrevivência e crescimento em campo (GROSSNICKLE; MACDONALD, 2018, p. 13). Nesse sentido, por meio da pesquisa científica, é possível desenvolver métodos de produção que atendam o padrão de qualidade, reduzam os custos em viveiros e promovam práticas que melhorem a sustentabilidade ambiental.

2.2. PARÂMETROS DE QUALIDADE DE MUDAS

Uma muda de qualidade apresenta melhores condições de crescimento, além de competir por água, luminosidade e absorção de nutrientes, pois é um dos recursos mais importantes no processo de produção, o que impacta positivamente sua permanência no campo (ARAÚJO *et al.*, 2019, p. 02). Geralmente, plantios de alta produtividade estão diretamente relacionados a utilização de mudas de elevada qualidade, combinado ao uso adequado do substrato e ao fornecimento correto de nutrientes durante o período de viveiro (MAGALHÃES *et al.*, 2017, p. 81).

Como parâmetro de avaliação, a altura da planta é uma das principais variáveis biométricas utilizadas na avaliação do crescimento de mudas, devido à facilidade de medição e ao fator não destrutivo (ARAÚJO *et al.*, 2019, p. 04). Outra variável muito prática é o diâmetro do caule, que propicia efeitos positivos nos parâmetros de crescimento das plantas, sendo essencial para a manutenção dos processos fisiológicos responsáveis pela produção de biomassa (SMIDERLE *et al.*, 2022, p. 04). O índice de qualidade de Dickson (IQD), é comumente utilizado para indicar a qualidade das mudas (KUAN-HUNG; CHUN-WEI; CHANG, 2019, p. 172), pois esse índice leva em consideração a biomassa das plantas, buscando equilibrar a relação entre a altura, o diâmetro do coleto e a biomassa seca da parte aérea e radicular (LUCA; REBECCHI; SCHORN, 2010, p. 195).

Um sistema radicular bem desenvolvido e estruturado aumenta a sobrevivência e o vigor inicial das mudas no campo (SMIDERLE *et al.*, 2022, p. 05 e 07). Os autores também revelam que características foliares, como área foliar específica e massa foliar, são componentes consideradas adaptativas às condições ambientais. Outros índices, por exemplo os fisiológicos, expressam o estado funcional da planta e quantificam a produção líquida gerada pela fotossíntese (SOUZA; SMIDERLE; MAIA, 2023, p. 448).

A baixa qualidade das mudas, em função da desproporção entre parte aérea e radicular pode comprometer a estabilidade, tornando-as mais suscetíveis ao tombamento pelo vento e ao ataque de pragas e doenças (MAFIA *et al.*, 2005, p. 952). Além disso, o estiolamento das plantas causado pela deficiência de luz ou o excesso de nitrogênio, externamente manifestados por maior altura, redução do diâmetro do caule, bem como da massa seca (ARAÚJO *et al.*, 2019, p. 04).

Por fim, Smiderle *et al.* (2024, p. 07) apontam como uma estratégia promissora para melhorar a qualidade de mudas de espécies florestais nativas a utilização de bactérias, como *Azospirillum brasilense*, associada a fertilizantes organominerais e micronutrientes.

2.3. FERTILIZANTES E BACTÉRIAS NA PRODUÇÃO DE MUDAS

Fertilizantes especiais, como os de liberação lenta de nutrientes, estão disponíveis no mercado, geram menores perdas e são mais eficientes, contudo, o alto custo limita a adoção por parte dos viveiristas de mudas florestais (MAGALHÃES *et al.*, 2017, p. 81). Além do mais, a escolha do substrato deve ser criteriosa, levando-se em consideração a combinação de propriedades que favoreçam o desenvolvimento da planta (SOUSA *et al.*, 2021, p. 01).

A adoção de novos métodos de produção, como a utilização de microrganismos benéficos que colonizam as raízes das plantas e ajudam a aumentar a disponibilidade de nutrientes essenciais, como o P, são desejáveis devido ao seu reduzido impacto ambiental e ao potencial de diminuir fontes mais caras de fertilizantes fosfatados (SANTOS *et al.*, 2024, p. 144). Além disso, esses microrganismos podem favorecer o desenvolvimento de mudas por meio de substâncias fitoreguladoras, como auxinas, e proteger contra agentes patogênicos (SILVA, 2022, p. 03). Estudos com bactérias promotoras de crescimento em plantas (BPCP) isoladas da rizosfera de ervais nativos tiveram um efeito positivo e altamente significativo no crescimento das mudas em viveiro (BERGOTTINI *et al.*, 2015, p. 752).

Diante de características vantajosas, diretas ou indiretas, há vários gêneros de BPCP sendo comercializados em formulações denominadas inoculantes biológicos, em razão da capacidade de se desenvolver em ambientes muito específicos, por exemplo, em altas ou baixas

temperaturas e faixas de pH (OLANREWAJU; GLICK; BABALOLA, 2017, p. 02). Baseados nos seus efeitos nas plantas, os micro-organismos são classificados em benéficos, deletérios e neutros (KUMAR; VERMA, 2018, p. 41). A maioria das bactérias do gênero *Bacillus* spp. são consideradas benéficas, aeróbicas, formadoras de endósporos que podem sobreviver nas mais adversas condições climáticas e edáficas, com potencial de comercialização e manejo à estresses abióticos e bióticos no intuito de melhorar a produção (DAME; RAHMAN; ISLAM, 2021, p. 246).

A maioria dos estudos com biofertilizantes/inoculantes comerciais são voltados para espécies anuais, como milho e soja, criando uma lacuna da aplicação em espécies florestais, especialmente em *Pinus* spp., *Eucalyptus* spp. e *Araucaria* spp. (KONDO, 2022, p. 10). Nos últimos anos, diversos trabalhos foram publicados com o intuito de validar o potencial de micro-organismos - bactérias - como biofertilizantes para o setor florestal. JANG *et al.* (2017, p. 36) testaram o efeito de *B. subtilis* e fertilizante de carvão vegetal em *Populus euamericana* e comprovaram o aumento do teor de fósforo disponível no solo de áreas recuperadas; Alexandre *et al.* (2021, p. 11) constataram a eficiência da combinação de bactérias e fungos micorrízicos arbusculares em *Tectona grandis* L. f. na fase de viveiro e após o plantio em campo, e enfatizaram que as respostas de promoção de crescimento depende da espécie, dos micro-organismos inoculados, das características climáticas e da genética das cultivares de *T. grandis*. Tailor e Joshi (2014, p. 1535) contribuíram com uma revisão que aborda a descoberta de novas cepas de BPCP, o papel no solo, o registro e comercialização, ou seja, as atribuições desses biofertilizantes. Lima *et al.* (2021, p. 06) comprovaram a hipótese que bactérias podem causar alterações na arquitetura da raiz, favorecendo o acúmulo de nutrientes. Em seu estudo com *Burkholderia pyrocinia* e *B. subtilis*, utilizando metade da quantidade recomendada de fertilizante, resultaram em maior biomassa e volume de raiz em comparação com o uso da quantidade total de fertilizante sem bactérias. Abreu *et al.*, (2021, p. 112961e 112965), testaram a inoculação de bactérias em mudas de *Hymenaea courbaril* L., uma espécie natural da Amazônia, que resultou em aumento da matéria seca total da espécie, principalmente quando introduzidas no solo. Os autores atribuíram esse ganho à associação simbiótica entre planta bactéria, capazes de produzir fitohormônios que estimulam o desenvolvimento vegetal.

Uma bactéria se qualifica como BPCP somente se, após a inoculação, for capaz de produzir um efeito positivo na planta hospedeira, demonstrando boas habilidades competitivas em relação às comunidades nativas da rizosfera (GROVER *et al.*, 2021, p.01). Conforme as comprovadas atividades bacterianas das cepas BRM 119 (*Bacillus megaterium*) e BRM 2084 (*Bacillus subtilis*), essas são componentes de inoculantes comerciais para culturas agrícolas,

com a capacidade de promover o crescimento das plantas e maximizar a utilização de fósforo por meio de vários mecanismos biológicos (OLIVEIRA-PAIVA *et al.*, 2024, p. 11).

O fósforo é considerado o segundo macronutriente mais importante para as plantas, logo após o nitrogênio (OLIVEIRA-PAIVA, 2024, p. 01). É o elemento mais limitante para o crescimento e desenvolvimento dos vegetais, pois desempenha um papel crucial em vários processos metabólicos, como fotossíntese, respiração, produção de energia pela síntese de adenosina trifosfato (ATP), ativação/inativação de enzimas, divisão celular, armazenamento de reservas e crescimento do sistema radicular (VANCE; UHDE-STONE; ALLAN, 2003, p. 423; BARROS, 2020, p. 08).

No solo, a baixa mobilidade de P é devido à alta adsorção desse elemento e a formação de fosfatos de ferro e alumínio (RIBEIRO *et al.*, 2018, p. 41), em solos ácidos, e em solos alcalinos associa-se aos íons de cálcio, tornando-se indisponível para as plantas (BARROS, 2020, p. 31). No Brasil, ele é o nutriente mais usado em adubação, pois há uma carência generalizada desse macronutriente e pela forte interação com o solo (CECONI *et al.*, 2007, p. 26).

Uma quantidade satisfatória de P na zona radicular pode aumentar as chances das raízes das plantas em mobilizar e absorver P da rizosfera de forma mais eficiente por meio de estratégias adaptativas, morfológicas, fisiológicas e bioquímicas das raízes (SHEN *et al.*, 2011, p. 997). Em baixa disponibilidade de P no solo, as plantas aumentam a produção de moléculas de exsudato das raízes que solubilizam formas não disponíveis de P, que podem solubilizar outros nutrientes ou elementos tóxicos (BARBOSA *et al.*, 2018, p. 558).

Pelo fato de *I. paraguariensis* ocorrer em solos ácidos, de baixa fertilidade, (CARVALHO, 2003, p. 460), pode ser considerada uma espécie pouco exigente em P (BARBOSA *et al.*, 2018, p. 558). A adubação fosfatada adequada pode tornar mais eficiente o processo de produção de mudas, reduzir as perdas e conseqüentemente o custo por unidade produzida (ROCHA *et al.*, 2013, p. 539), além disso a escolha da dose e tipo de fertilizante também influenciam nessa cadeia de produção (BERNADINO *et al.*, 2005, p. 864). Portanto, o emprego de estratégias para melhorar a absorção e utilização de P nas culturas tem uma relevância significativa e emergencial para o âmbito econômico e ambiental (ZHANG *et al.*, 2024, p. 01).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1. LOCAL DE ESTUDO E PREPARO DO EXPERIMENTO

O estudo foi realizado nas dependências do Viveiro de Frutíferas e Florestal da Universidade Federal do Paraná (UFPR). O experimento foi conduzido em estufa com cobertura plástica transparente, cortinas laterais reguláveis, irrigação automática com microaspersores de vazão 61 L/h e lâmina d'água média de 6,8 mm, distribuída em média 4 vezes ao dia. O ambiente de pleno sol, utilizado para posterior rustificação das mudas, possui irrigação por microaspersores, com vazão de 103 L/h programada para irrigar 4 vezes ao dia, com lâmina d'água média de 25,28 mm. A irrigação de ambas as estruturas foi ajustada de acordo a variação do dia.

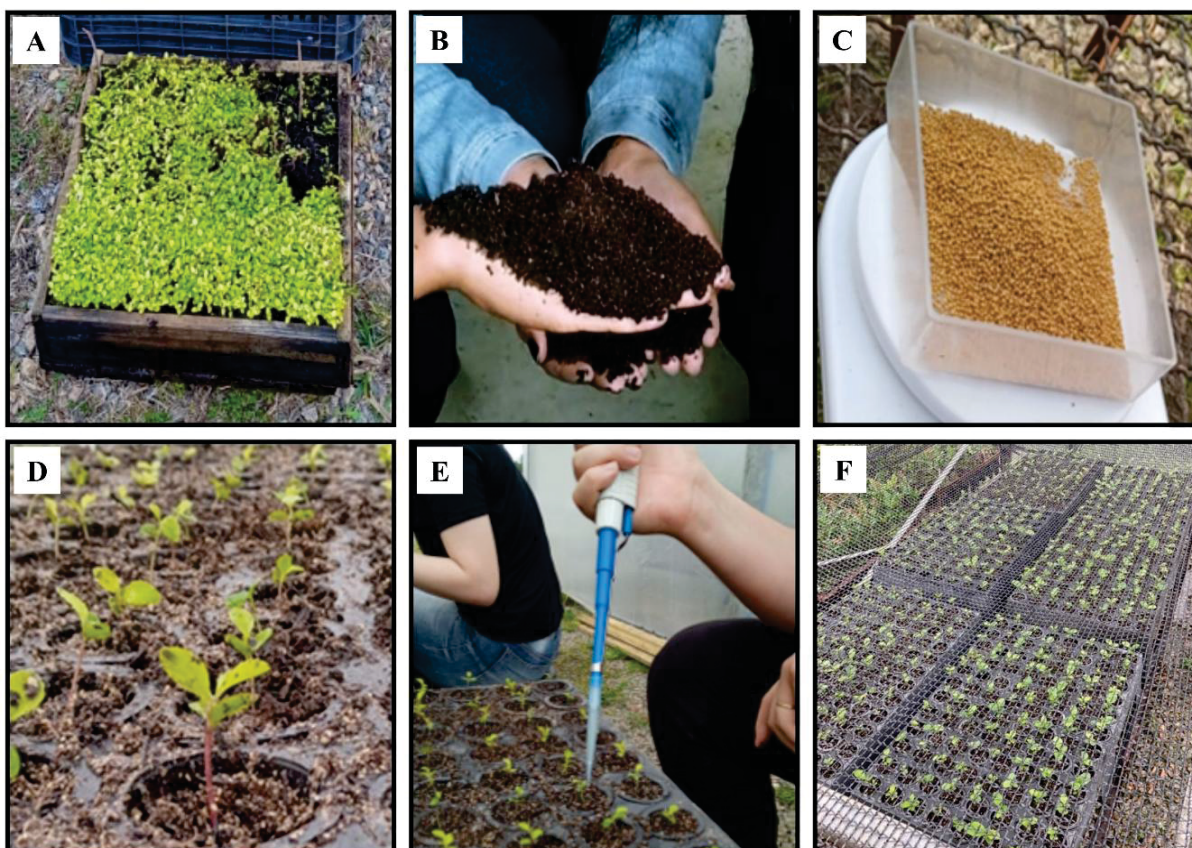
No período de desenvolvimento do estudo, entre setembro de 2023 e março de 2024, a temperatura média foi de 20,6 °C, a máxima 35,4 °C e mínima 8,5 °C, com a pluviosidade total de 1.186,6 mm (INMET, 2024). O clima da região, segundo Köppen, é classificado como Cfb subtropical úmido, caracterizado por verão úmido e chuvas abundantes ao longo do ano (ALVARES *et al.*, 2013, p. 724).

