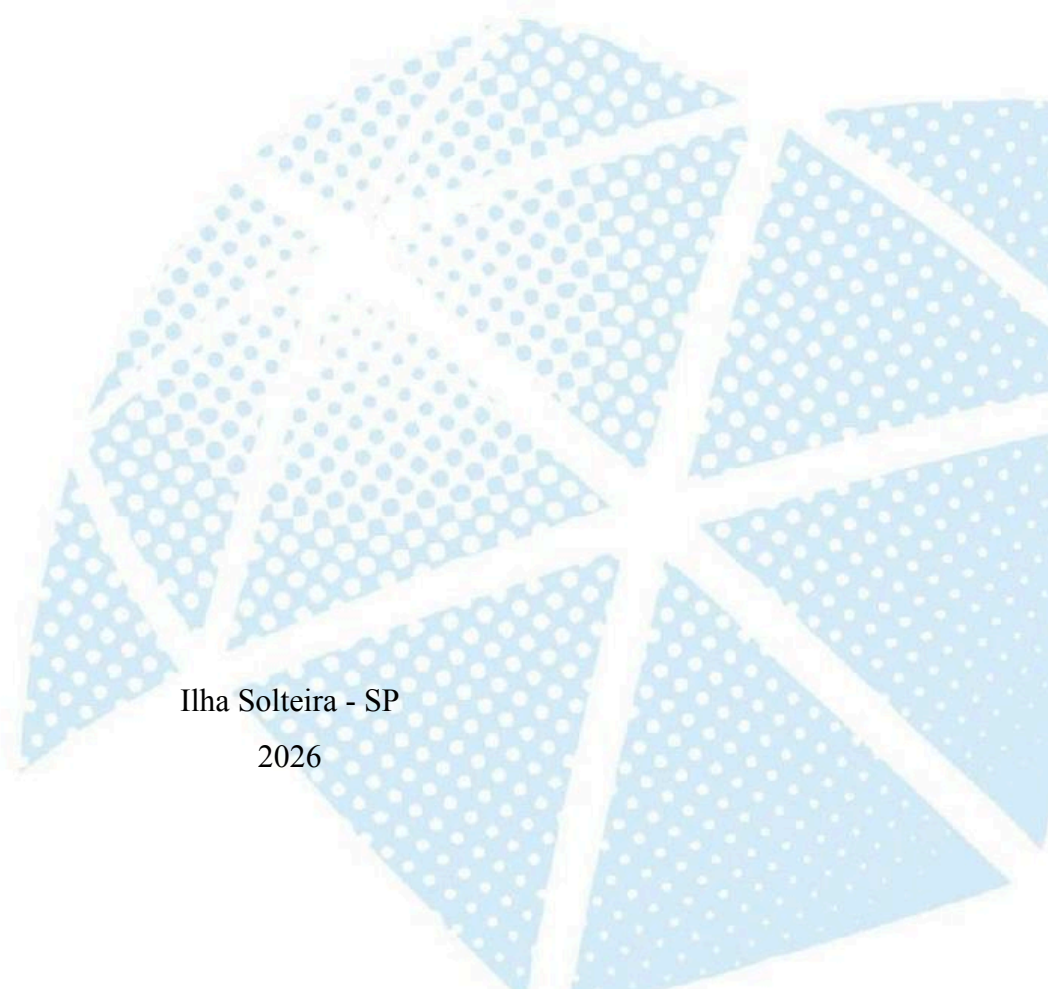
UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA

RICHARD CRUZ FAGUNDES

SINERGIA ENTRE BIOINOCULANTES E ADUBAÇÃO NO DESENVOLVIMENTO INICIAL DE MUDAS DE CAJUZINHO-DO-CERRADO



Ilha Solteira - SP
2026

RICHARD CRUZ FAGUNDES

SINERGIA ENTRE BIOINOCULANTES E ADUBAÇÃO NO DESENVOLVIMENTO INICIAL DE MUDAS DE CAJUZINHO-DO-CERRADO

TCC apresentado à Universidade Estadual Paulista (UNESP) 'Júlio de Mesquita Filho', Ilha Solteira, para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Flávio Arruda Ferreira

Ilha Solteira - SP

2026

FICHA CATALOGRÁFICA
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

F156s

Fagundes, Richard Cruz.
Sinergia entre bioinoculantes e adubação no desenvolvimento inicial de mudas de cajuzinho-do-cerrado / Richard Cruz Fagundes. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2026
35 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Agronômica) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira, 2026

Orientador: Antônio Flávio Arruda Ferreira

Inclui bibliografia

1. *Anacardium Humile St. Hil.*. 2. Plantas nativas do Cerrado. 3. Microrganismos benéficos. 4. *Azospirillum brasilense.* 5. *Pseudomonas Fluorescens*. 6. *Trichoderma harzianum*.

Sandra Montibeller - CRB-8/060/2025

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Câmpus de Ilha Solteira

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO" FACULDADE DE ENGENHARIA – UNESP – CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRONÔMICA

ATA DA DEFESA – TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TÍTULO: "SINERGIA ENTRE BIOINOCULANTES E ADUBAÇÃO NO DESENVOLVIMENTO INICIAL DE MUDAS DE CAJUZINHO-DO-CERRADO "

ALUNO: RICHARD CRUZ FAGUNDES- RA: 211052061

ORIENTADOR: ANTONIO FLÁVIO ARRUDA FERREIRA

Aprovado (X) Reprovado ( ) pela Comissão Examinadora com nota obtida: Dez

Comissão Examinadora:

Antonio Flávio Arruda Ferreira

Prof. Dr. Antonio Flávio Arruda Ferreira (orientador)

Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho

Prof. Dr. Prof. Dr. Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho (DEFERS-UNESP)

Karina da Silva Souza

Doutorando e Msc. Karina da Silva Souza (Bióloga e Mestre em Agrônomia)

Richard Cruz Fagundes

Richard Cruz Fagundes

Aluno

Ilha Solteira (SP), 26 de junho de 2026.

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

A elucidação das exigências nutricionais e fisiológicas de espécies nativas do Cerrado é fundamental não apenas para a conservação de sua diversidade genética, mas também para viabilizar sua domesticação e inserção no mercado agrícola. Ao avaliar a sinergia entre a adubação mineral e consórcios de bioinoculantes (*Azospirillum brasilense*, *Trichoderma harzianum* e *Pseudomonas fluorescens*), este estudo gera um protocolo agronômico inédito para a produção de mudas de alta qualidade de cajuzinho-do-cerrado (*Anacardium humile* St. Hil.). Os resultados biométricos correlacionados com as respostas ecofisiológicas, fornecem subsídios científicos para transitar do extrativismo predatório para o cultivo comercial sustentável. Dessa forma, a pesquisa impulsiona a bioeconomia regional, promove a diversificação frutícola e contribui diretamente para a segurança alimentar e o desenvolvimento de uma agricultura de baixo carbono.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

Elucidating the nutritional and physiological requirements of native Cerrado species is essential. It is important not only for conserving their genetic diversity, but also for enabling their domestication and integration into the agricultural market. By evaluating the synergy between mineral fertilization and bioinoculant consortia (*Azospirillum brasilense*, *Trichoderma harzianum*, and *Pseudomonas fluorescens*), this study establishes a novel agronomic protocol for producing high-quality seedlings of cajuzinho-do-cerrado (*Anacardium humile* St. Hil.). The biometric results, correlated with ecophysiological responses, provide a scientific foundation for transitioning from predatory extraction to sustainable commercial cultivation. Consequently, this research fosters the regional bioeconomy. It promotes diversification in fruit production and directly contributes to food security and the development of low-carbon agriculture.

Dedico este trabalho à Deus, à minha família,
por todo apoio e amor, e aos que me
suportaram nesta jornada.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer em primeiro lugar, a Deus, por ter me guiado, concedido força e sabedoria ao longo desta jornada.

À minha família, por sempre confiarem e acreditarem em mim e no meu potencial, por todo suporte e apoio ao longo destes anos, com menção especial à minha mãe, a quem devo tudo que sou hoje.