As plântulas de erva-mate (FIGURA 1A) utilizadas para realização desse estudo - cultivar Ybaporanga (Registro Nacional de Cultivar: 51893) - foram obtidas por doação do Viveiro Florestal da Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG). O substrato comercial (FIGURA 1B) utilizado foi de baixa densidade, constituído por casca de arroz torrefada, vermiculita expandida, perlita expandida e turfa de *Sphagnum* (CAROLINA SOIL, 2024). Para os tratamentos de adubação de base foi utilizado fertilizante de liberação controlada (FIGURA 1C) Osmocote®, de 6 meses de liberação (15-09-12 + micronutrientes), incorporado ao substrato em quatro dosagens, sendo Tratamento 1: 2,13 kg m⁻³, Tratamento 2: 4,25 kg m⁻³, Tratamento 3: 6,38 kg m⁻³ e Tratamento 4: 8,5 kg m⁻³, que correspondem a 25%, 50%, 75% e 100%, respectivamente da dose recomendada por Walter *et al.* (2022, p. 09).

Em seguida, tubetes de 110 cm³ foram preenchidos com a mistura de substrato e fertilizante, organizados em bandejas plásticas e plântulas com duas folhas e altura média de 1,0 cm foram repicadas (FIGURA 1D). Posteriormente, em todos os tratamentos, aplicou-se 1 ml de inoculante comercial constituído por bactérias promotoras de crescimento em plantas, bem próximo ao coleto das plântulas, com auxílio de pipeta automática (FIGURA 1E). O inoculante comercial utilizado possui uma concentração de 4x10⁹ UFC/mL (células vivas), composto pelas cepas BRM 2084 (*Bacillus subtilis*) e BRM 119 (*Bacillus megaterium*). As

bandejas foram mantidas em estufa e cobertas com tela de sombreamento (sombrite 50%) (FIGURA 1F). O sombrite foi removido 30 dias após a repicagem.

FIGURA 1 – ETAPAS DO EXPERIMENTO COM MUDAS DE *Ilex paraguariensis* A.St.-Hil. (A) CAIXA COM PLÂNTULAS DE ORIGEM SEMINAL; (B) SUBSTRATO COMERCIAL UMEDECIDO; (C) FERTILIZANTE DE LIBERAÇÃO CONTROLADA; (D) REPICAGEM DAS PLÂNTULAS EM BANDEJAS; (E) INOCULAÇÃO DE BACTÉRIAS COM PIPETA AUTOMÁTICA E (F) COBERTURA DAS PLÂNTULAS COM SOMBRITE.

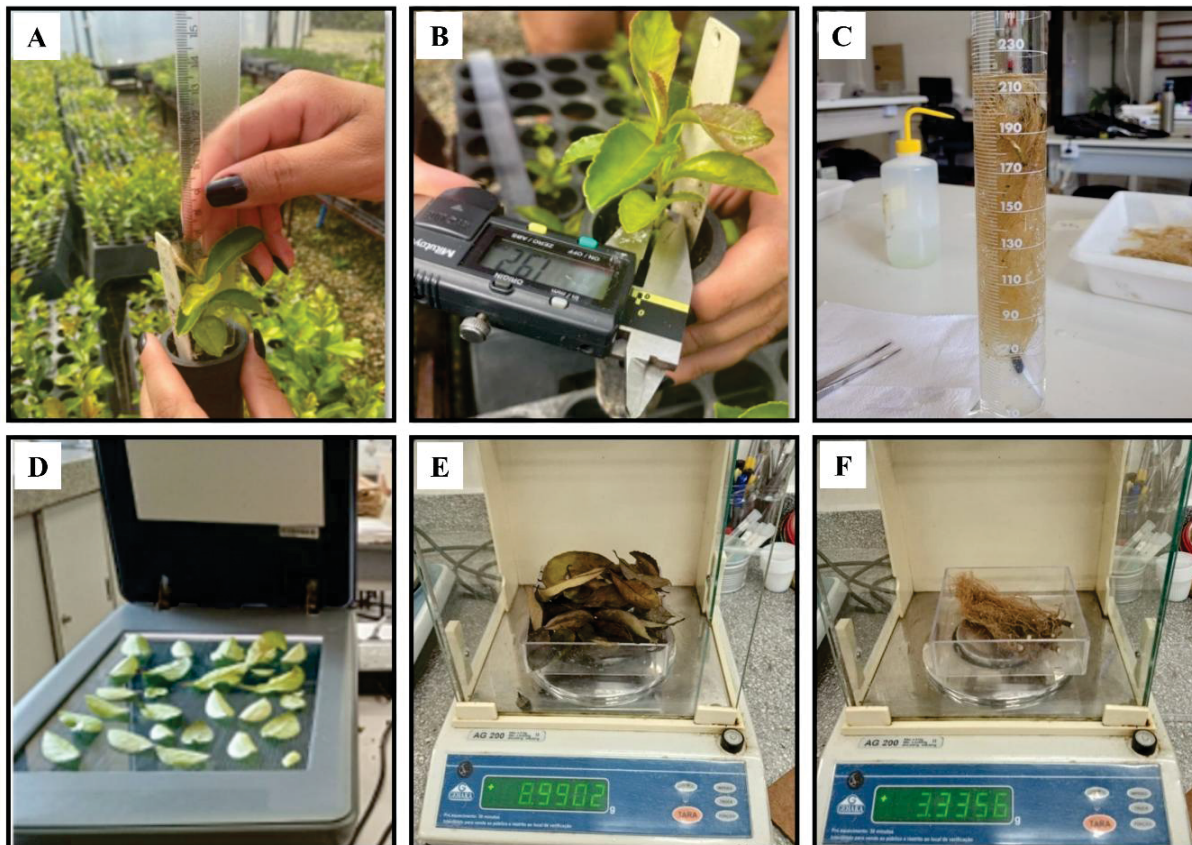


FONTE: A autora (2024).

3.2. PARÂMETROS MORFOLÓGICOS DAS MUDAS

Após 30 dias da instalação do experimento, determinou-se a altura (cm), com régua graduada (FIGURA 2A). Aos 60 dias iniciaram-se as mensurações do diâmetro do coleto com um paquímetro digital (mm) (FIGURA 2B), além das medições de altura que continuaram até os 180 dias. A partir destes dados foi calculada a relação entre altura e diâmetro do coleto (H/DC). Após 90 dias, as mudas foram espaçadas e passaram a ocupar 50% das bandejas, devido à sobreposição das folhas, evitando a competição entre elas.

FIGURA 2 – ANÁLISE DOS PARÂMETROS DE CRESCIMENTO DE *Ilex paraguariensis* A.St.-Hil. (A, B) MENSURAÇÃO DA ALTURA E DIÂMETRO DO COLETO COM RÉGUA E PAQUÍMETRO DIGITAL, RESPECTIVAMENTE; (C) DETERMINAÇÃO DO VOLUME RADICULAR POR DESLOCAMENTO DE ÁGUA EM PROVETA; (D) CAPTURA DE IMAGENS DAS FOLHAS EM SCANNER E (E, F) PESAGEM DA BIOMASSA SECA DE FOLHAS E RAÍZES EM BALANÇA DE PRECISÃO.



FONTE: A autora (2024).

Aos 150 dias realizou-se as avaliações dos parâmetros morfológicos das mudas. As porções aéreas (folhas e galhos) e radiculares foram consideradas separadamente, utilizando cinco plantas por repetição, de maneira aleatória. O substrato foi desagregado, e as raízes foram limpas em água corrente, conforme descrito a seguir:

- Volume de raízes (ml): adicionou-se um volume de água conhecido numa proveta de 350 ml, seguida da imersão das raízes de cinco plantas (FIGURA 2C), obtendo-se o deslocamento da água como volume final.
- Área foliar (cm²): as plantas tiveram as folhas extraídas, digitalizadas no scanner fotográfico (FIGURA 2D), de modelo scanjet G4050 – HP, e as imagens foram analisadas no software de edição de imagens digitais ImageJ[®]. Com base nessas imagens, também foram calculados a largura, o comprimento, a relação entre largura e comprimento, e a área foliar específica (AFE, cm²/g), obtida pela relação entre a área foliar e a biomassa seca aérea (AF/BSA).

- Biomassa seca (g): o material foi seco em estufa a 65°C com circulação de ar forçada até atingir peso constante. Após a secagem, foi mantido em um dessecador para evitar a absorção de umidade do ar e, em seguida, pesado em balança de precisão (0,0001g). Com esses dados, foram calculadas a massa seca aérea (BSA) (FIGURA 2E), radicular (BSR) (FIGURA 2F), total (BST) e a relação entre a biomassa seca aérea e radicular (BSA/BSR). Posterior à execução dessas análises foi calculado o Índice de Qualidade de Dickson (DICKSON; LEAF; HOSNER, 1960).

$$IQD = \frac{BST}{\frac{H}{DC} + \frac{BSA}{BSR}}(1)$$

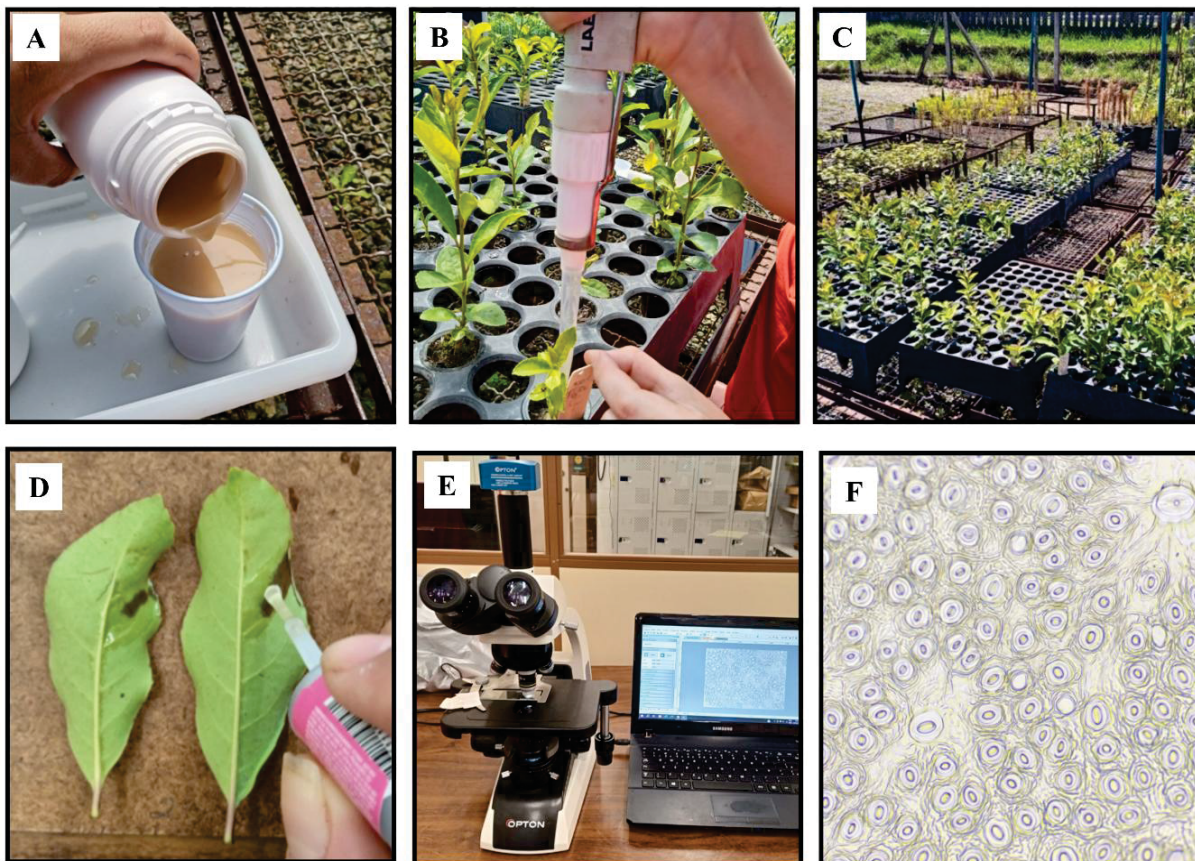
Onde: BST = biomassa seca total (g); H = altura (cm); DC = diâmetro de coleta (mm); BSA = biomassa seca aérea (g); BSR = biomassa seca radicular (g).

3.3. FASE DE REINOCULAÇÃO E RUSTIFICAÇÃO DAS MUDAS

Decorridos 150 dias, metade das plantas recebeu a adição de mais 1 ml do inoculante (FIGURA 3A), bem próximo ao coleto das mudas (FIGURA 3B), e a outra metade seguiu sem a adição do inoculante. Todas as plantas foram transferidas para o ambiente a pleno sol (FIGURA 3C) e permaneceram por 30 dias até o final do experimento.

A seguir, foram coletadas folhas completas e sem injúrias do terço superior da ramificação principal das mudas, para determinar a densidade estomática ($n \text{ mm}^{-2}$), utilizando o método de impressão da epiderme descrito por Grugiki *et al.* (2014, p. 421). O método consiste em aplicar uma camada de esmalte incolor na face abaxial da folha do lado direito (FIGURA 3D), remover a película formada, montar lâminas temporárias e realizar a visualização e contagem dos estômatos em microscópio OPTON (modelo TA-0120-B) (FIGURA 3D), com auxílio do software ImageJ® (FIGURA 3E).

FIGURA 3 – ETAPA FINAL DE REINOCULAÇÃO E RUSTIFICAÇÃO DAS MUDAS DE *Ilex paraguariensis* A.St.-Hil. (A) INOCULANTE COMERCIAL EM FORMA LÍQUIDA; (B) REINOCULAÇÃO DE *BACILLUS* spp. NAS MUDAS; (C) MUDAS TRANSFERIDAS PARA A ÁREA DE PLENO SOL; (D) CAMADA DE ESMALTE INCOLOR NA FACE FRONTAL ABAXIAL PARA FORMAÇÃO DE PELÍCULA E FIXAÇÃO DOS ESTÔMATOS; (E) MICROSCÓPIO UTILIZADO PARA VISUALIZAÇÃO E CONTAGEM DOS ESTÔMATOS, E (F) VISUALIZAÇÃO DOS ESTÔMATOS EM FOLHAS AO MICROSCÓPIO COM AUMENTO DE 10X.



FONTE: A autora (2024).

3.4. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISE ESTATÍSTICA

O primeiro experimento, avaliado aos 150 dias, correspondeu a um delineamento inteiramente casualizado com quatro tratamentos e oito repetições de 25 plantas cada. Aos 180 dias, na fase de rustificação, constitui-se um delineamento em esquema fatorial 4 x 2 (doses de fertilizante x duas inoculações), com quatro repetições de 25 plantas cada. A análise de densidade estomática utilizou-se duas folhas por planta e uma planta de cada repetição, totalizando quatro plantas e oito folhas por tratamento.

Para todas as variáveis analisadas foram realizados os testes de normalidade de Shapiro-Wilk e homoscedasticidade de Bartlett, com significância de 5% de probabilidade de erro. Atingidos os pressupostos, os dados seguiram para a Análise de Variância (ANOVA) e teste de Tukey a 5 % de probabilidade. As variáveis que não atenderam aos pressupostos (p -valor $\geq 0,05$), como, altura, biomassa seca de raiz, biomassa seca total, índice de qualidade de

Dickson, volume de raiz, área foliar específica, largura, comprimento, relação largura/comprimento e densidade estomática, aplicou-se a análise através de Modelos Lineares Generalizados (GLM), utilizando a família de distribuição Gaussiana, a função de ligação log e a interpretação do modelo pelo valor de AKAIK (AIC). Em seguida, foi aplicada a Análise de Deviance (ANADEVI), teste de média de Tukey a 5% de probabilidade de erro e contrastes ortogonais a aquelas que apresentaram interação entre os fatores, como altura e diâmetro do coleto. Os dados foram analisados com auxílio do software R v.4.3.2 (R CORE TEAM, 2024).

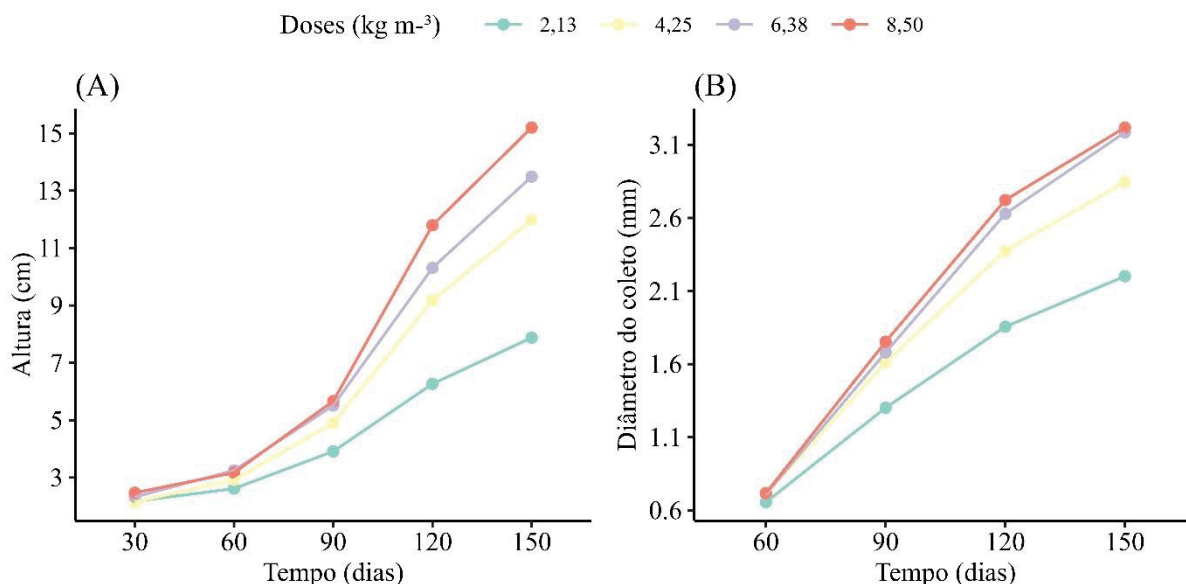
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. PARÂMETROS MORFOLÓGICOS DAS MUDAS

4.1.1. Altura e diâmetro

As mudas de *I. paraguariensis* mostraram crescimento em altura ao longo do tempo em todas as doses testadas, com destaque para a dose 4 aos 120 dias. No entanto, a dose 1 apresentou resultados inferiores em relação às demais até o final dos 150 dias (FIGURA 4A).

FIGURA 4 - CRESCIMENTO EM ALTURA (A) E DIÂMETRO DO COLETO (B) DE MUDAS DE *Ilex paraguariensis* A.St.-Hil. SUBMETIDAS A DIFERENTES DOSES DE FERTILIZANTE DE LIBERAÇÃO CONTROLADA E INOCULAÇÃO *Bacillus* spp., AOS 150 DIAS.



FONTE: A autora (2024).

O diâmetro do coleto (FIGURA 4B) apresentou um comportamento semelhante ao da altura até os 90 dias, aumentando conforme a maior disponibilidade de nutrientes. No entanto, as doses 6,38 kg m⁻³ e 8,50 kg m⁻³ e mostraram crescimento muito similar ao longo de toda a avaliação, enquanto a dose inicial (2,13 kg m⁻³) permaneceu inferior. O desempenho das mudas com doses mais elevadas de fertilizante, especialmente a dose 3, sugere que a inoculação de 1 ml de *B. subtilis* e *B. megaterium* contribuiu para o aumento do diâmetro do coleto. Esse crescimento indica que a ação das bactérias possivelmente "compensou" a redução de fertilizante.

A Tabela 1 apresenta a Análise de Variância das variáveis significativas ($p \leq 0,05$), incluindo altura, diâmetro do coleto, relação altura/diâmetro, biomassa seca aérea, biomassa seca radicular, biomassa seca total, índice de qualidade de Dickson e volume da raiz. No

entanto, não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos para a relação entre biomassa seca da parte aérea e da raiz, assim como para todos os parâmetros morfológicos das folhas, tais como área foliar, área foliar específica, largura, comprimento e relação largura/comprimento.

TABELA 1 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA ALTURA, DIÂMETRO DO COLETO, RELAÇÃO ALTURA E DIÂMETRO DE COLETO, BIOMASSA SECA AÉREA, BIOMASSA SECA RADICULAR, BIOMASSA SECA TOTAL, RELAÇÃO DA BIOMASSA SECA AÉREA E RADICULAR, ÍNDICE DE QUALIDADE DE DICKSON (IQD), VOLUME DE RAÍZ, ÁREA FOLIAR (AF), ÁREA FOLIAR ESPECÍFICA, LARGURA FOLIAR, COMPRIMENTO FOLIAR E RELAÇÃO DA LARGURA E COMPRIMENTO FOLIAR DE MUDAS DE *Ilex paraguariensis* A.St.-Hil. SUBMETIDAS A DIFERENTES DOSES DE FERTILIZANTE DE LIBERAÇÃO CONTROLADA E INOCULAÇÃO DE *Bacillus* spp., AOS 150 DIAS.

Altura (cm)					
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	FC	P-valor
Fertilizante	3	4789,90	1596,65	79,16	0,00***
Resíduo	637	12848,50	20,17		
Total	640	17638,50			
CV (%)	37,37				
Diâmetro do coleto (mm)					
Fertilizante	3	98,50	32,82	49,23	0,00***
Resíduo	637	424,70	0,67		
Total	640	523,15			
CV (%)	28,04				
Relação altura/diâmetro					
Fertilizante	3	6,28	2,09	6,04	0,00**
Resíduo	25	8,66	0,35		
Total	28	14,94			
CV (%)	14,68				
Biomassa seca aérea (g)					
Fertilizante	3	20,05	6,68	5,75	0,00**
Resíduo	25	29,03	1,16		
Total	28	49,08			
CV (%)	29,76				
Biomassa seca radicular (g)					
Fertilizante	3	1,65	0,55	4,97	0,00**
Resíduo	25	2,77	0,11		
Total	28	4,43			
CV (%)	27,52				
Biomassa seca total (g)					
Fertilizante	3	41,81	13,93	6,13	0,00**
Resíduo	25	56,81	2,27		
Total	28	98,62			
CV (%)	28,24				
Relação biomassa seca aérea/radicular (g)					
Fertilizante	3	1,35	0,45	2,52	0,08 ^{ns}
Resíduo	25	4,45	0,18		
Total	28	5,80			
CV (%)	14,21				
Índice de qualidade de Dickson					
Fertilizante	3	3,41	1,14	3,98	0,01*
Resíduo	25	7,15	0,29		
Total	28	10,57			
CV (%)	12,45				

Continua...

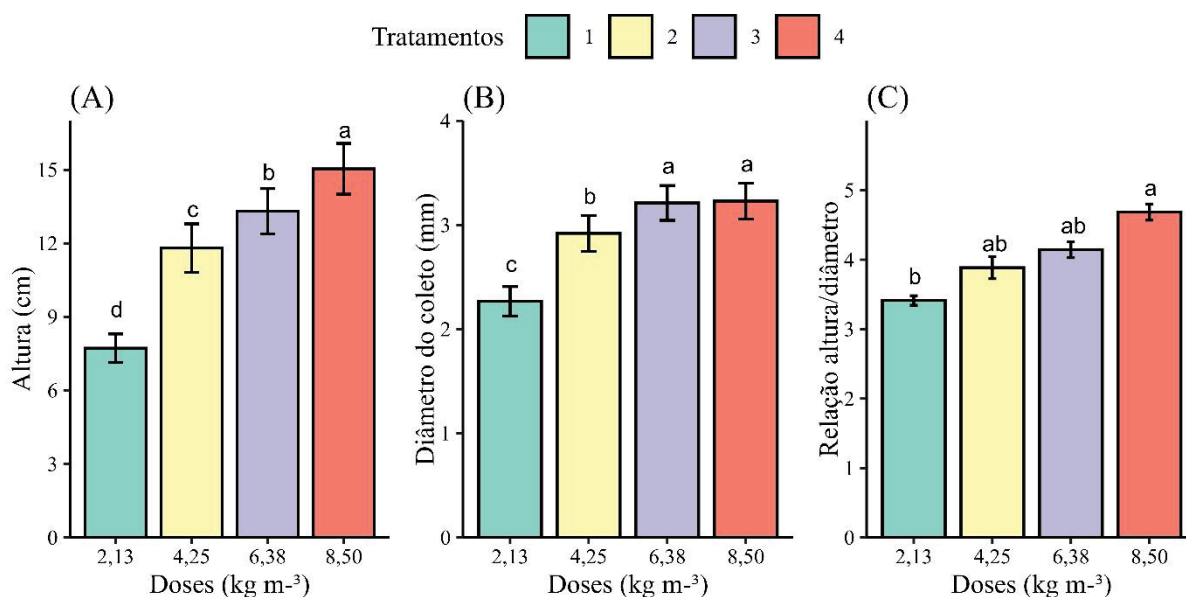
Volume de raiz (ml)					
Fertilizante	3	198,02	66,01	6,46	0,00**
Resíduo	25	255,43	10,21		
Total	28	453,45			
CV (%)	44,78				
Área foliar (cm²)					
Fertilizante	3	63,41	21,13	2,01	0,13 ^{ns}
Resíduo	25	262,73	10,50		
Total	28	326,14			
CV (%)	32,99				
Área foliar específica (cm² g⁻¹)					
Fertilizante	3	3,97	1,32	2,34	0,09 ^{ns}
Resíduo	25	14,16	0,56		
Total	28	18,13			
CV (%)	26,62				
Largura (cm)					
Fertilizante	3	1,28	0,42	1,05	0,38 ^{ns}
Resíduo	25	10,16	0,40		
Total	28	11,44			
CV (%)	34,24				
Comprimento (cm)					
Fertilizante	3	3,52	1,17	1,23	0,31 ^{ns}
Resíduo	25	23,78	0,95		
Total	28	27,31			
CV (%)	25,95				
Relação largura/comprimento (cm)					
Fertilizante	3	0,01	0,00	1,48	0,24 ^{ns}
Resíduo	25	0,06	0,00		
Total	28	0,07			
CV (%)	9,96				

ns, não significativo; *, **, *** p-valor $\leq 0,05$ significativo; GL, graus de liberdade; CV, coeficiente de variação; FC, F calculado.

FONTE: A autora (2024).

Aos 150 dias de avaliação, dosagem máxima de $8,5 \text{ kg m}^{-3}$, combinada à inoculação das bactérias, resultou no maior crescimento em altura da parte aérea das mudas de *I. paraguariensis*, com uma média de 15,04 cm (FIGURA 5A), diferindo significativamente das demais. Esses resultados corroboram as observações de Cunha *et al.* (2023, p. 1953), que relataram uma redução acentuada no crescimento das mudas de *Astronium graveolens*, *Cordia trichotoma* e *Leucaena leucocephala* quando os níveis de NPK foram omitidos, afetando negativamente o desempenho das características fenotípicas e as funções metabólicas fundamentais das plantas.

FIGURA 5 – COMPARAÇÃO DE MÉDIAS PARA ALTURA (A), DIÂMETRO DO COLETO (B) E RELAÇÃO ALTURA/DIÂMETRO (C) DE MUDAS DE *Ilex paraguariensis* A.St.-Hil. SUBMETIDAS A DIFERENTES DOSES DE FERTILIZANTE DE LIBERAÇÃO CONTROLADA E INOCULAÇÃO DE *Bacillus* spp., AOS 150 DIAS. BARRAS VERTICAIS REPRESENTAM O DESVIO PADRÃO.



FONTE: A autora (2024).

Na Figura 5B, observa-se a influência do inoculante comercial no diâmetro do coleto, com os tratamentos 3 (6,38 kg m³) e 4 (8,5 kg m³) apresentando resultados estatisticamente iguais entre si e superiores aos demais tratamentos, com valores médios de 3,21 mm e 3,22 mm, respectivamente. De acordo com Ceconi *et al.* (2007, p. 28) o diâmetro do coleto está diretamente relacionado ao desenvolvimento do sistema radicular e ao crescimento em altura das mudas, como visto nos resultados deste estudo.

A aplicação de 1 ml do inoculante pode diminuir a utilização de fertilizantes de liberação controlada, favorecer o crescimento das mudas de *I. paraguariensis* e, assim, reduzir tanto os custos quanto os impactos ambientais associados à adubação mineral. Por exemplo, Santos (2023, p. 72), produziu mudas de *Hevea brasiliensis* e *Bertholletia excelsa* apenas com a inoculação de *B. velezensis* e *Lysinibasillus xylaniticus*, e em 120 dias, ambas as espécies apresentaram maiores taxas de crescimento em altura e diâmetro em comparação ao tratamento controle.