Ao Prof. Dr. Antonio Flávio por seu amor e dedicação à pesquisa, orientando com muita paciência, contribuindo de modo indispensável para a realização deste projeto. Ao Grupo Pé de Fruta, pelo compartilhamento de conhecimento e pelo suporte técnico essencial.

Aos meus amigos, pelo suporte, apoio na realização das atividades, companheirismo constante, pelas palavras de incentivo e por acreditarem em mim, mesmo nos momentos mais desafiadores.

À Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP/FEIS), por proporcionar o espaço e os recursos necessários para a realização deste trabalho. A cada um de vocês, minha gratidão eterna.

“A simplicidade é o mais alto grau de sofisticação” (Steve Jobs).

RESUMO

A crescente exploração do bioma Cerrado, e, por consequência, fragmentação do mesmo, denota preocupações à respeito da possível perda de espécies vegetais da região, das quais, prováveis capacidades medicinais, comerciais e agronômicas poderiam ser exploradas. Logo, garantir a preservação destas espécies é imprescindível, este objetivo pode ser alcançado por meio da domesticação, ou seja, interferir ativamente no ciclo e desenvolvimento da planta, protegendo seu potencial genético. Para tal, estudar o comportamento e desenvolvimento da espécie é uma etapa fundamental, buscando compreender sua reação aos ambientes antrópicos e aos tratos culturais. Dessa forma, objetiva-se com esta pesquisa avaliar a influência isolada e sinérgica da adubação com fertilizante de liberação lenta e da inoculação com microrganismos (*Azospirillum brasilense*, *Pseudomonas fluorescens* e *Trichoderma harzianum*) no desenvolvimento inicial, no comportamento fisiológico e bioquímico de mudas de cajuzinho-do-cerrado (*Anacardium humile* St. Hil.). Para isso, o experimento foi realizado em casa de vegetação com circulação de ar forçada e sistema Pad&Fan. As mudas foram produzidas com adubo de liberação lenta (15-09-12) na dose de 6 g L^{-1} de solo e inoculadas com *Azospirillum brasilense*, *Pseudomonas fluorescens* e *Trichoderma harzianum*. Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado, com 10 repetições. Após 65 dias do transplantio, foram avaliadas as variáveis biométricas de crescimento, trocas gasosas e pigmentos fotossintéticos. Foi realizada análise univariada (ANOVA e Teste Scott-Knott) e multivariada (Correlação de Spearman, PCA e Análise de Agrupamento Hierárquico). O que levou a observar que a adubação mineral impactou significativamente no desenvolvimento das plantas de cajuzinho-do-cerrado, enquanto que a inoculação com microrganismos, ajudou a maximizar os ganhos que a adubação trouxe, o que indica uma possível relação simbiótica desta espécie com os grupos de microrganismos estudados. Levando a concluir que a contribuição dos microrganismos foi mais expressiva quando estes foram aplicados de maneira isolada, com exceção para a coinoculação conjunta de *A. brasilense* e *P. fluorescens.*

Palavras-chave: *Anacardium humile* St. Hil., plantas nativas do Cerrado, microrganismos benéficos, *Azospirillum brasilense*, *Pseudomonas fluorescens*, *Trichoderma harzianum.*

ABSTRACT

The increasing exploitation of the Cerrado biome and the resulting fragmentation raise concerns about the potential loss of plant species whose medicinal, commercial, and agronomic capabilities could otherwise be harnessed. Consequently, preserving these species is essential. This goal can be achieved through domestication, that is, by intervening in the plant's life cycle and development to safeguard its genetic potential. To conclude, studying the species behavior and development is a fundamental step toward understanding its performance in anthropogenic environments and under various cultural practices. Thus, this research aims to evaluate the individual and synergistic effects of slow-release fertilizer application and inoculation with microorganisms (*Azospirillum brasilense*, *Pseudomonas fluorescens*, and *Trichoderma harzianum*) on the early development, physiology, and biochemistry of cajuzinho-do-cerrado (*Anacardium humile* St. Hil.) seedlings. The experiment was conducted in a greenhouse equipped with forced-air circulation and a pad-and-fan cooling system. Seedlings were grown using slow-release fertilizer (15-09-12) at a rate of 6 g L^{-1} of soil and inoculated with *Azospirillum brasilense*, *Pseudomonas fluorescens*, and *Trichoderma harzianum*. A completely randomized design with 10 replicates was employed. Sixty-five days after transplanting, biometric growth variables, gas exchange, and photosynthetic pigments were evaluated. Data were subjected to both univariate analysis (ANOVA and Scott-Knott test) and multivariate analysis (Spearman correlation, PCA, and hierarchical cluster analysis). Mineral fertilization significantly affected the development of 'cajuzinho-do-cerrado' plants, while inoculation with microorganisms helped maximize the gains from fertilization, suggesting a possible symbiotic relationship between this species and the tested groups of microorganisms. It was concluded that the contribution of the microorganisms was most pronounced when applied individually, except for the co-inoculation of *A. brasilense* and *P. fluorescens*.
Keywords: *Anacardium humile* St. Hil., native Cerrado plants, beneficial microorganisms, *Azospirillum brasilense*, *Pseudomonas fluorescens*, *Trichoderma harzianum.*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 10

2. OBJETIVOS 12

2.1 Objetivo geral 12

2.2 Objetivos específicos 12

3. MATERIAL E MÉTODOS 13

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO 17

5. CONCLUSÃO 27

6. REFERÊNCIAS 28

1. INTRODUÇÃO

Abrangendo uma área de aproximadamente 2 milhões de km², equivalente a cerca de 25% do território nacional, o Cerrado é o segundo maior bioma do Brasil (Durigan; Ratter, 2016). Cruzando mais de 12 estados e abrigando milhares de espécies vegetais com capacidades nutracêuticas que reforçam a sua importância (Lima; Portari, 2019; Gomes et al., 2020).

Sendo considerada a última fronteira agrícola, a emergente exploração desta região tem acarretado um desgaste acelerado dos ecossistemas que constituem o bioma (Machado et al., 2004; Mendes et al., 2025). O que por consequência acaba prejudicando os recursos naturais e aumentando os riscos de extinção de espécies endêmicas desta região (Klink et al., 2005; Maurano et al., 2019; Mendes et al., 2025).

Sendo assim, conservar a diversidade genética é uma peça fundamental para garantir a multiplicidade biológica (Frankham et al., 2002). O processo de adaptar uma determinada espécie à um ambiente antropológico é uma interferência direta no ciclo da planta, selecionando e interferindo nas próximas gerações para que esta tenha maior utilidade (Silva, 2010; Purugganan, 2019). Logo, estudar espécies endêmicas para entender as suas características e comportamento, é essencial para descobrir as técnicas mais adequadas de propagação e manejo (Ribeiro et al., 2018; Purugganan, 2019).

Um exemplo destas espécies é o cajuzinho-do-cerrado (*Anacardium humile* St. Hil), considerada uma espécie heliófila, é uma planta frutífera arbustiva de porte pequeno, possui caule subterrâneo com capacidade de armazenamento de água, o que permite à espécie resistir a períodos de seca e incêndios. Emite flores brancas hermafroditas, com antese diurna, polinizada por pequenos insetos como abelhas e borboletas. (Martins e Batalha, 2006; Cota et al., 2017) (Anexo I).

O cajuzinho-do-cerrado produz pseudofrutos de polpa branca de sabor ácido, consumido regionalmente de modo extrativo através de sucos, doces, geleias e empregadas na medicina popular e farmacêutica devido às suas propriedades anti-inflamatória, anticancerígena e a presença de metabólitos secundários como taninos, flavonóides, terpenóides e alcalóides (Mota et al., 1985; Kubo et al., 1993; Luiz-Ferreira et al., 2008; Urzeda et al., 2013; Royo et al., 2015; Lima Júnior, 2021; Costa et al., 2021; Santos et al., 2023).