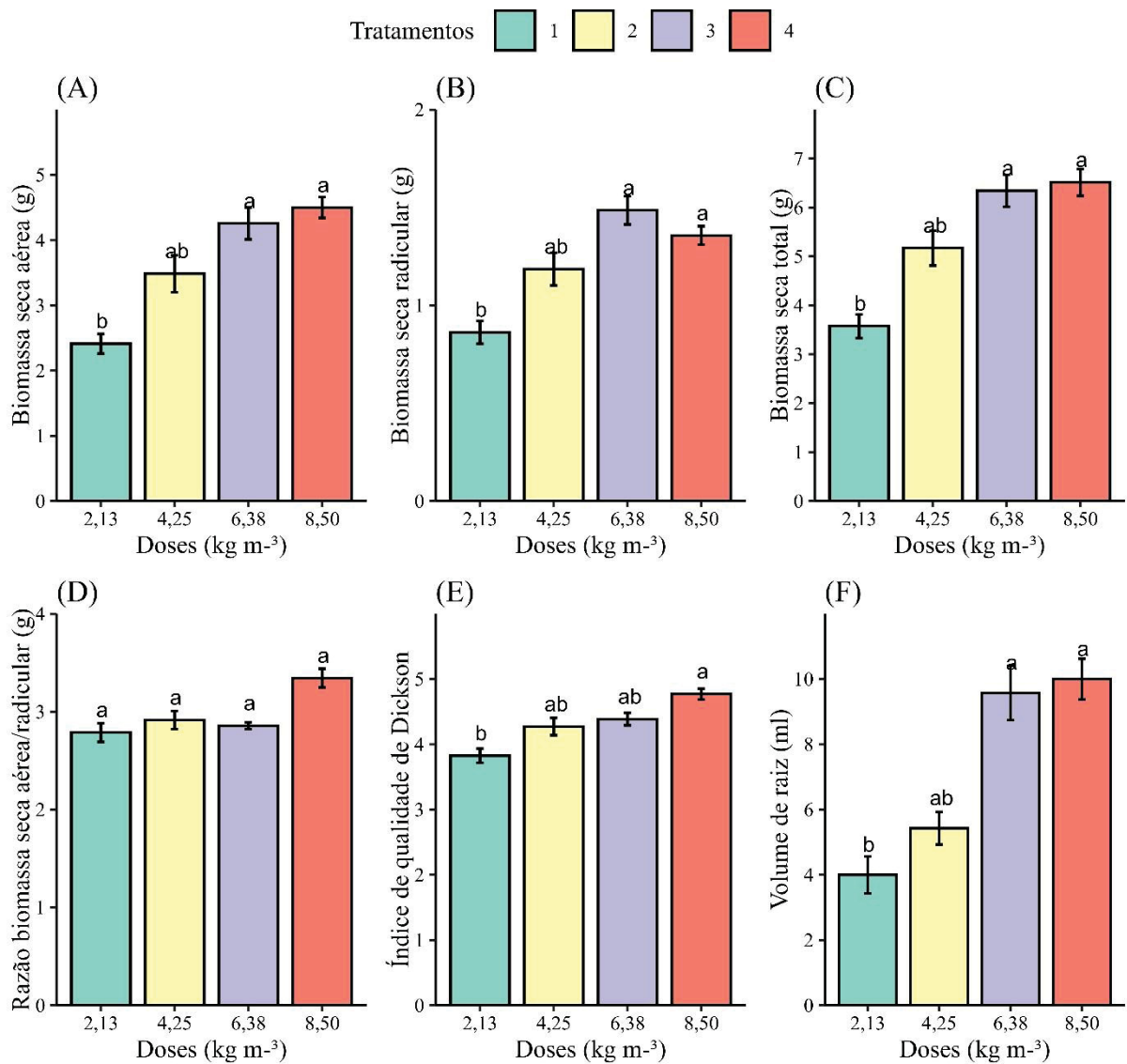
A relação entre a altura e o diâmetro do coleto (H/DC) mostra que o tratamento 4 (4,69) foi superior aos demais, mas também igual aos índices dos tratamentos 3 (4,14) e 2 (3,89), reflexos do aumento das doses de fertilizante associado à 1 ml do inoculante comercial (FIGURA 5C). Segundo Haad (2008, p. 25), este índice reflete a robustez das mudas em campo, pois valores menores indicam uma maior probabilidade de adaptação e sobrevivência após o

plantio, enquanto mudas com proporções maiores estão mais vulneráveis a danos causados pelo vento, seca e geada.

4.1.2. Biomassa seca

Houve diferença significativa nas variáveis biomassa seca aérea, biomassa seca radicular, biomassa seca total, índice de qualidade de Dickson e volume de raiz entre os tratamentos avaliados, com os tratamentos 3 e 4 se destacando, embora não tenham diferido do tratamento 2 (FIGURA 6).

FIGURA 6 – BIOMASSA SECA AÉREA (A), BIOMASSA SECA DA RAIZ (B), BIOMASSA SECA TOTAL (C), RELAÇÃO BIOMASSA SECA AÉREA/BIOMASSA DA RAIZ (D), ÍNDICE DE QUALIDADE DE DICKSON (E) E VOLUME DAS RAÍZES (F) DE MUDAS DE *Ilex paraguariensis* A. St.-Hil. SUBMETIDAS A DIFERENTES DOSES DE FERTILIZANTE DE LIBERAÇÃO CONTROLADA E INOCULAÇÃO DE *Bacillus* spp., AOS 150 DIAS. BARRAS VERTICAIS REPRESENTAM O DESVIO PADRÃO.



FONTE: A autora (2024).

Os resultados deste estudo sugerem que, sob condições de limitação nutricional, a atividade das bactérias promotoras de crescimento pode potencializar os benefícios da adubação mineral na produção de mudas. Ribeiro *et al.* (2018, p. 41) afirmam que as BPCP podem mitigar estresses abióticos e bióticos em plantas, e possuem efeito antagônico com microrganismos fitopatogênicos. Os achados deste trabalho corroboram os de Lima *et al.* (2021, p. 06) e Abreu *et al.* (2021, p. 112961 e 112965), que fornecem evidências relevantes sobre o impacto das bactérias na estrutura das raízes e no acúmulo de nutrientes. Conforme demonstrado em pesquisas anteriores, esta manifesta que a aplicação de inoculantes em conjunto com doses adequadas de fertilizantes pode promover um crescimento mais robusto das mudas, beneficiando-se da interação positiva entre plantas e bactérias.

Embora a relação entre a biomassa seca aérea e a biomassa seca da raiz (BSA/BSR) (FIGURA 6D) não tenha apresentado diferença significativa entre os tratamentos aplicados, esse é um parâmetro comumente utilizado para avaliar a estabilidade de mudas florestais. Ele indica o potencial de tombamento, que pode ocorrer quando o sistema radicular é pouco desenvolvido em relação a uma parte aérea proeminente (FERRAZ; ENGEL, 2011, p. 420), em que valores baixos dessa relação revelam uma maior biomassa seca das raízes (LIN; WU; CHANG, 2019, p. 172).

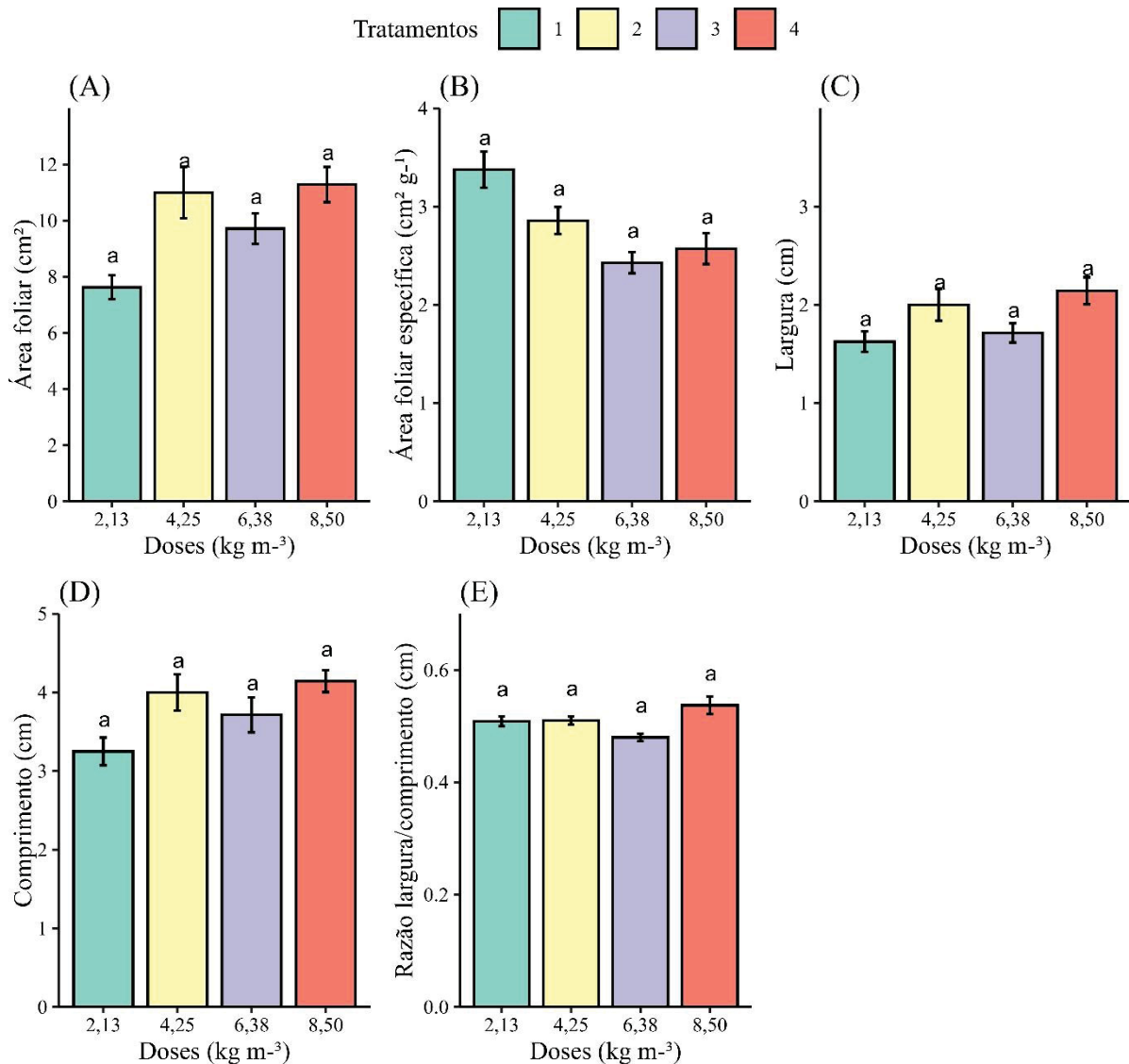
Quanto ao Índice de qualidade de Dickson (FIGURA 6E), o tratamento 4 apresentou a maior média (4,77), muito similar aos resultados da relação H/DC. No entanto, não houve diferença estatística significativa em relação aos tratamentos 3 (4,38) e 2 (4,26). Esse índice tem uma relação positiva com o DC e a MSPA, e valores mais altos indicam melhor qualidade das mudas (NAVROSKI *et al.*, 2016, p. 1163). Kondo (2022, p. 30) testou este mesmo inoculante à base de *B. subtilis* e *B. megaterium* em mudas de *Araucaria angustifolia* e o IQD também não apresentou diferença significativa em resposta aos tratamentos avaliados.

4.1.3. Folhas

A área foliar, a área foliar específica, a largura, o comprimento e a relação largura/comprimento não mostraram resposta significativa aos tratamentos (FIGURA 7). Embora essas variáveis não tenham apresentado diferenças significativas, é fundamental identificar as variáveis mais representativas para o desenvolvimento das mudas. Essa evidência é fornecida por um estudo de Ceconi *et al.* (2007, p. 30), que investigou doses crescentes de fósforo em mudas de *I. paraguariensis* e constatou que as plantas atingiram seu máximo crescimento em diferentes doses para cada variável analisada. Eloy *et al.* (2013, p. 379), ao estudarem a correlação de variáveis morfológicas na produção de mudas de *Eucalyptus grandis*,

observaram que a área foliar mostrou, na maioria das relações, baixas estimativas do coeficiente de correlação. Eles também argumentam que utilizar essa variável como indicador da qualidade das mudas é arriscado, pois exige tempo, tornando-se uma prática inviável.

FIGURA 7 – ÁREA FOLIAR (A), ÁREA FOLIAR ESPECÍFICA (B), LARGURA DA FOLHA (C) COMPRIMENTO DA FOLHA (D) E RELAÇÃO LARGURA/COMPRIMENTO (E) DE MUDAS DE *Ilex paraguariensis* A.St.-Hil. SUBMETIDAS A DIFERENTES DOSES DE FERTILIZANTE DE LIBERAÇÃO CONTROLADA E INOCULAÇÃO DE *Bacillus* spp., AOS 150 DIAS. BARRAS VERTICAIS REPRESENTAM O DESVIO PADRÃO.



FONTE: A autora (2024).

4.2. REINOCULAÇÃO E RUSTIFICAÇÃO DAS MUDAS

4.2.1. Altura e diâmetro

A Análise de Variância mostrou que apenas a altura (H) e o diâmetro do coleto (DC) apresentaram interação entre os fatores doses de fertilizante e número de inoculação, enquanto

os parâmetros de biomassa seca e folhas obtiveram efeito significativo somente para o fator fertilizante (TABELA 2).

TABELA 2 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA ALTURA, DIÂMETRO DO COLETO, RELAÇÃO ENTRE ALTURA E DIÂMETRO DE COLETO, BIOMASSA SECA DA AÉREA, BIOMASSA SECA RADICULAR, BIOMASSA SECA TOTAL, RELAÇÃO DA BIOMASSA SECA AÉREA E RADICULAR, ÍNDICE DE QUALIDADE DE DICKSON, VOLUME DE RAÍZ, ÁREA FOLIAR, ÁREA FOLIAR ESPECÍFICA, LARGURA FOLIAR, COMPRIMENTO FOLIAR E RELAÇÃO DA LARGURA E COMPRIMENTO FOLIAR DE MUDAS DE *Ilex paraguariensis* A.St.-Hil. SUBMETIDAS A DIFERENTES DOSES DE FERTILIZANTE DE LIBERAÇÃO CONTROLADA E INOCULAÇÃO DE *Bacillus* spp., AOS 180 DIAS.