Ao longo da evolução, plantas e microorganismos adaptaram-se uns aos outros desenvolvendo encadeamentos positivos e negativos. Nos negativos ocorre a interação entre um patógeno (microrganismo) e a planta (hospedeiro) que resulta em uma enfermidade, ou seja, alterações fisiológicas na planta que afeta o metabolismo, órgãos e cor da mesma (Chilsholm et al., 2006; Boller et al., 2009; White et al., 2018).

Relações positivas são aquelas em que um microrganismo se hospeda nos tecidos interno das plantas sem ocasionar uma enfermidade ou dano, ajudando promover a saúde da planta, caracterizado por relações mutualísticas, estes microorganismos recebem o nome de endófitos, e essa relação é bastante comum e ocorre na maioria das espécies de modo geral, além das espécies que habitam o solo próximo a zona radicular das plantas (rizosfera), conhecido como microrganismos rizosféricos (Jhonston-Monje et al., 2011; Ahemad et al., 2013; White et al., 2019).

Os microrganismos benéficos podem atuar de diversas formas para contribuir com a saúde da planta, por exemplo: solubilizando nutrientes, aumentando a zona de absorção radicular, ajudando no processo de defesa contra patógenos e pragas, aumentando a tolerância a estresses abióticos, entre outros (Redman et al., 2002; Soares et al., 2012; Izarry et al., 2018; White et al., 2019).

Estes microrganismos beneficiam as plantas estimulando a formação de pelos radiculares nas raízes e solubilizando nutrientes, enquanto as plantas estimulam o crescimento dos mesmos através da secreção de exsudatos radiculares ao redor do meristema da raiz (White et al., 2019). Diante do exposto, a adição artificial de populações microbianas ao solo, conhecidos como microrganismos promotores de crescimento, que atuam de modo similar as populações nativas, acabam por gerar efeitos benéficos (Souza et al., 2017; Leite et al., 2023).

E para promover o crescimento de plantas, estes microrganismos podem atuar de 3 formas, (i) sintetizando fito hormônios que estimulam o desenvolvimento da planta, como auxina e giberelina; (ii) solubilizando micro e macronutrientes; e (iii) atuando como agente de defesa contra patógenos por meio da competição por nutrientes, indução de resistência sistêmica da planta e produção de antimicrobianos e metabólitos secundários (Silva et al., 2025).

Atualmente, tal prática se tornou comum nos ambientes de produção, principalmente para aumentar a eficiência dos fertilizantes minerais, diminuindo a quantidade aplicada e, portanto, diminuindo o custo de produção (Spolaor et al., 2016).

Contribuindo no aumento da produção agrícola, trazendo competitividade e inovação para o mercado (Diaz; Baron; Rigobelo, 2019; Limaabe et al., 2023).

Por outro lado, produtores e pesquisadores enfrentam desafios em relação à eficiência desses produtos em condições de campo, se deparando com situações de variabilidade e inconsistência dos resultados. A ineficiência dos produtos biológicos pode estar relacionada com as condições físicas e químicas do solo, técnicas de aplicação e mistura de tanques incorretos, temperatura do solo e armazenamento inadequado (Inculet et al., 2019).

Outra prática importante é à adição de adubos minerais, contendo macro e micronutrientes que são indispensáveis para o vigor e desenvolvimento das plantas (Chaves; Carneiro; Barroso, 2006; Lustosa Filho et al., 2015). Portanto, a nutrição equilibrada das plantas propicia um melhor desenvolvimento nos ambientes de produção, tanto no campo quanto no viveiro, fazendo com que esta prática se torne indispensável na produção de mudas (Gabira et al., 2020; Mikula et al., 2020; Limaabe et al., 2023).

Ademais, uma tecnologia que vem ganhando espaço na produção de mudas são os fertilizantes de liberação lenta, por disponibilizarem os nutrientes na taxa ou concentração desejada, mantendo-se por mais tempo no solo, se tornaram uma alternativa econômica e eficiente, reduzindo a frequência de aplicação e a lixiviação (Lawrencia et al., 2021).

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Objetiva-se com esta pesquisa avaliar a influência isolada e sinérgica da adubação com fertilizante de liberação lenta e da inoculação com microrganismos (*Azospirillum brasilense*, *Pseudomonas fluorescens* e *Trichoderma harzianum*) no desenvolvimento inicial, no comportamento fisiológico e bioquímico de mudas de cajuzinho-do-cerrado (*Anacardium humile* St. Hil.).

2.2 Objetivos específicos

1. Mensurar o crescimento inicial e o acúmulo de biomassa das mudas em resposta aos diferentes tratamentos, por meio de variáveis biométricas e de relações de crescimento;
2. Correlacionar o comportamento fisiológico das plantas através da avaliação das trocas gasosas com as variáveis biométricas;
3. Correlacionar o perfil bioquímico foliar das mudas por meio da quantificação dos teores de pigmentos fotossintéticos com as variáveis biométricas;
4. Identificar interações sinérgicas entre a adubação química e as combinações consorciadas de bioinoculantes (co-inoculação dupla e tripla), visando determinar o manejo fitotécnico mais eficiente para a produção de mudas da espécie.

3. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada no período de setembro de 2024 a agosto de 2025. Foram coletadas sementes de cajuzinho-do-cerrado (*Anacardium humile* St. Hil), descartando aquelas com sintomas visuais de ataque de pragas e/ou doenças. As coletas aconteceram no Parque Nacional das Emas, localizado nas coordenadas 18°6’23’’ S e 52°55’40’’ O, localizada entre os municípios de Mineiros e Chapadão do Céu/GO, e parte de Costa Rica/MS (Figura 1).

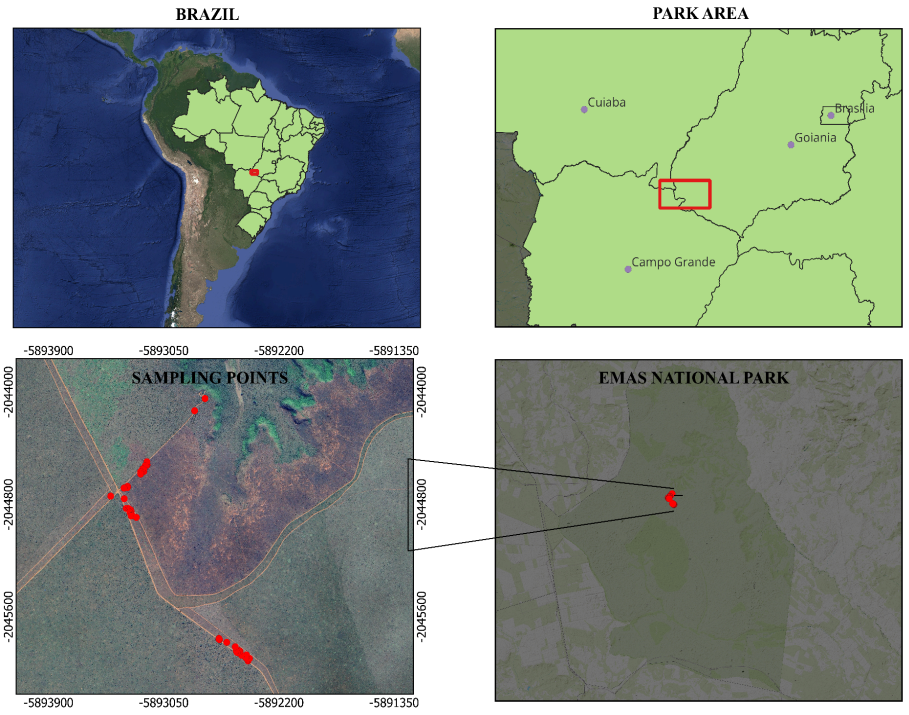


Figura 1 – Localização do Parque Nacional das Emas e dos pontos de coleta dos acessos de cajuzinho-do-cerrado.

As sementes foram dispostas sobre bancada à sombra, por um período de cinco dias para secagem em temperatura ambiente (25,0 ± 0,5 ºC). Após essa etapa, essas foram semeadas a 2 cm de profundidade, em bandejas plásticas de 50 células preenchidas com composto orgânico (TropStrato®). O substrato utilizado apresentava pH de 5,8 ± 0,3, condutividade elétrica de 1,2 ± 0,3 mS cm^{-1} e capacidade de retenção de água de 130% (p:p).

Após a semeadura, as bandejas foram colocadas em casa de vegetação com circulação de ar forçada e sistema Pad&Fan, temperatura média de 28 ± 2ºC, sob tela termorrefletora com 50% de sombreamento. A irrigação foi programada automaticamente e realizada às 9h, 12h e 15 horas, por 5 minutos, com vazão de 120 L h^{-1}.

Aos 80 dias após a semeadura, as mudas produzidas foram transplantadas para copos plásticos de 500ml preenchidos com solo (Tabela 1), e a adubação, quando realizada, foi incorporada ao solo antes de transplantar as mudas. Foi utilizado o adubo de liberação lenta Forthcote® (15-09-12) na dose de 6 g L^{-1} de solo. O adubo apresentava os níveis de garantia de nutrientes: Cobre (Cu) de 0,05%; Enxofre (S) de

6%; Ferro (Fe) de 0,46%; Magnésio (Mg) de 1,3%; Manganês (Mn) de 0,06%; Nitrogênio (N) de 15%; Fósforo (P_2O_5) de 9%; e Potássio (K_2O) de 12%.

Após 7 dias do transplantio foi realizado a inoculação dos microrganismos via pulverização foliar. A solução dos inoculantes foi preparada misturando 10 ml do produto comercial em 1 L de água deionizada e então foram aplicados com auxílio de um borrifador. Os tratamentos realizados foram: (A) *Azospirillum brasilense* – Cepas AbV5 AbV6 ($2x10^8$ UFC mL^{1-}); (T) *Trichoderma harzianum* isolado IBLF006 ($1x10^{10}$ UFC g^{-1}); e (P) *Pseudomonas fluorescens* cepa CCTB03 (2×10^8 UFC mL^{-1}).

Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado, com 10 repetições, contabilizando 9 tratamentos sendo eles: (SEM) sem adubação e sem microrganismos; (COM) com adubação e sem microrganismo; (A) com adubação + A; (P) com adubação + P; (T) com adubação + T; (A+P) com adubação + A + P; (A+T) com adubação + A + T; (P+T) com adubação + P + T; e (A+P+T) com adubação + A + P + T.

Tabela 1. Análise do solo utilizado no experimento*.

pH	**V**	**Al^{3+}**	**H + Al**	**K**	**Ca**	**Mg**	**SB**	**CTC**
$CaCl_2$	*%*				*$mmol_c\ dm^{-3}$*			
5,0**	64	3	18	2,5	14	15	31,5	49,5
MO	**P_{resina}**	**B**	**Cu**	**Fe**	**Mn**	**Zn**	**$S\text{-}SO_4^{-2}$**	
g/dm^3				*$mg\ dm^{-3}$*				
22	5	0,10	1,2	41	16,1	0,6	9	

*Fonte: Laboratório de Análise de Solos – UNESP - FEIS
**As cores dos valores representam os níveis: Alto Médio Baixo

Após 65 dias do transplantio, foram avaliadas as variáveis biométricas: comprimento da parte aérea (CPA) – mensuradas da base do caule até o ápice caulinar; comprimento do sistema radicular (CSR) – mensuradas da base do caule até o ápice radicular; diâmetro do caule (DC) – medido na base do colo da planta com auxílio de paquímetro digital (0,001); número de folhas (NF) – contabilizado as folhas totalmente expandidas; área foliar (AF) - as folhas de cada muda foram escaneadas e mensuradas com auxílio do programa ImageJ; e massa seca total (MST).

Para obtenção da massa seca as plantas foram colocadas em sacos de papel, secas em estufa com circulação de ar a 65ºC por 72 horas e, quando atingiram a massa constante, foram pesadas em balança analítica de precisão (0,0001 g). A partir desses dados, foram realizados os cálculos das relações: acúmulo de biomassa na parte aérea (%) (ABPA), acúmulo de biomassa no sistema radicular (%) (ABSR).

Foi coletada uma muda que melhor representasse o tratamento e, com auxílio do analisador de gás infravermelho IRGA (ADC BioScientific Ltd, modelo LC-Pro), em densidade de fluxo de fótons fotossintéticos de 1200 μmol fótons m^{-2} s^{-1}, fluxo de ar de 200 mL min^{-1} e em nível de CO_2 ambiente e temperatura da câmara em 28°C, avaliou-se: transpiração (E) (mmol H_2O m^{-2} s^{-1}); concentração interna de CO_2 na câmara subestomática (Ci) (μmol CO_2 mol^{-1}); condutância estomática (gs) (mol H_2O m^{-2} s^{-1}); e taxa fotossintética líquida (A) (μmol CO_2 m^{-2} s^{-1}). Na posse dos dados foi quantificado a eficiência do uso da água (EUA) e eficiência instantânea de carboxilação (EiC).

Após a quantificação das trocas gasosas, foi realizada a extração e quantificação dos pigmentos fotossintéticos de acordo com as equações e comprimentos de onda propostos por Lichtenthaler (1987). Para isso, utilizaram-se 500 mg de folhas maceradas e congeladas com a adição de 5 mL de acetona 80% (v/v), sendo as amostras armazenadas durante 24h em geladeira, ao abrigo da luz. Após esse período, o extrato foi centrifugado para a obtenção de um sobrenadante límpido.

Devido à alta concentração dos pigmentos, as alíquotas do extrato foram diluídas em acetona 80% na proporção de 1:5 (v/v). As leituras de absorbância foram efetuadas em espectrofotômetro nos comprimentos de onda de 470,0 nm, 646,8 nm e 663,2 nm para a determinação de clorofilas *a*, *b*, total (Cloro_A, Cloro_B e Cloro_Total) e carotenoides totais. Para a quantificação de feofitinas *a*, *b* e total (Feo_A, Feo_B e Feo_Total), as amostras foram acidificadas com HCl [10%] e lidas novamente nos comprimentos de onda de 653,4 nm e 665,4 nm.

Em posse dos dados de crescimento, as pressuposições de normalidade dos resíduos e de homogeneidade de variâncias foram verificadas pelos testes de Shapiro-Wilk (Shapiro; Wilk, 1965) e Levene (Levene, 1960), respectivamente. Para as variáveis que não atenderam a tais pressuposições, realizou-se a transformação dos dados: DC, NF e MST foram submetidos à transformação de Box-Cox, ao passo que CPA e AF foram transformados por meio da raiz quadrada de $x + 1$. Após o atendimento às pressuposições, procedeu-se à análise de variância (ANOVA) pelo teste F a 5% de probabilidade. Quando constatada diferença significativa, as médias foram comparadas pelo Teste Scott-Knott a 5% de probabilidade, utilizando o software SISVAR 5.6 (Ferreira, 2011).

As análises multivariadas foram realizadas no ambiente de computação científica (R Core Team, 2026). Para equalização do tamanho amostral, utilizou-se a matriz com os valores médios por tratamento de todas as variáveis estudadas.

Determinou-se a matriz de coeficientes de correlação de Spearman, cuja significância estatística foi avaliada por meio do teste *t* de Student (α= 0,05). A matriz foi representada graficamente por um heatmap (pacote *corrplot*), omitindo-se correlações não significativas (p≥0,05).

Realizou-se também, a análise de componentes principais (PCA) por meio do pacote *FactoMineR*, aos quais os dados originais foram padronizados por escala unitária, devido à diferença de escala entre as variáveis. Os resultados foram projetados em um gráfico bidimensional do tipo *Biplot* construído com o suporte do pacote *ggplot2*.