Altura (cm)					
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	FC	P-valor
Inoculante	1	29,03	29,03	1,35	0,24 ^{ns}
Fertilizante	3	5763,70	1921,24	89,73	0,00 ^{***}
Inoculante x fertilizante	3	703,90	234,63	10,95	0,00 ^{***}
Resíduo	477	10212,90	21,41		
Total	484	16709,60			
CV (%)	34,35				
Diâmetro do coleto (mm)					
Inoculante	1	0,41	0,41	0,49	0,48 ^{ns}
Fertilizante	3	130,64	43,55	52,64	0,00 ^{***}
Inoculante x fertilizante	3	17,51	5,84	7,05	0,00 ^{***}
Resíduo	477	394,56	0,83		
Total	484	543,12			
CV (%)	28,61				
Relação altura/diâmetro					
Inoculante	1	0,04	0,04	0,30	0,58 ^{ns}
Fertilizante	3	6,69	2,23	15,86	0,00 ^{***}
Inoculante x fertilizante	3	0,61	0,20	1,46	0,25 ^{ns}
Resíduo	21	2,95	0,14		
Total	28	10,30			
CV (%)	9,22				
Biomassa seca aérea (g)					
Inoculante	1	1,83	1,83	0,25	0,61 ^{ns}
Fertilizante	3	204,11	68,04	9,48	0,00 ^{***}
Inoculante x fertilizante	3	18,28	6,09	0,84	0,48 ^{ns}
Resíduo	21	150,70	7,18		
Total	28	374,91			
CV (%)	34,28				
Biomassa seca radicular (g)					
Inoculante	1	0,01	0,01	0,04	0,83 ^{ns}
Fertilizante	3	11,9	3,97	9,65	0,00 ^{***}
Inoculante x fertilizante	3	1,57	0,52	1,27	0,30 ^{ns}
Resíduo	21	8,65	0,41		
Total	28	22,18			
CV (%)	27,73				
Biomassa seca total (g)					
Inoculante	1	4,92	4,92	0,26	0,61 ^{ns}
Fertilizante	3	427,03	142,34	7,68	0,00 ^{**}
Inoculante x fertilizante	3	37,49	12,50	0,67	0,57 ^{ns}
Resíduo	21	388,78	18,51		
Total	28				
CV (%)	37,65				

Continua...

Relação biomassa seca área/radicular (g)					
Inoculante	1	0,21	0,21	0,80	0,38 ^{ns}
Fertilizante	3	2,13	0,71	2,68	0,07 ^{ns}
Inoculante x fertilizante	3	0,26	0,08	0,33	0,80 ^{ns}
Resíduo	21	5,54	0,26		
Total	28				
CV (%)	15,47				
Índice de qualidade de Dickson					
Inoculante	1	1,42	1,42	0,91	0,35 ^{ns}
Fertilizante	3	20,52	6,83	4,38	0,01 [*]
Inoculante x fertilizante	3	1,51	0,50	0,32	0,80 ^{ns}
Resíduo	21	32,72	1,55		
Total	28				
CV (%)	20,59				
Volume de raiz (ml)					
Inoculante	1	0,13	0,13	0,00	0,93 ^{ns}
Fertilizante	3	556,8	185,60	8,76	0,00 ^{***}
Inoculante x fertilizante	3	32,4	10,81	0,51	0,67 ^{ns}
Resíduo	21	444,8	21,18		
Total	28				
CV (%)	32,16				
Área foliar (cm²)					
Inoculante	1	3,87	3,87	0,49	0,49 ^{ns}
Fertilizante	3	120,83	40,28	5,12	0,00 ^{**}
Inoculante x fertilizante	3	21,89	7,30	0,92	0,44 ^{ns}
Resíduo	21	165,04	7,86		
Total	28	311,63			
CV (%)	20,8				
Área foliar específica (cm² g⁻¹)					
Inoculante	1	0,62	0,62	0,21	0,64 ^{ns}
Fertilizante	3	5,98	1,99	7,02	0,00 ^{**}
Inoculante x fertilizante	3	0,37	0,12	0,44	0,72 ^{ns}
Resíduo	21	5,96	0,28		
Total	28	12,38			
CV (%)	26,78				
Largura (cm)					
Inoculante	1	0,01	0,01	0,18	0,67 ^{ns}
Fertilizante	3	1,82	0,60	5,83	0,00 ^{**}
Inoculante x fertilizante	3	0,21	0,07	0,70	0,56 ^{ns}
Resíduo	21	2,18	0,10		
Total	28	4,24			
CV (%)	11,20				
Comprimento (cm)					
Inoculante	1	0,51	0,51	1,29	0,26 ^{ns}
Fertilizante	3	7,51	2,50	6,02	0,00 ^{**}
Inoculante x fertilizante	3	1,00	0,33	0,83	0,48 ^{ns}
Resíduo	21	8,37	0,39		
Total	28	17,41			
CV (%)	12,75				
Relação largura/comprimento (cm)					
Inoculante	1	0,00	0,00	1,69	0,207 ^{ns}
Fertilizante	3	0,00	0,00	0,97	0,423 ^{ns}
Inoculante x fertilizante	3	0,00	0,00	1,29	0,303 ^{ns}
Resíduo	21	0,01	0,00		
Total	28	0,02			
CV (%)	7,61				

Continua...

Densidade estomática (ne mm ²)					
Inoculante	1	15756	15756	0,68	0,41 ^{ns}
Fertilizante	3	66123	22041	0,95	0,43 ^{ns}
Inoculante x fertilizante	3	157485	52495	2,27	0,10 ^{ns}
Resíduo	21	484073	23051		
Total	28	723437			
CV (%)		24,24			

ns, não significativo; *, **, *** p-valor $\leq 0,05$ significativo; GL, graus de liberdade; CV, coeficiente de variação; FC, F calculado.

FONTE: A autora (2024).

Considerando a interação entre as doses de fertilizante e o número de inoculação, a altura das mudas de *I. paraguariensis* apresentaram melhores resultados nas doses 3 (6,38 kg m⁻³) e 4 (8,50 kg m⁻³), quando submetidas a apenas uma inoculação (inoculação 1), sem diferença significativa entre elas ($p = 0,9403$) (Tabela 3), alcançando alturas médias de 16,9 cm e 17,9 cm, respectivamente (FIGURA 8A). A reinoculação foi irrelevante na dose 4 (8,50 kg m⁻³), indicando que uma única aplicação do inoculante é suficiente ($p = 0,6999$). Esses resultados destacam o efeito positivo do inoculante nas mudas e sugerem que doses menores também podem promover o crescimento satisfatório das plantas.

TABELA 3 – ANÁLISE DE CONTRASTES ORTOGONAL DA ALTURA E DIÂMETRO DO COLETO DE MUDAS DE *Ilex paraguariensis* A.St.-Hil. SUBMETIDAS A DIFERENTES DOSES DE FERTILIZANTE DE LIBERAÇÃO CONTROLADA E INOCULAÇÃO DE *Bacillus* spp., AOS 180 DIAS.

Altura (cm)		Diâmetro do coleto (mm)	
Contrastes	P-valor	Contrastes	P-valor
inoculação1 dose1 - inoculação2 dose1	0,0311	inoculação1 dose1 - inoculação2 dose1	0,0187
inoculação1 dose1 - inoculação1 dose2	<.0001	inoculação1 dose1 - inoculação1 dose2	<.0001
inoculação1 dose1 - inoculação2 dose2	<.0001	inoculação1 dose1 - inoculação2 dose2	<.0001
inoculação1 dose1 - inoculação1 dose3	<.0001	inoculação1 dose1 - inoculação1 dose3	<.0001
inoculação1 dose1 - inoculação2 dose3	<.0001	inoculação1 dose1 - inoculação2 dose3	<.0001
inoculação1 dose1 - inoculação1 dose4	<.0001	inoculação1 dose1 - inoculação1 dose4	<.0001
inoculação1 dose1 - inoculação2 dose4	<.0001	inoculação1 dose1 - inoculação2 dose4	<.0001
inoculação2 dose1 - inoculação1 dose2	0,0171	inoculação2 dose1 - inoculação1 dose2	0,0033
inoculação2 dose1 - inoculação2 dose2	<.0001	inoculação2 dose1 - inoculação2 dose2	0,0357
inoculação2 dose1 - inoculação1 dose3	<.0001	inoculação2 dose1 - inoculação1 dose3	<.0001
inoculação2 dose1 - inoculação2 dose3	0,0002	inoculação2 dose1 - inoculação2 dose3	0,0047
inoculação2 dose1 - inoculação1 dose4	<.0001	inoculação2 dose1 - inoculação1 dose4	<.0001
inoculação2 dose1 - inoculação2 dose4	<.0001	inoculação2 dose1 - inoculação2 dose4	<.0001
inoculação1 dose2 - inoculação2 dose2	0,6156	inoculação1 dose2 - inoculação2 dose2	0,9993
inoculação1 dose2 - inoculação1 dose3	<.0001	inoculação1 dose2 - inoculação1 dose3	0,0421
inoculação1 dose2 - inoculação2 dose3	0,9126	inoculação1 dose2 - inoculação2 dose3	1,0000
inoculação1 dose2 - inoculação1 dose4	<.0001	inoculação1 dose2 - inoculação1 dose4	0,1651
inoculação1 dose2 - inoculação2 dose4	0,0002	inoculação1 dose2 - inoculação2 dose4	0,3308
inoculação2 dose2 - inoculação1 dose3	0,0236	inoculação2 dose2 - inoculação1 dose3	0,0133
inoculação2 dose2 - inoculação2 dose3	0,9993	inoculação2 dose2 - inoculação2 dose3	0,9995
inoculação2 dose2 - inoculação1 dose4	0,0003	inoculação2 dose2 - inoculação1 dose4	0,0586
inoculação2 dose2 - inoculação2 dose4	0,1339	inoculação2 dose2 - inoculação2 dose4	0,1407
inoculação1 dose3 - inoculação2 dose3	0,0026	inoculação1 dose3 - inoculação2 dose3	0,0557
inoculação1 dose3 - inoculação1 dose4	0,9403	inoculação1 dose3 - inoculação1 dose4	0,9971
inoculação1 dose3 - inoculação2 dose4	0,9994	inoculação1 dose3 - inoculação2 dose4	0,9956
inoculação2 dose3 - inoculação1 dose4	<.0001	inoculação2 dose3 - inoculação1 dose4	0,1993
inoculação2 dose3 - inoculação2 dose4	0,0255	inoculação2 dose3 - inoculação2 dose4	0,3669
inoculação1 dose4 - inoculação2 dose4	0,6999	inoculação1 dose4 - inoculação2 dose4	1,0000

p-valor $\leq 0,05$ significativo

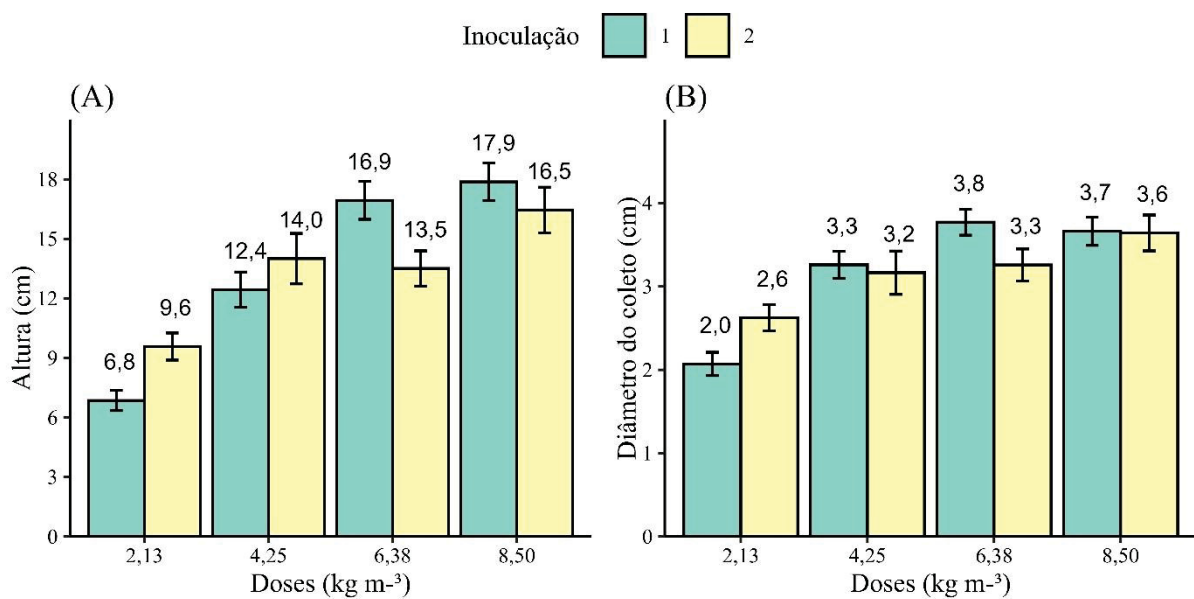
FONTE: A autora (2024).

Os resultados deste estudo corroboram com as observações de Trujillo-Elisea *et al.* (2022, p. 08), e destacam que, ao longo do tempo, uma alta quantidade de unidades formadoras de colônias (UFC) é perdida ou substituída por outras populações microbianas do ambiente. Eles afirmam que não é o tamanho da população que influencia as plantas, mas a estreita relação entre bactérias e plantas hospedeiras. No experimento com mudas de *Swietenia macrophylla* e inoculantes do gênero *Bacillus* spp., observaram que uma baixa abundância de bactérias foi suficiente para induzir sutis mudanças fenotípicas nas plantas em comparação à testemunha. Este achado é consistente com os resultados obtidos no presente estudo, onde a altura das mudas de *I. paraguariensis* foi indiferente a reaplicação do inoculante.

A respeito do diâmetro do coleto, as mudas produzidas com a menor dosagem de fertilizante de liberação controlada (dose 1) e com as duas inoculações (1 e 2) foram significativamente diferentes das demais combinações (Tabela 3), como observado para a altura. A dose 3 (6,38 kg m⁻³) com uma inoculação foi significativamente igual a dose 4 (8,50

kg m⁻³), também com a inoculação de bactérias ($p = 0,9971$). Para a dose 4 (8,50 kg m⁻³), a reinoculação apresentou o mesmo comportamento para a altura, sendo desnecessária a sua aplicação, pois não foi significativa ($p = 1,0000$). Esses resultados demonstram que a redução da adubação, aliada ao uso de bactérias, promoveu aumento no diâmetro do coleto das mudas de *I. paraguariensis*, resultando em diâmetro médio de 3,8 mm com uma única inoculação (FIGURA 8B).

FIGURA 8 – MÉDIAS DE ALTURA (A) E DIÂMETRO DO COLETO (B) DAS MUDAS DE *Ilex paraguariensis* A.St.-Hil. SUBMETIDAS A DIFERENTES DOSES DE FERTILIZANTE DE LIBERAÇÃO CONTROLADA E INOCULAÇÃO DE *Bacillus* spp., AOS 180 DIAS. BARRAS VERTICAIS REPRESENTAM O ERRO PADRÃO.

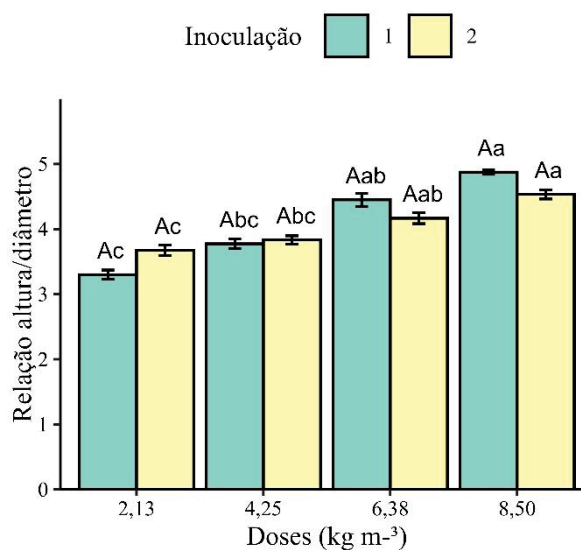


FONTE: A autora (2024).