Para a classificação dos tratamentos em grupos homogêneos, submeteu-se a matriz numérica a uma Análise de Agrupamento Hierárquico (HCA), com dados padronizados por escore Z. Foi calculada a distância Euclidiana e o agrupamento seguiu o método de Ward. O número ideal de agrupamentos (*k*) foi determinado pelo critério de Mojena (1977), adotando-se a constante de corte estrita *k* = 1,25. O nível crítico de fusão (θ) foi calculado pela fórmula:

$$\theta = \underline{h} + 1,25.\sigma_{\alpha}$$

Onde: $\underline{h}$ representa a média aritmética das distâncias de fusão e σ_{α} corresponde ao desvio padrão dessas distâncias. A árvore de agrupamento foi gerada através do pacote *factoextra*.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O cajuzinho-do-cerrado ainda é considerado uma frutífera selvagem, com poucos estudos a respeito do seu comportamento, desenvolvimento e resposta a intervenções humanas, como adubação, inoculação, irrigação entre outros aspectos agronômicos. Portanto, encontrar resultados que evidenciam, por exemplo, que à adubação mineral impacta significativamente no desenvolvimento da planta, com destaque para o crescimento da parte aérea, o aumento da clorofila e pigmentos relacionados com a fotossíntese, é de suma importância.

Conforme os resultados a seguir, foi possível verificar que a inoculação com microrganismos, em alguns tratamentos, contribuiu para o desenvolvimento da planta, quando comparada ao tratamento controle, um achado interessante, uma vez que em um estudo conduzido por Santos et al. 2018, dentre 12 espécies avaliadas, não foram

encontrados efeitos significativos de inoculação para a maioria das frutíferas tropicais do Cerrado (Leite et al., 2023).

Para um microrganismo ser considerado promotor de crescimento, ele deve atender alguns critérios, (I) ser capaz de colonizar o sistema radicular da planta, (II) conseguir sobreviver, proliferar e competir com a microbiota presente no solo, no mínimo, por um período necessário para expressar seus benefícios à planta, (III) beneficiar a planta através de algum mecanismo (Ahemad et al., 2013).

Apenas 2% a 5% dos microrganismos, quando introduzidos no solo via inoculação, conseguem atender esses critérios e expressar algum tipo de efeito benéfico ao desenvolvimento da planta (Ahemand et al., 2013). Logo, diante dos resultados apresentados a seguir, pode-se inferir que os microrganismos inoculados, obtiveram sucesso em contemplar esses critérios e contribuíram para o desenvolvimento das mudas, como observado para DC, NF, CPA, AF, MST, ABSR e ABPA (Tabela 2).

Tabela 2. Análise de variância para as variáveis de crescimento de mudas de cajuzinho-do-cerrado.

Fonte de Variação	**CSR**	**DC**[1]	**NF**[1]	**CPA**[1]
	Quadrado Médio			
Tratamentos	2,6643[NS]	0,2687*	64,1022*	1,6535*
CV (%)	20,69	12,13	24,33	16,05
Média geral**	5,61	5,30	13,49	12,25
Fonte de Variação	**AF**[1]	**MST**[1]	**ABSR**	**ABPA**
	Quadrado Médio			
Tratamentos	76,7059*	2,5634*	390,5619*	390,5619*
CV (%)	17,48	35,25	35,50	15,74
Média geral**	274,59	4,91	30,72	69,28

[NS]Não significativo e *significativo pelo teste F a 5% de probabilidade; **Médias gerais originais; [1]Dados transformados por Box-Cox (para DC, NF e MST) e por $\sqrt{x+1}$ (para CPA e AF). CSR: Comprimento do sistema radicular; DC: Diâmetro do Caule; NF: Número de folhas; CPA: Comprimento da parte aérea; AF: Área Foliar, MST: Massa seca total; ABSR: Acúmulo de biomassa no sistema radicular; ABPA: Acúmulo de biomassa na parte aérea.

Observando os gráficos à seguir, dentre todas as variáveis analisadas, exceto para o CSR, foi possível constatar que tanto o tratamento apenas com adubação ou os tratamentos com adubação e inoculação de microrganismos mostraram-se superior ao tratamento controle, indicando que tanto a adubação quanto a inoculação impactaram positivamente no desenvolvimento da planta (Figura 2).

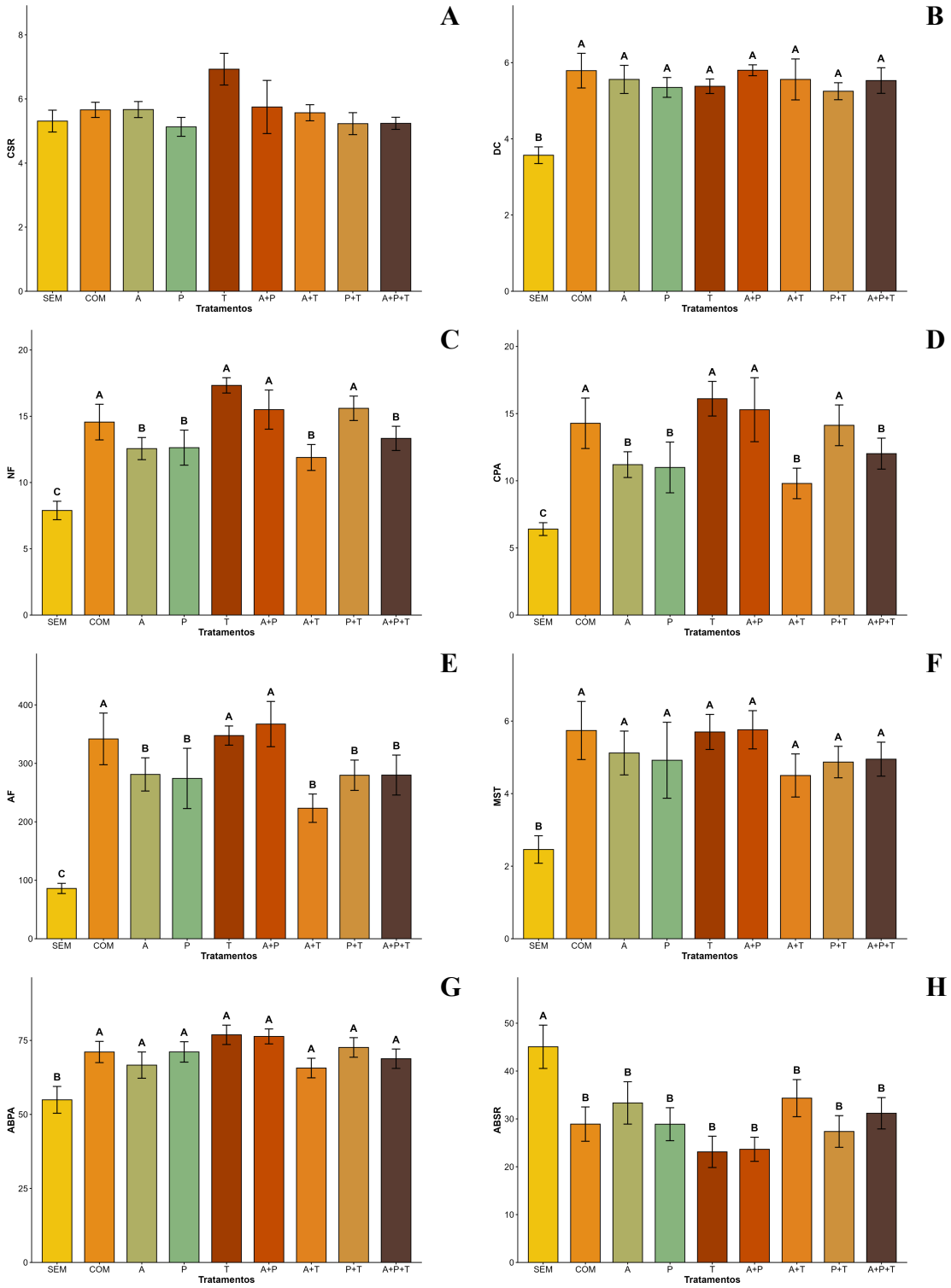


Figura 2 – Valores médios para as variáveis CSR (cm); DC (mm); NF; CPA (cm); AF (cm2); MST (g); ABPA e ABSR (%) de mudas de cajuzinho-do-cerrado em função da adubação e inoculação.