Diferente desta pesquisa, Santos *et al.* (2018, p. 04), não observaram o efeito da inoculação de *B. subtilis* no diâmetro do coleto em seu estudo, mas relataram que pequenas concentrações contribuíram para o estímulo ao crescimento das plantas em biomassa seca aérea (67%) e biomassa seca da raiz (33%). De acordo com os resultados de Brandão Junior e Hungria (2000, p. 530), a resposta das bactérias pode variar com as doses e as espécies testadas. Portanto, estes resultados demonstram que, para o diâmetro do coleto, a dose 3 aliada à aplicação de 1 ml do inoculante foi efetiva na produção de mudas de *I. paraguariensis*. Estudos mostram que, em espécies florestais, o diâmetro é um bom preditor das taxas de sobrevivência das mudas após o plantio (LANDIS *et al.*, 2010, p. 21).

Os valores médios da relação entre altura e diâmetro (H/DC) mostraram que a dose 3 (3,45 e 4,17) foi estatisticamente igual à dose 4 (4,88 e 4,53) nas duas inoculações de *B. subtilis* e *B. megaterium*, respectivamente (FIGURA 9).

FIGURA 9 – A RELAÇÃO ENTRE A ALTURA E DIÂMETRO DO COLETO DE MUDAS DE *Ilex paraguariensis* A.St.–HiI. SUBMETIDAS A DIFERENTES DOSES DE FERTILIZANTE DE LIBERAÇÃO CONTROLADA E INOCULAÇÃO DE *Bacillus* spp., AOS 180 DIAS.



FONTE: A autora (2024).

Barras verticais representam o erro padrão. Letras minúsculas iguais não diferem para fertilizante dentro de cada dose; e letras maiúsculas iguais não mostram diferenças significativas entre si para períodos do inoculante pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

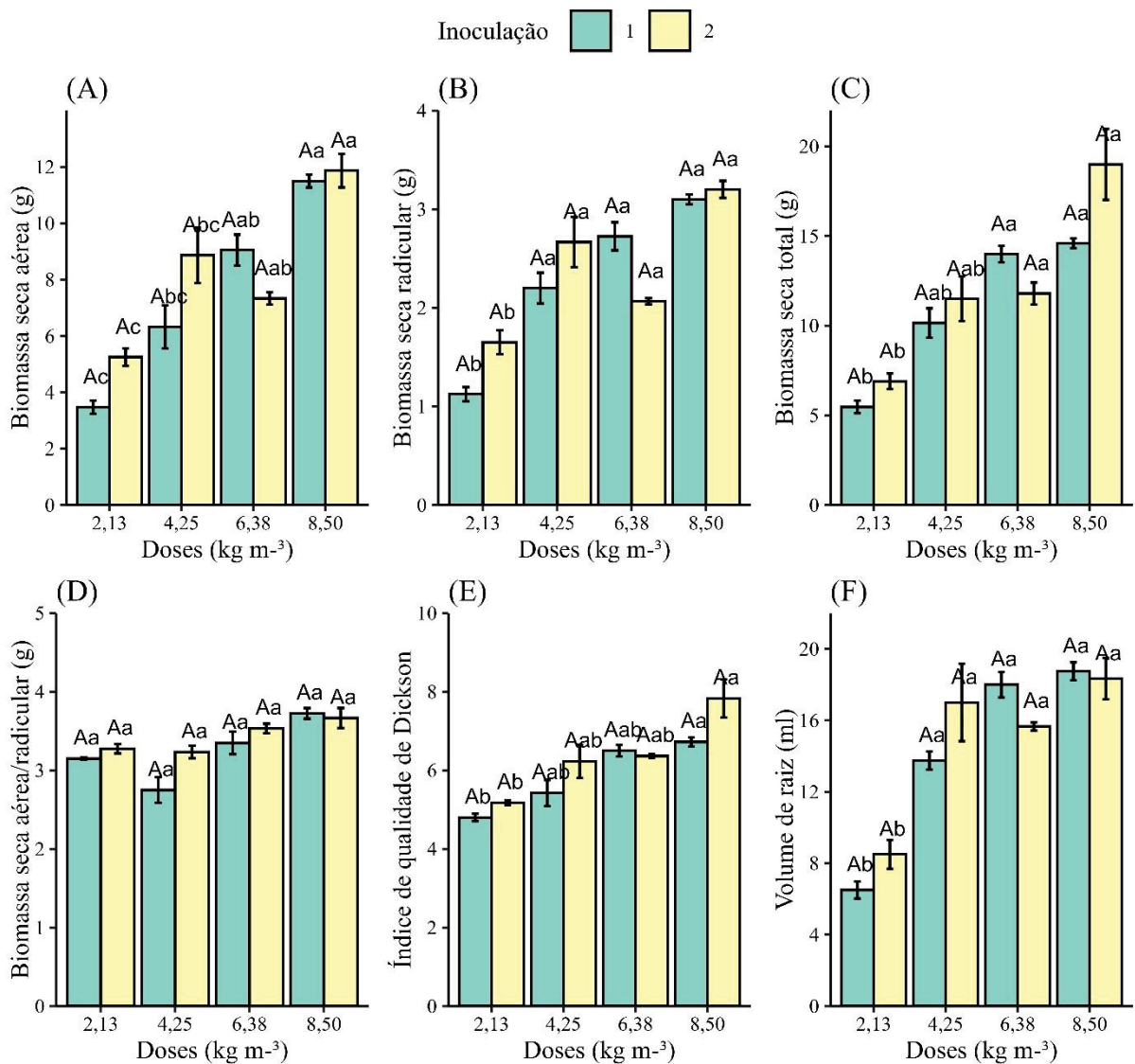
Estudos anteriores com *I. paraguariensis* revelam uma variação da relação H/DC em mudas da espécie, considerado ideal de acordo com as condições de avaliação, influenciado principalmente pelo recipiente, luminosidade e fertilidade do substrato. Balbinot (2024, p. 31) avaliou a influência da luminosidade e do volume dos recipientes nas características morfológicas, anatômicas e fisiológicas das mudas, julgando como ideais os valores entre 2,33 e 3,12. Walter *et al.* (2023, p. 537) encontraram valores maiores de H/DC para mudas produzidas sob sombreamento e pleno sol, ambas com recipientes de 110 cm³, sendo 6,41 e 6,61, respectivamente. Walter *et al.* (2022, p. 06), estudando fertilizantes de liberação controlada e tempos de execução para a produção de mudas, indicaram para esse índice valores de 4,78 a 5,61.

4.2.2. Biomassa seca

Houve maior acúmulo de biomassa seca aérea com a máxima dosagem (8,50 kg m⁻³) de fertilizante, independentemente do número de inoculações, apresentando valores médios de 11,49 g com uma inoculação e 11,86 g com a reinoculação (FIGURA 10A). As mudas investiram mais em biomassa seca da raiz e volume da raiz em doses crescentes (4,25 kg m⁻³, 6,38 kg m⁻³ e 8,50 kg m⁻³) de fertilizante, sendo semelhantes entre as doses e o número de inoculações (1 e 2), com valores médios superiores à dose 2,13 kg m⁻³ (FIGURA 10B).

Diferente desta pesquisa, mudas de *I. paraguariensis* inoculadas com BPCP apresentaram menores valores de biomassa seca da raiz (16,67%) em comparação ao controle (29,63%), embora o peso seco da parte aérea tenha sido superior ao controle (48,28%) (ONETTO *et al.*, 2022, p. 05).

FIGURA 10 – BIOMASSA SECA AÉREA (A), BIOMASSA SECA DA RAIZ (B), BIOMASSA SECA TOTAL (C), RELAÇÃO BIOMASSA SECA AÉREA/BIOMASSA SECA DA RAIZ (D), ÍNDICE DE QUALIDADE DE DICKSON (E) E VOLUME DA RAIZ (F) DE MUDAS DE *Ilex paraguariensis* A.St.–Hil. SUBMETIDAS A DIFERENTES DOSES DE FERTILIZANTE DE LIBERAÇÃO CONTROLADA E INOCULAÇÃO DE *Bacillus* spp., AOS 180 DIAS.



FONTE: A autora (2024).

Barras verticais representam o erro padrão. Letras minúsculas iguais não diferem para fertilizante dentro de cada dose; e letras maiúsculas iguais não mostram diferenças significativas entre si para períodos do inoculante pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

De modo geral, a biomassa seca total (BST) foi maior nas doses de 6,38 kg m⁻³ e 8,50 kg m⁻³ de fertilizante, que favoreceram significativamente a produção de biomassa seca das

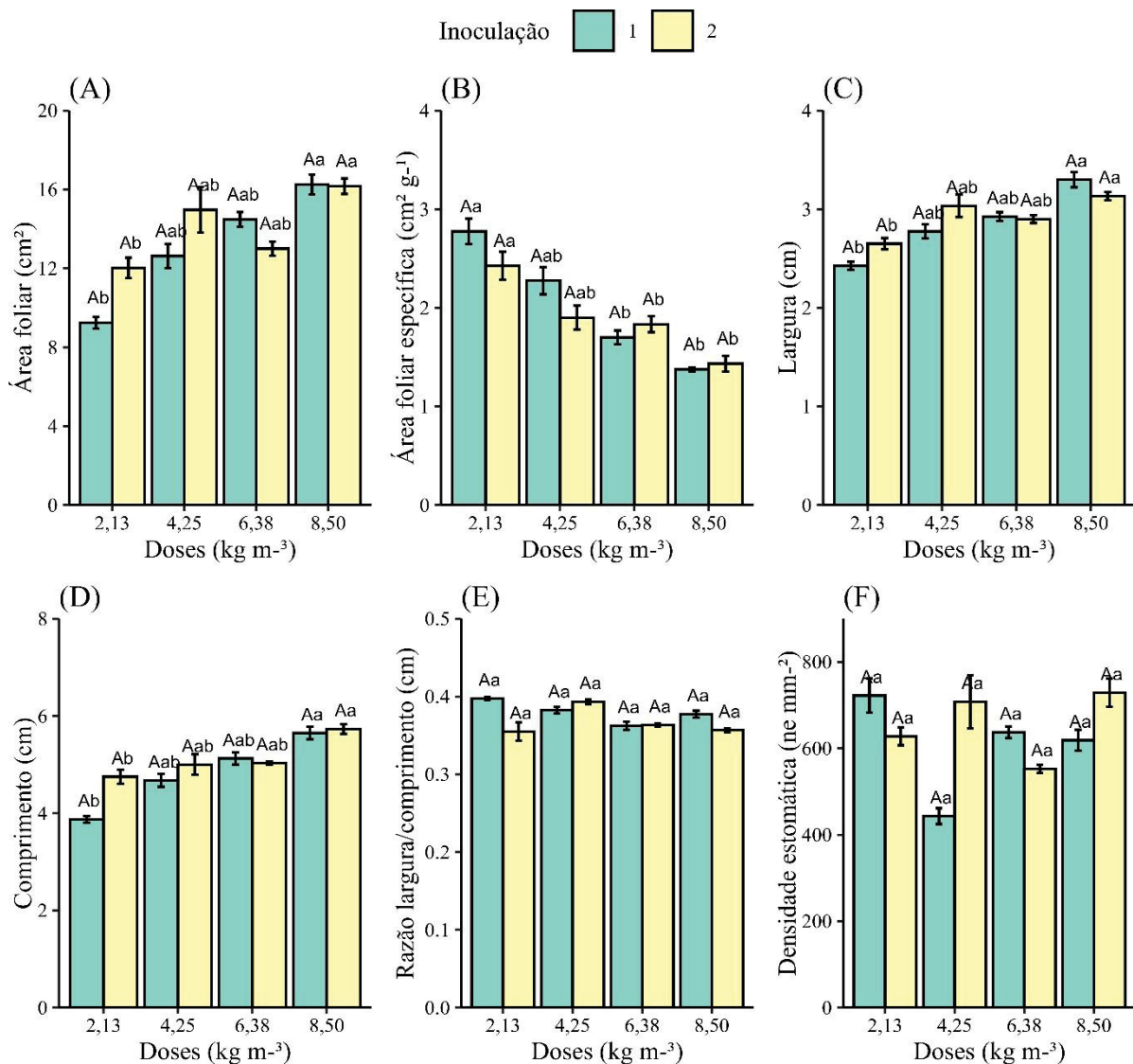
plantas ao longo das avaliações, independentemente de terem recebido uma ou duas inoculações. de *B. subtilis* e *B. megaterium* (FIGURA 10C). Liu *et al.* (2013, p. 4624) constataram um rendimento significativo na biomassa seca de folhas e raízes, bem como o acúmulo de fósforo, em mudas de *Fraxinus americana* inoculadas com *B. subtilis* na ausência e presença de adubação. Para a relação BSA/BSR (FIGURA 10D) não foi observada diferença significativa aos 150 e 180 dias.

O Índice de qualidade de Dickson foi mais elevado na presença da dosagem máxima ($8,50 \text{ kg m}^{-3}$) de fertilizante, em ambas as inoculações, com médias de 6,72 e 7,83, respectivamente (FIGURA 10E). Walter *et al.* (2022, p. 06), ao analisarem o mesmo fertilizante de liberação controlada (FLC 3M) na dosagem de $8,50 \text{ kg m}^{-3}$ em mudas de *I. paraguariensis* aos 180 dias, obtiveram um índice de 2,46, inferior ao encontrado neste estudo. O índice de qualidade de Dickson é amplamente utilizado como indicador de qualidade na seleção de mudas (KUAN-HUNG; CHUN-WEI; CHANG, 2019, p. 172). Além disso, esse índice reflete o maior desenvolvimento da biomassa das plantas, buscando equilibrar a relação entre altura, diâmetro e biomassa; no entanto, um IQD mais alto nem sempre indica melhor qualidade das plantas (LUCA; REBECCHI; SCHORN, 2010, p. 195).

4.2.3. Folhas

Conforme observado na Figura 11A, a área foliar apresentou significativamente maior ganho energético na dosagem máxima de fertilizante ($8,5 \text{ kg m}^{-3}$) em ambas as inoculações, bem como os resultados obtidos para a largura e comprimento das folhas. Esse resultado ocorre porque a área foliar, sendo um atributo morfológico, indica um maior potencial para fotossíntese e transpiração, o que pode favorecer mudas recém-plantadas em condições ambientais adequadas (IVETIC *et al.*, 2014, p. 198). Os mesmos autores afirmam que a área foliar específica (FIGURA 11B) é uma medida do potencial fotossintético por unidade de biomassa da planta, em que o comportamento foi decrescente com o aumento das doses, ou seja, mais elevada na menor dose de $2,13 \text{ kg m}^{-3}$.

FIGURA 11 – ÁREA FOLIAR (A), ÁREA FOLIAR ESPECÍFICA (B), LARGURA DA FOLHA (C) E COMPRIMENTO DA FOLHA (D) DE MUDAS DE *Ilex paraguariensis* A.St.–Hil. SUBMETIDAS A DIFERENTES DOSES DE FERTILIZANTE DE LIBERAÇÃO CONTROLADA E INOCULAÇÃO DE *Bacillus* spp., AOS 180 DIAS.



FONTE: A autora (2024).

Barras verticais representam o erro padrão. Letras minúsculas iguais não diferem para fertilizante dentro de cada dose; e letras maiúsculas iguais não mostram diferenças significativas entre si para períodos do inoculante pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Quanto à relação L/C, não houve significância em nenhum dos tratamentos (FIGURA 11E), bem como a densidade estomática para todas as doses de fertilizante testadas (FIGURA 11F). Valores inferiores aos deste estudo foram observados por Ivetic *et al.* (2014, p. 107) ao investigar o efeito do ácido abscísico no estado hídrico das folhas, afirmando que o número de estômatos por unidade de área foliar em *I. paraguariensis* varia de 430 a 480 estômatos/mm². Balbinot (2024, p. 38), ao analisar a influência da luminosidade e do volume de tubetes na produção de mudas de *I. paraguariensis*, observou que os tratamentos com maior volume de

substrato (110 cm³) e exposição ao sol apresentaram maior densidade estomática (685 estômatos/mm²).

A elevação desses atributos morfológicos na dosagem máxima (8,50 kg m⁻³) de fertilizante, e em ambas as inoculações, embora estatisticamente iguais, sugere que a combinação de doses adequadas de fertilizante com a aplicação de bactérias promotoras de crescimento pode otimizar o desenvolvimento das mudas de *I. paraguariensis*. Esses resultados reforçam a importância de práticas de manejo que integrem a nutrição mineral e a inoculação microbiana para maximizar o crescimento e a saúde das plantas.

5 CONCLUSÃO

As mudas de *I. paraguariensis* respondeu à dose 3 (6,38 kg m⁻³) de fertilizante de liberação controlada, combinada à inoculação de *Bacillus* spp.

A biomassa seca radicular, a biomassa seca total e o volume de raiz obtiveram maior acúmulo de biomassa seca com a redução do fertilizante, sendo necessário a dose 2 (4,25 kg m⁻³) com uma única aplicação do inoculante.

Os parâmetros foliares, como área foliar, largura e comprimento foram estatisticamente superiores na dose 4 (8,50 kg m⁻³) de fertilizante com uma única inoculação de *Bacillus* spp.

A reinoculação de *Bacillus* spp. não promoveu maiores valores médios dos parâmetros avaliados na fase de rustificação das mudas de *I. paraguariensis*.

6 CONSIDERAÇÃO FINAL

O inoculante comercial desenvolvido para culturas agrícolas mostrou-se promissor como biofertilizante na produção de mudas de *I. paraguariensis*. No entanto, é importante realizar novas pesquisas com bactérias promotoras de crescimento para potencializar a comercialização de plantas dessa espécie.

Recomenda-se aumentar o período de permanência das mudas no viveiro, especialmente na fase de rustificação, uma vez que ainda não atingiram a altura adequada para o plantio em campo.

Além disso, sugere-se aplicar o inoculante 30 dias após a repicagem, momento em que as plântulas estarão mais adaptadas ao substrato.

REFERÊNCIAS

- ABREU, L.A.; MENEZES, L.M.; SILVA, J.M.; ARAÚJO, R.G.V.; SILVA, C.S.; SILVA, P.C.V.; SANTOS, T.M.C.; LEITE, M.J.H. Initial Development of *Hymenaea courbaril* (Linnaeus.) (FABACEAE) under inoculation of edaphytic bacteria from *Bacillus* and *Herbaspirillum* genus, **Brazilian Journal of Development**, v.7, n.12, p. 112954-112965, 2021. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv7n12-193>
- ALEXANDRE, F. S. *et al.* Arbuscular Mycorrhizal Fungi (*Rhizophagus clarus*) and Rhizobacteria (*Bacillus subtilis*) Can Improve the Clonal Propagation and Development of Teak for Commercial Plantings. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, n. 01, p. 1 - 12, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.628769>
- ALORI, E.T; GLICK, B.R.; BABALOLA, O. O. Solubilização de fósforo microbiano e seu potencial para uso na agricultura sustentável. **Frontiers in Microbiology**, v. 8, n. 971, p. 01 – 08, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1426166>
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711 - 728, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- ARAÚJO, J. M.; ANDRADE NETO, R. C.; OLIVEIRA, J. R.; LUNZ, A. M. P.; ALMEIDA, U. O. Shading and slow-release fertilizer effects on the growth characteristics of assai seedlings (*Euterpe oleracea*). **Floresta e Ambiente**, v. 26, n. 3, p. 1 – 10, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/2179-8087.001918>
- BALBINOT, L. C. **Respostas morfoanatômicas e fisiológicas em mudas de erva-mate sob gradiente de sombreamento e volumes de recipiente**. 60 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2024.
- BARBOSA, J. Z.; MOTTA, A. C. V.; CONSALTER, R.; POGGERE, G.; SANTIN, DELMAR.; WENDLING, I. Plant growth, nutrients and potentially toxic elements in leaves of yerba mate clones in response to phosphorus in acid soils. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**. v. 90, n. 1, p. 557 – 571, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/0001-3765201820160701>
- BARROS, J. F. C. **Fertilidade do solo e Nutrição das plantas**. Universidade de Évora, Escola de Ciências e Tecnologia Departamento de Fitotecnia, 2020.
- BERGOTTINI, V. M.; OTEGUI, M. B.; SOSA, D. A.; ZAPATA, P. D.; MULOT, M.; REBORD, M.; ZOPFI, J.; WISS, F.; JUNIER, P. Bio-inoculation of yerba mate seedlings (*Ilex paraguariensis* St. Hill.) with native plant growth-promoting rhizobacteria: a sustainable alternative to improve crop yield. **Biology and Fertility of Soils**, v. 51, n. 6, p. 749-755. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00374-015-1012-5>
- BERNARDINO, D. C. S.; PAIVA, H. N.; NEVES, J. C. L.; GOMES, J. M.; MARQUES, V. B. Crescimento e qualidade de mudas de *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan em resposta à saturação por bases do

substrato. **Revista Árvore**, v. 29, n. 6, p. 863-870, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622005000600004>

BRANDÃO JUNIOR, O. HUNGRIA, M. Efeito de doses de inoculante turfoso na fixação biológica do nitrogênio pela cultura da soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 3, p. 527 – 535, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832000000300006>

CAMARGO, M. A. B.; MARENCO, R. A. Growth, leaf and stomatal traits of crabwood (*Carapa guianensis* aubl.) in central Amazonia. **Revista Árvore**, v.36, n.1, p.7-16, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622012000100002>

CARDOZO, A. G. L.; ROSA, R. L.; NOVAK, R. S.; FOLQUITO, D. G. SCHEBELSKI, D. J. BRUSAMARELLA, L. C. C. RIBEIRO, D. T. B. Erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St. – hil.): uma revisão abrangente sobre composição química, benefícios à saúde e recentes avanços. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 11, p. 1-13, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i11.20036>

CAROLINA SOIL. **Substratos**. Disponível em: <<https://carolinasoil.com.br/substratos/>>. Acesso em 10 fev. 2024.

CARVALHO, P. E. R. Espécies Arbóreas Brasileiras. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo, PR. Embrapa Florestas, v. 1, p. 1039, 2003.

CECONI, D. E.; POLETTO, I.; LOVATO, T.; MUNIZ, M. F. B. Exigência nutricional de mudas de erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.) à adubação fosfatada. **Ciência Florestal**, v. 17, n. 1, p. 25-32, 2007. DOI: <https://doi.org/10.5902/198050981932>

CUNHA, F. L.; ALMEIDA, R. S.; DINIZ, P. C.; PAULA, S. H. A.; CAMPOS, V. A.; VENTURIM, N. Crescimento inicial e nutrição mineral de espécies florestais com potencial econômico sob omissão de nutrientes. **Advances in Forestry Science**, v. 10, n. 2, p. 1949-1957, 2023. DOI: <https://doi.org/10.34062/afs.v10i1.12937>

DAME, Z. T.; RAHMAN, M.; ISLAM, T. Bacilli as sources of agrobiotechnology: recent advances and future directions. **Green Chemistry Letters and Reviews**, v. 14, n. 2, p. 246-271, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1080/17518253.2021.1905080>

DARTORA, N.; SOUZA, L.M.; PAIVA, S.M.M.; SCOPARO, C.T.; IACOMINI, M.; GORIN, P.A.K.; RATTMAN, Y.D.; SASSAKI, G. L. Rhamnogalacturonan from *Ilex paraguariensis*: A potential adjuvant in sepsis treatment. **Carbohydrate Polymers**, v. 92, n. 01, p. 1776-1782, 2013.

DAVID, P. R.; DAVID, F. A.; TOSO, J. O.; PASINATO, C.; MULLER, C.; GALON, L.; PERIN, G. F. Growth and development of yerba mate seedlings associated with different winter cover species. **Brazilian Journal of Science**, v. 3, n. 1, p. 34-42, 2024. DOI: <https://doi.org/10.14295/bjs.v3i1430>

DERAL. **Departamento de Economia Rural do Paraná – Divisão de Conjuntura Agropecuária: Prognóstico de Culturas**. <<https://www.agricultura.pr.gov.br/Pagina/Edicao-atual-Prognostico-Agropecuario-0>>. Acesso em 20 mar. 2024

DICKSON, A.; LEAF, A.; HOSNER, J. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **Forestry Chronicle**, Mattawa, v. 2, n. 1, p. 10-13, 1960. DOI: <http://doi.org/10.5558/tfc36010-1>.

DUARTE, M. M. ***Ilex paraguariensis* A.St.-Hil.: caracterização de morfotipos e genótipos para produção de compostos bioativos e propagação**. 149 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2020.

DUARTE, M.M.; MIRESKI, M.C.; OLISZESKI, A.; WENDLING, I.; STUEPP, C.A. Rooting of yerba mate cuttings with different lengths. **Revista Eletrônica Científica da UERGS**, v. 5, n. 1, p. 05 – 11, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.21674/2448-0479.51.05-11>

ELIAS, G. A.; SANTOS, R. Produtos florestais não madeireiros e valor potencial de exploração sustentável da floresta atlântica no sul de Santa Catarina. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 1, p. 249-262, 2016. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509821117>

ELOY, E.; CARON, B. O.; SCHMIDT, D.; BEHLING, A. SCHWERS, L. ELLI, E. F. Avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis* utilizando parâmetros morfológicos. **Floresta**, v. 43, n. 3, p. 373 – 384, 2013.

EUFLAUSINO, M. A.; SCHARDONG, B. F.; PEPECE, O. M. C. Erva-mate: valor simbólico da cultura do consumo ritualístico do tereré e do chimarrão na cultura brasileira. **Revista Hospitalidade**, v. 19, p. 209–244, 2022.

FERRAZ, A. V.; ENGEL, V. L. Efeito do tamanho de tubetes na qualidade de mudas de jatobá (*Hymenaea courbaril* L. var. *stilbocarpa* (Hayne) Lee et Lang.), ipê-amarelo (*Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex DC.) Sandl.) e guarucaia (*Paraptadenia rigida* (Benth.) Brenan). **Revista Árvore**, v. 35, n. 3, p. 413-423, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622011000300005>

GABIRA, M. M.; BERGERON, Y.; DUARTE, M.M.; AGUIAR, N.S.; KRATZ, D.; SILVA, R. M.; WENDLING, I.; GIRONA, M.M. Morphological, physiological, and biochemical responses of yerba mate (*Ilex paraguariensis*) genotypes to water deficit. **New Forests**, v. 55, n. 3, p. 1771 – 1785, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11056-024-10059-5>

GABIRA, M. M.; GOMES, J. F. P.; KRATZ, D.; WENDLING, I.; STUEPP, C. A. Industrial residues as substrate components for the production of *Ilex paraguariensis* seedlings. **Comunicata Scientiae**, v. 11, n. 1, p. 1-7, 2020. DOI: <https://doi.org/10.14295/cs.v11i.3215>

GABIRA, M. M.; SANTIN, D.; WENDLING, I.; BENEDETTI, E.L. Poultry manure increases soil fertility, growth and nutritional status of yerba mate seedlings. **Revista de Investigación Agraria y Ambiental**, v. 13, n. 2, p. 137 – 148, 2022. DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.5388>

GAWRON-GZELLA, A.; CHANAJ-KACZMAREK, J.; CIELECKA-PIONTEK, J. Yerba Mate A Long but Current History. **Nutrients**, v. 13, n. 11, p. 3706, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu13113706>

GELSLEICHTER, S. D.; MASSANEIRO, H. M. A.; SILVA, A. S.; DORS, P.; MIQUELLUTI, D. J.; CAMPOS, M. L.; MOREIRA, M. A. Diagnose nutricional e índices fotossintéticos de erva-mate sob diferentes níveis de adubação com zinco. **Nativa**, v. 9, n. 5, p. 494 - 499, 2021.

GROSSNICKLE, S. C.; MACDONALD, J. E. Seedling Quality: History, Application, and Plant Attributes. **Forests**, v. 9, n. 5, p. 283, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/f9050283>

GROVER, M.; BODNANKAR, S.; SHARMA, A.; SHARMA, PUSHPENDRA, S.; SINGH, J.; NAIN, L. PGPR Mediated Alterations in Root Traits: Way Toward Sustainable Crop Production. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 4, p. 1 – 28, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.618230>

GRUGIKI, M. A.; MENDES, K. R.; SANTOS, J. N. B.; POMPELLI, M. F. Avaliação da técnica de impressão da epiderme em folhas de *Goupia glabra* Aubl. para determinação da densidade estomática. **VIII Simpósio Brasileiro de Pós-Graduação em Ciências Florestais**, p. 420 – 423, 2014. DOI: <https://doi.org/10.12702/VIII.SimposFloresta.2014.141-621-1>

HAASE, D. L. Understanding forest seedling quality: Measurements and interpretation. **Tree Planter's Notes**, v. 52, n. 2, 2008.