Ao contemplar a Figura 2B, nota-se que o DC foi influenciado positivamente pela adubação e adubação + inoculação com microrganismos, com destaque para o tratamento (A + P), com uma média de 5,80 mm, apesar de não diferir estatisticamente

dos demais tratamentos. Para NF, Figura 2C, a maior média, 17,33 folhas, foi encontrada para o tratamento (T), ficando bem à frente dos demais tratamentos.

Em linhas gerais, mudas com um maior DC tendem a se sobressair no campo (Diniz et al., 2018), um caule mais espesso é capaz realizar uma maior translocação de solutos do sistema radicular para a parte aérea das mudas (Steffen et al., 2019), o que reflete em mudas mais vigorosas (Limaabe et., 2023).

Vale ressaltar que em função da variabilidade genética que ocorre em *A. humile,* as plantas costumam apresentar alta heterogeneidade quando se trata de características fenotípicas, como por exemplo, os frutos e até no tamanho das plantas (Santos et al., 2020), o que também acontece para à variação no tamanho e número folhas (Gomes et al., 2020).

A variável CPA, Figura 2D, apresentou resultados semelhantes ao NF, com destaque novamente para o tratamento (T) que apresentou uma média de 16,11 cm. Já na Figura 2E, observa-se que a AF, obteve uma média maior com o tratamento (A + P) com um valor de 367,22 cm².

Importante salientar que, a altura da planta é um fator importante para determinar a qualidade da muda, visto que mudas que apresentam uma maior altura inicial, perpetuam essa vantagem ao longo do tempo, desenvolvendo uma maior parte aérea como um todo, conferindo vantagem em ambientes com vegetação competidora (Grossnickle et al., 2017).

Comumente, aquelas mudas que manifestam um crescimento superior da parte aérea, possuem uma maior AF, o que permitem que captem mais luz solar, e, portanto, consigam maior energia, o que, consequentemente, aumenta a manutenção de taxas fotossintéticas adequadas, favorecendo a produção de biomassa das plantas (Smiderle; Souza, 2016; Limaabe et al., 2023).

Como era de se esperar, para a variável MST, apesar de não apresentar diferença estatisticamente, as maiores médias foram encontradas nos tratamentos (T) e (A + P), com valores médios de 5,70 e 5,76 g, respectivamente, como mostra a Figura 2F.

Por fim, na Figura 2G, para o ABPA, os tratamentos com maiores médias também foram o (T) e (A + P), porém não diferiram estatisticamente dos demais. Observando a Figura 2H, nota-se que o ABSR, teve um comportamento oposto das demais variáveis, com o maior valor médio encontrado para o tratamento sem adubação, (SEM).

A explicação mais provável para tal comportamento, se deve ao fato de que a partir do momento em que a planta encontra uma menor disponibilidade de nutrientes no solo, ela direciona mais energia para o sistema radicular, o que geralmente reflete em um maior comprimento do sistema radicular a acúmulo de biomassa, principalmente na ausência de N, desenvolvendo uma área de contato maior e assim, podendo buscar por nutrientes em uma área e profundidade maior (Hermans et al., 2006; Lopez et al., 2023).

Analisando o gráfico à seguir é possível constatar se uma variável tem correlação com a outra e qual a natureza desta correlação, se é positiva ou negativa, quando for positiva, significa que, se o valor de uma variável aumenta a da outra variável também irá aumentar e o oposto para correlações negativas (Figura 3).

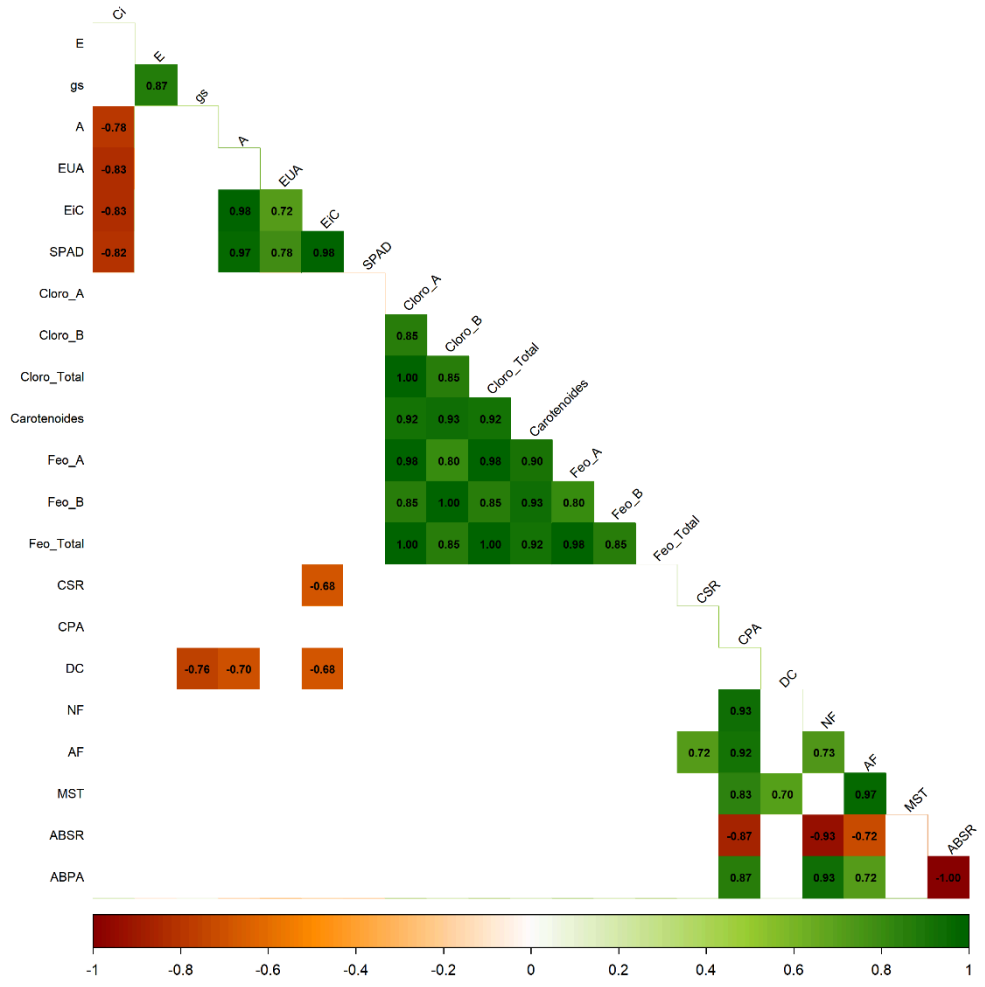


Figura 3 – Correlação de Spearman para as variáveis avaliadas nas mudas de cajuzinho-do-cerrado.

Analisando a parte inferior do gráfico, no primeiro quadrante, constata-se que as variáveis da parte aérea da planta (NF, AF, MST, DC, CPA E ABPA) possuem correlações positivas entre si e correlações negativas com o ABSR, o que respeita a lógica, uma vez que quando os valores das variáveis relacionadas com a parte aérea aumentam, consequentemente a biomassa também, o que atenua o acúmulo de biomassa no sistema radicular (Qi et al., 2019).

Já no segundo quadrante, notou-se uma correlação negativa entre o DC e as variáveis (gs), (A) e (EiC), tal efeito pode ser explicado por diversos fatores indiretos, por exemplo, tratamentos que favoreceram o engrossamento do caule levando a planta a diminuir a atividade fotossintética e a assimilação de fotoassimilados no momento da avaliação, ou até mesmo uma estratégia de uso eficiente da água da planta (Pignon et al., 2021).

Uma vez que plantas com maior capacidade de armazenamento de água, naturalmente, possuem uma menor abertura estomática, o que reflete na diminuição na entrada de CO_2 e, por consequência, na taxa fotossintética, o que explicaria a correlação negativa para essas três variáveis (Bertolino et al., 2019; Pignon et al., 2021).

Também foi encontrado uma correlação negativa para o CSR e o (EiC), uma possível explicação seria a maneira que a planta alocou recursos para o sistema radicular e metabolismo fotossintético, aquelas que apresentaram maior expansão radicular podem ter direcionado parte dos fotoassimilados para a formação e elongação das raízes, resultando em menor eficiência de assimilação de carbono por unidade de CO_2 disponível no mesófilo foliar (Qi et al., 2019).

Enquanto para os teores de clorofila, feofitina e carotenoides (Cloro_A, Cloro_B, Cloro_Total, Carotenoides, Feo_A, Feo_B, Feo_T) foi encontrado uma correlação positiva entre eles, uma vez que esses compostos atuam na mesma reação química (fotossíntese), fazendo parte do sistema de captação e transferência de energia luminosa, desempenhando funções complementares e interdependentes. Dessa forma, aumentos na concentração de um pigmento tendem a ser acompanhados por aumentos nos demais (Sun et al., 2023; Orzel et al., 2024; Nguyen et al., 2025).

No terceiro quadrante, entre as variáveis de trocas gasosas, a Ci, apresentou uma correlação negativa com (A), (EUA), (EiC) e SPAD, resultado coerente, uma vez que essas variáveis estão diretamente relacionadas com a fotossíntese, então se a concentração interna de CO_2 aumenta, significa que a planta está fazendo menos

fotossíntese, e se a concentração diminui, a planta está fazendo mais fotossíntese (Pignon et al., 2021).

O Índice SPAD, que basicamente se refere ao teor de clorofila nas folhas da planta, deteve correlações positivas com o (A), (EUA) e (EiC), estas correlações é extremamente plausível e coerente do ponto de vista biológico, já que a clorofila é o principal pigmento responsável pela absorção de energia luminosa, o que reflete no desempenho fotossintético da planta (Nguyen et al., 2025).

Naturalmente, também foi notado uma correlação positiva entre o (EiC) e o (A) e (EUA), por razões óbvias, a eficiência com que o CO_2 presente na folha é convertido em carboidratos está diretamente relacionado com a (A) e a capacidade da planta em fixar carbono em detrimento da perda de água (EUA). E por fim a variável (gs), com uma correlação positiva com o (E), o que faz sentido, já que quando a condutância estomática aumenta a transpiração é maior (Pignon et al., 2021).

A PCA (Análise de Componentes Principais) permitiu a redução da dimensionalidade do conjunto de dados, facilitando a extração das variáveis de maior contribuição para a variância total e a visualização da dispersão dos tratamentos em um biplot bidimensional, formado pelos dois primeiros componentes principais (Dim1 e Dim2).

A Dim1, mostrou-se mais relevante, ilustrando cerca de 59% de toda a variação dos dados, enquanto a Dim2, explicou apenas 17% da variação (Figura 4). Somando as duas dimensões, temos cerca de 77%, o que reforça que o PCA conseguiu representar a realidade dos dados analisados.

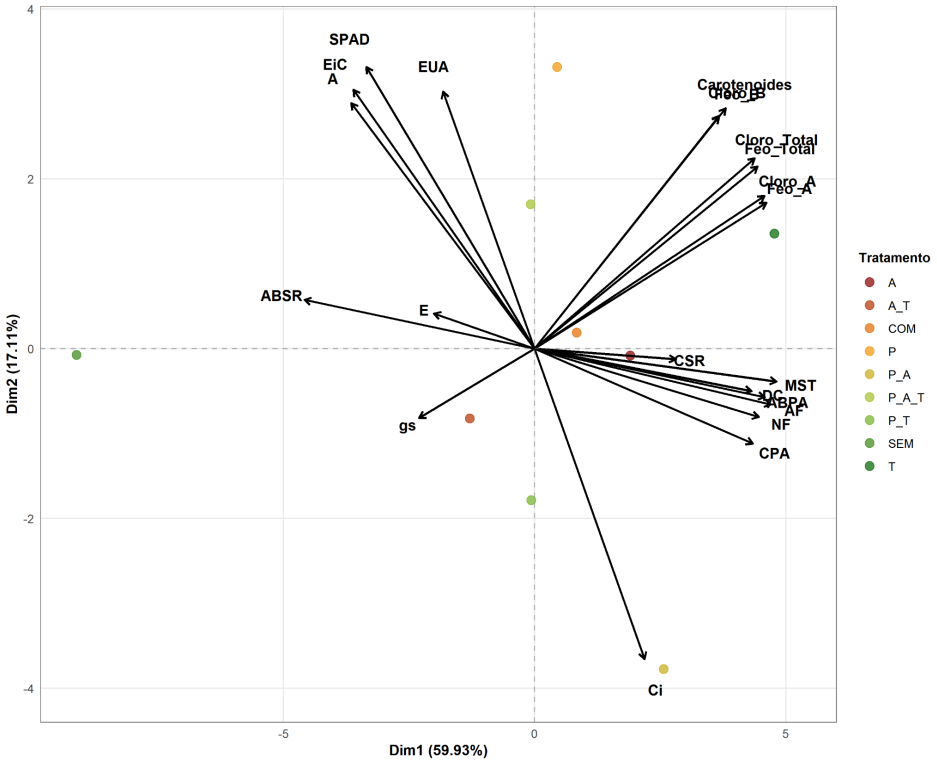


Figura 4 – Análise de Componentes Principais para os tratamentos aplicados e variáveis avaliadas em mudas de cajuzinho-do-cerrado.

Jardim et al. (2020) e Jardim et al. (2021) enfatizam que valores acumulados de variância total da PCA acima de 60% são bastante significativos, e a análise de componentes principais é de grande importância para a compreensão das características morfométricas e de possíveis estimativas de produtividade em espécies vegetais.

Na figura 4, no gráfico de PCA, as setas representam as variáveis que foram avaliadas no experimento, enquanto os círculos coloridos representam os diferentes tratamentos testados. O comprimento das setas representa o tamanho da variação explicada pelas dimensões de uma certa característica, enquanto o ângulo representa a correlação entre as variáveis.

Aquelas variáveis que apontam para a mesma direção estão positivamente correlacionadas, sendo que, quanto menor o ângulo entre elas, maior o seu nível de correlação, as variáveis que apontam para lados contrários estão negativamente correlacionadas, e as perpendiculares entre si, ou seja, formando um ângulo de 90º, não possuem correlação direta.

Logo, quando analisamos o gráfico de PCA (Figura 4), podemos perceber as correlações parecidas com o que ocorreu no gráfico de Spearman, ou seja, as variáveis morfológicas da parte aérea, estão negativamente correlacionadas com o ABSR, e as variáveis que indicam uma maior taxa fotossintética como (EUA, EiC e A) estão

negativamente correlacionadas com o (Ci), uma vez que um maior acúmulo interno de CO_2 significa uma menor taxa fotossintética (Pignon et al., 2021).

Outro dado interessante, é a correlação negativa entre (E) e as variáveis morfológicas de parte aérea, indicando que aquelas plantas que tiveram uma maior taxa de respiração, desenvolveram menos sua parte aérea, correlação admissível, visto que uma alta taxa de respiração aumenta a perda de água e diminui a eficiência fotossintética (Bertolino et al., 2019).

Também foi observado uma correlação negativa entre (gs) e os pigmentos fotossintéticos, o que, do ponto de vista fisiológico, uma possível explicação seria que aquelas mudas com maiores teores de pigmentos fotossintéticos, possuem um aparato fotossintético mais eficiente, tendo uma menor necessidade de manter os estômatos abertos (Zhang et al., 2025).

Quando se trata dos pontos coloridos, que representam os tratamentos, a interpretação é que aqueles que estão perto uns dos outros são similares em suas características gerais. Enquanto os pontos distantes são diferentes entre si.

Observando a posição dos pontos em relação as setas, são possível aferir uma correlação positiva ou negativa entre as variáveis e tratamentos, pontos próximos as setas, indica que aquele tratamento apresentou valores altos para a variável em questão (seta), por exemplo, se observarmos as variáveis de parte aérea, percebemos que o tratamento (A), obteve valores altos para todas essas variáveis, enquanto o tratamento (SEM), apresentou valores inferiores.