HASHEM, A.; TABASSUM, B.; ABD_ALLAH, E. F. *Bacillus subtilis*: A plant-growth promoting rhizobacterium that also impacts biotic stress. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 26, p. 1291–1297, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2019.05.004>

HUSSAIN, A.; ADNAN, M.; HAJIRA.; IQLAL, S.; SAEED, M.; MIAN, I. A.; MUHAMMAD, M. W.; PERVEEZ, R.; WAHID, F.; SUBHAM, F.; RAZA, M. A.; ZAMIM, M.; ULLAH, F.; REHMAN, K.; ANDALEEB, S. Combining phosphorus (P) with phosphate solubilizing bacteria (PSB) improved wheat yield and P uptake in alkaline soil. **Pure and Applied Biology**, v. 8, n. 2, p. 1809 - 1817, 2019. DOI: <https://doi.org/10.19045/bspab.2019.80124>.

IBGE. **Produção Agrícola - Lavoura Permanente**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/pesquisa/15/11941>>. Acesso em: 10 maio 2024.

INMET. **Instituto Nacional de Meteorologia – Estação Curitiba A807**. Disponível em: <https://tempo.inmet.gov.br/TabelaEstacoes/A807>>. Acesso em: 30 mar. 2024.

IVETIC, V.; STJEPANOVIC, S. T.; DEVETAKOVIC, J.; STANKOVIC, D.; SKORIC, M. Relationships between leaf traits and morphological attributes in one-year bareroot *Fraxinus angustifolia* Vahl. seedlings. **Annals of Forest Research**, v. 57, n. 2, p. 197-203, 2014. DOI: <https://doi.org/10.15287/afr.2014.214>

JANG, J.; WOO, S. Y.; KIM, S. H.; KHAINI, I. KWAKA, M. J. LEE, H. K.; LEE, T. Y. LEE, W. Y. Effects of increased soil fertility and plant growth-promoting rhizobacteria inoculation on biomass yield, energy value, and

physiological response of poplar in short-rotation coppices in a reclaimed tideland: A case study in the Saemangeum area of Korea. **Biomass and Bioenergy**, v. 107, n. 1, p. 29 - 38, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2017.09.005>

KONDO, Y. R. **Manejo de inoculantes de bactérias promotoras de crescimento vegetal em *Araucaria angustifolia* para a produção de mudas com elevada qualidade fisiológica nutricional**. 67 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2022.

KUAN-HUNG, L. I. N.; CHUN-WEI, W. U.; CHANG, Y. S. Applying Dickson quality index, chlorophyll fluorescence, and leaf area index for assessing plant quality of *Pentas lanceolata*. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca**, v. 47, n. 1, p. 169–176, 2019. DOI: <https://doi.org/10.15835/nbha47111312>

KUMAR, A. VERMA, J. P. Does plant—Microbe interaction confer stress tolerance in plants: A review? **Microbiological Research**, v. 207, p. 41 -52, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.micres.2017.11.004>

LACZESKI, M. E.; ONETTO, A. L.; CORTESE, I. J.; MALLOZZI, G. Y. CASTRILLO, M. L.; BICH, G. A.; GORTARI, F. ZAPATA, P. D.; OTEGUI, M. B. Isolation and selection of endophytic spore-forming bacteria with plant growth promoting properties isolated from *Ilex paraguariensis* St. Hil. (yerba-mate). **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 92, n. 1, p. 1 - 20, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/0001-3765202020181381>

LANDIS, T. D.; DUMROESE, R. K.; HAASE, D. L. The container tree nursery manual: seedling processing, storage, and out planting. **Washington: USDA Forest Service**, 200 p. 2010.

LIMA, J. V.; TINÔCO, R. S.; OLIVARES, F. L.; CHIA, G. S.; MELO JÚNIOR, J. A.G.; SILVA, G. B. Rhizobacteria modify root architecture and improve nutrient uptake in oil palm seedlings despite reduced fertilizer. **Rhizosphere**, v. 19, p. 1 - 10, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2021.100420>

LIU, F.; XING, S.; MA, H.; DU, Z.; MA, B. Plant growth-promoting rhizobacteria affect the growth and nutrient uptake of *fraxinus americana*, container seedlings. **Appl Microbiol Biotechnol**, v. 97, 4617– 4625, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00253-012-4255-1>

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa: Plantarum, v. 1, ed. 5, p. 50, 2009.

LUCA, E. F.; REBECCHI, R. J.; SCHORN, L. A. Crescimento e qualidade de mudas de cedro (*Cedrela fissilis* Vellozo) em viveiro, mediante diferentes técnicas de produção. **Revista do Instituto Florestal**, v. 22, n. 2, p. 189-199, 2010. DOI: <https://doi.org/10.24278/2178-5031.2010222260>

LUTOMSKI, P.; GOZDZIEWSKA, M.; FLOREK-LUSZCZKI, M. Health properties of Yerba Mate. **Annals of Agricultural and Environmental Medicine**, v. 27, n. 2, p. 310 -313, 2020. DOI: <https://doi.org/10.26444/aaem/119994>

MACCARI JUNIOR, A. Análise do pré-processamento da erva-mate para chimarrão. 215 f. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola. Campinas, SP, 2005.

MAFIA, R. G.; ALFENAS, A. C.; SIQUEIRA, L.; FERREIRA, E. M.; LEITE, H. G.; CAVALLAZZI, J. R. P. Critério técnico para determinação da idade ótima de mudas de eucalipto para plantio. **Revista Árvore**, v. 29, n. 6, p. 947-953, 2005.

MAGALHÃES, C. A. S.; MORALES, M. M.; REZENDE, F. A.; LANGER, J. Eficiência de fertilizantes organominerais fosfatados em mudas de eucalipto. **Scientia Agraria**, v. 18, n. 4, p. 80-85, 2017.

MARTINS, R. C.; SANTOS, M. A. dos; ARAÚJO, R. V. de; NOGUEIRA, M. L.; YUI, R. M. dos S.; COSTA, R. B. Viabilidade econômica da erva-mate em propriedade da fronteira Brasil/Paraguai, estado de Mato Grosso do Sul. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 6, p. 522–534, 2021. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.006.0043>

MONTEIRO, J. E. B. A.; SENTELHAS, P. C.; CHIAVEGATO, E. J.; GUISELINI, C.; SANTIAGO, A. V.; PRELA, A. Estimação da área foliar do algodoeiro por meio de dimensões e massa das folhas. **Bragantia**, v. 64, n. 1, p. 15-24, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052005000100002>

NAVROSKI, M. C.; ARAUJO, M. M.; CUNHA, F. S.; BERGHETTI, A. L. P.; PEREIRA, M. O. Redução da adubação e melhoria das características do substrato com o uso do hidrogel na produção de mudas de *Eucalyptus dunnii* Maiden. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 4, p. 1155-1165, 2016. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509825106>

OLANREWAJU, O. S.; GLICK, B. R.; BABALOLA, O. O. Mechanisms of action of plant growth promoting bacteria. **World J Microbiol Biotechnol**, v. 33, n. 11, p. 197, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007%2Fs11274-017-2364-9>

OLIVEIRA-PAIVA, C. A.; BINI, D.; SOUSA, S. M.; RIBEIRO, V. P.; SANTOS, F. C.; LANA, U. G. P.; SOUZA, F. F.; GOMES, E. A.; MARRIE, I. E. Inoculation with *Bacillus megaterium* CNPMS B119 and *Bacillus subtilis* CNPMS B2084 improve P-acquisition and maize yield in Brazil. **Frontiers in Microbiology**, v. 15, n. 1, p. 01 – 13. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1426166>

ONETTO, A. L.; CORTESE, I. J.; GORTARI, F.; CASTRILLO, M. L.; SCHEGG, E.; ZAPATA, P. D.; LACZESKI, M. E. Application of plant growth promoting bacteria enhances the growth of yerba mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil) in greenhouse. **Rhizosphere**, v. 24, p. 1 – 7, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2022.100591>

RIBEIRO, V. P.; MARRIBEL, I. E.; SOUSA, S. M.; LANA, U. G. P.; MATTOS, B. B.; OLIVEIRA, C. A.; GOMES, E. A. Endophytic *Bacillus* strains enhance pearl millet growth and nutrient uptake under low-P. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 49, n. 1, p. 40 – 46, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bjm.2018.06.005>

ROCHA, J. H. T.; PIETRO, M. R.; BORELLI, K.; BACKES, C.; NEVES, M. B. Produção e desenvolvimento de mudas de eucalipto em função de doses de fósforo. **Cerne**, v. 19, n. 4, p. 535-543, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0104-77602013000400002>

SANTOS, D. P.; SOARES, A.; MEDEIROS, G.; CHRISTOFOLETTI, D.; ARANTES, C. S.; VASCONCELOS, J. C. S.; SPERANZA, E. A.; BARBOSA, L. A. F.; ANTUNES, J. F. G.; CANÇADOS, G. M. A. Evaluation of Sugarcane Yield Response to a Phosphate-Solubilizing Microbial Inoculant: Using an Aerial Imagery-Based Model. **Sugar Tech**, v. 26, n. 1, p. 143 – 159, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12355-023-01326-4>

SANTOS, D. R.; GATIBONIL, L. C.; KAMINSKIL, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v. 38, n. 2, p. 576 - 586, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782008000200049>

SANTOS, R. F.; CRUZ, S. P.; BOTELHO, G. R.; FLORES, A. V. Inoculation of *Pinus taeda* Seedlings with Plant Growth-promoting Rhizobacteria. **Floresta e Ambiente**, v. 25, n. 1, p. 1 -7, 2018. DOI:<http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.005616>

SANTOS, S. P. A. **Crescimento e características funcionais de plantas jovens de *Hevea brasiliensis* (Willd. ex A.Juss.) Müll.Arg.) e *Bertholletia excelsa* (Bonpl.) submetidas à fertilização fosfatada e a bactérias solubilizadoras de fosfato**. 94 f. Dissertação (Mestrado em Ciências de Florestas Tropicais) - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, AM, 2023.

SHEN, J.; YUAN, L.; ZHANG, J.; LI, H.; BAI, Z.; CHEN, X.; ZHANG, W.; ZHANG, F. Phosphorus Dynamics: From Soil to Plant. **Plant Physiology**, v. 156, n. 3, p. 997 – 1005, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.111.175232>

SILVA, F. B. **Seleção de bactérias do microbioma rizosférico de acácia negra, com potencial como promotoras de crescimento vegetal**. 149 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2022.

SMIDERLE, O. J.; SOUZA, A. G. MAIA, S. S.; REIS, N. D.; COSTA, J. S.; PEREIRA, G.S. Do Stimulate® and Acadian® promote increased growth and physiological indices of *Hymenia courbaril* seedlings? **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 44, n. 2, p. 1-10. 2022. DOI: <http://doi.org/10.1590/0100-29452022872>.

SMIDERLE, O. J.; SOUZA, A. G.; LIMA-PRIMO, H. E.; H. E.; FAGUNDES, P. R. O. Efficiency of organomineral fertilizer and doses of *Azospirillum brasilense* on the morphophysiological quality of *Mezilaurus itauba* seedlings. **Brazilian Journal of Biology**, v. 84, p. 1 - 8, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1590/1519-6984.279851>.

SNIF. **Sistema Nacional de Informações Florestais – Publicações – Boletim SNIF 2019**. Disponível em:<<https://snif.florestal.gov.br/pt-br/galeria-de-publicacoes>>. Acesso em 30 maio 2024.

SOUZA, N.C.; LISBOA, B.; VARGAS, L.K.; BORDIGNON, S.; BENEDUZI, A. Composto orgânico à base de salvínia para a produção de mudas de grandióva. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 41, n. 2, p. 1-7, 2021. DOI: <http://doi.org/10.4336/2021.pfb.41e201801746>

SOUZA, A. G.; SMIDERLE, O. J.; MAIA, S. S. Do Stimulate® and *Ascophyllum nodosum* seaweed promote the morphophysiological characteristics of *Cordia alliodora* seedlings? **Australian Journal of Crop Science**, v. 17, n. 3, p. 447-452, 2023. DOI: <http://doi.org/10.21475/ajcs.23.17.05.p3832>.

STEDILLE, L. I. V. **Genética e ecologia de erva-mate na floresta ombrófila mista: fundamentos para o manejo**. 175 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Lages, 2020.

TAILOR, A. J.; JOSHI, B. H. Harnessing plant growth promoting rhizobacteria beyond nature: a review. **Journal of Plant Nutrition**, v. 37, n. 9, p. 1534 -1571, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/01904167.2014.911319>

TRUJILLO-ELISEA, F. I.; LABRIN-SOTOMAYOR, N. Y.; BECERRA-LUCIO, P. A.; BECERRA-LUCIO, A. A. MARTINEZ- HEREDIA, J. R.; CHAVEZ-BARCENAS, A. T.; PEÑA-RAMIREZ, Y. J. Plant Growth and Microbiota Structural Effects of Rhizobacteria Inoculation on Mahogany (*Swietenia macrophylla* King [Meliaceae]) under Nursery Conditions. **Forests**, v. 13, p. 1742, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/f13101742>

VANCE, C. P.; UHDE-STONE, C.; ALLAN, D. L. Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. **New Phytologist**, v. 157, p. 423 – 447, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2003.00695>

VEIGA, D. T.A.; BRINGHENTI, R.; COPES, R.; TATSCH, E.; MORESCO, R. N.; COMIM, F. V.; PREMAOR, M. O. Protective effect of yerba mate intake on the cardiovascular system: a post hoc analysis study in postmenopausal women. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**, v. 51, n. 6, p. 1 - 5, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/1414-431X20187253>

WALTER, L. S.; GONÇALVES, M. F.; KRATZ, D.; FRAGOSO, R. O.; STUEPP, C. A. Growth and Quality of Yerba Mate Seedlings Affected by Fertilizer Doses in South Brazil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 65, n. 1, p. 1 – 11, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-4324-2022210394>

WALTER, L. S.; MOURA, M. M.; GABIRA, M. M.; DE AGUIAR, N. S.; STUEPP, C. A.; KRATZ, D. How Shading and Container Type Influence *Ilex paraguariensis* A.St.-Hil. Seedling Production. **Forest Science**, v. 68, n. 5–6, p. 533–539, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1093/forsci/fxac036>

WENDLING, I.; DUTRA, L. F.; GROSSI, F. Produção de mudas de espécies lenhosas. **Embrapa Florestas**. Documentos, 130, p. 56, 2006. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/314506>.

YU, L.; ZHANG, H.; ZHANG, W.; HAN, B.; ZHOU, H.; LU, X.; DENG, Y.; LIU, K.; SHAO, X. Arbuscular Mycorrhizal Fungi Alter the Interaction Effects Between *Bacillus* and *Rhizobium* on Root Morphological Traits of *Medicago ruthenica* L. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 23, p. 2868–2877, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42729-023-01242-2>

ZHANG, Y.; WAN, S.; SHI, F.; FANG, X.; HUANG, C. Identification and Characterization of a Phosphate-Solubilizing Bacterium and Its Growth-Promoting Effect on Moso Bamboo Seedlings. **Forests**, v. 15, n. 2, p. 1 - 13, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/f15020364>