Nota-se que o tratamento (T) se destacou nos valores médios das variáveis de parte aérea, apresentou valores altos para as variáveis de pigmentos da clorofila, o que faz sentido, uma vez que colaborando para um aumento da taxa fotossintética da planta, indiretamente influencia no desenvolvimento da parte aérea (Sun et al., 2023).

Já o tratamento (A + P), que também apresentou valores médios elevados para as variáveis de parte aérea, apontou altos valores de concentração interna de CO_2, uma possível interpretação seria que a planta desenvolveu uma capacidade de captação de CO_2 elevada, tornando-o abundante no mesófilo foliar (Ancín et al., 2024).

Outro ponto é que foram feitas medidas instantâneas de trocas gasosas, enquanto as variáveis biométricas representam um crescimento acumulado ao longo do tempo, diante disso, a muda que cresceu muito ao longo do experimento, pode ter acumulado mais CO_2, o qual foi registrado no dia da avaliação.

Na Figura 4 pode-se observar uma separação no padrão dos tratamentos. A maioria das variáveis biométricas e de pigmentos fotossintéticos deslocam os dados para o lado direito do gráfico, sugerindo que os tratamentos que caem nesse lado tiveram um melhor desempenho geral nessas métricas em comparação com os tratamentos que caíram para o lado esquerdo.

Ademais, é importante ressaltar que, quando se analisa um gráfico de PCA, uma correlação negativa não comprova necessariamente uma relação fisiológica direta de causa e efeito, na maioria dos casos, indica apenas que as variáveis em questão atuaram em direções opostas ao longo dos componentes principais (Camacho et al., 2010).

A análise de agrupamento hierárquico pelo método de Ward, utilizando distância Euclidiana, permitiu identificar dois grupos principais entre os tratamentos avaliados, que foram definidos pelo critério de Mojena, representado pela linha vermelha tracejada (Figura 5).

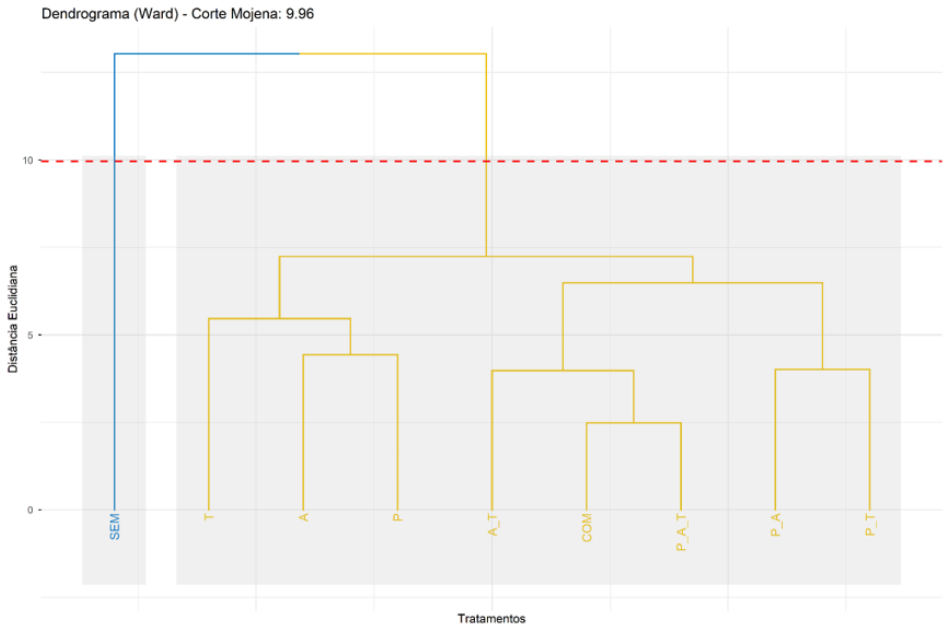


Figura 5 –Análise de Agrupamento Hierárquico dos tratamentos aplicados nas mudas de cajuzinho-do-cerrado.

O tratamento sem adubação e sem inoculação (SEM) constituiu um grupo isolado, a partir disso constata-se que este tratamento apresentou um comportamento muito distinto dos demais, ou seja, a ausência de adubação foi o fator que mais contribuiu para diferenciar o desenvolvimento das plantas.

No outro grupo temos os tratamentos com adubação e inoculação, sugerindo que, tanto as variáveis biométricas quanto as fisiológicas avaliadas no estudo, foram

fortemente influenciadas pela disponibilidade de nutrientes e pela ação dos microrganismos inoculados.

Para os subgrupos, os tratamentos inoculados de modo individual apresentaram resultados mais próximos uns dos outros, principalmente no que tange o tratamento com *Pseudomonas e Azospirillum,* talvez por ambas serem bactérias e atuarem de maneiras similares na planta. Tanto o *Pseudomonas*, quanto o *Azospirillum,* pertencem ao grupo das rizobactérias promotoras de crescimento, compartilhando dos mesmos mecanismos de ação, como a produção de fitohormônios, expansão do sistema radicular, entre outros, o que seria um possível fundamento por trás dessa similaridade nos resultados (Bashan and Bashan, 2010; Saeed et al., 2021; Satognon and Auku, 2026).

No próximo subgrupo, que está o tratamento apenas com adubação (COM), a inoculação com (A + T), e a coinoculação tripla (P+A+T), o agrupamento destes tratamentos sugere que estes não promoveram efeitos significante o suficiente para separá-los em outro grupo e diferenciá-los da ação da adubação, o que pode ter sido causado por uma sobreposição funcional entre os microrganismos (Ahemand et al., 2013).

Os outros dois tratamentos com a presença da *Pseudomonas,* pode indicar que esta espécie teve um impacto importante, gerando resultados biométricos e fisiológicos semelhantes para ambos os tratamentos.

Uma coerente explicação para tal, se deve ao fato de que a espécie de *Pseudomonas* possui uma alta capacidade de solubilizar nutrientes do solo, principalmente fósforo e nitrogênio, nutrientes que impactam diretamente no desenvolvimento da planta, também pode ser explicado pela taxa de sobrevivência e sucesso de colonização desta cepa (Satognon; Akuku, 2026).

Consoante os resultados, nota-se que a disponibilidade nutricional foi o principal fator de diferenciação entre os tratamentos, enquanto os tratamentos com microrganismos atuam como moduladores do desenvolvimento vegetal, com diferenças sutis, insuficientes para formar grupos independentes.

Não obstante, o modo no qual estes microrganismos atuaram podem ter sido diversos, solubilizando nutrientes, atenuando danos causados por pragas e doenças, conferindo resistência a estresses abióticos. O fato é que aumentar a produtividade de uma espécie, sem impactar na qualidade do produto e na saúde dos solos agrícolas, é um grande avanço (White et al., 2018).

Contudo, a efetividade da inoculação depende de diversos fatores extrínsecos, relacionados ao ambiente, espécie vegetal e a cepa utilizada. Fatores como a sobrevivência do inóculo no solo; a seletividade do hospedeiro (planta); possível incompatibilidade e/ou antagonismo do inóculo com a população de microrganismos nativa do solo, entre outros fatores (Leite et al., 2023).

Dito isso, para tornar tal prática cada vez mais presente na agricultura, é de suma importância desenvolver uma melhor compreensão de como os microrganismos interagem com o solo e as plantas hospedeiras, com a finalidade otimizar a eficiência de aplicação destes produtos, desenvolvendo tecnologias que visam maximizar a produtividade agrícola (White et al., 2018).

5. CONCLUSÃO

De acordo com os resultados encontrados, conclui-se que a adubação mineral impactou significativamente no desenvolvimento das plantas de cajuzinho-do-cerrado, enquanto a inoculação com microrganismos, de maneira tênue, ajudou a maximizar os ganhos que a adubação trouxe, o que indica uma possível relação simbiótica desta espécie com os grupos de microrganismos estudados.

Vale ressaltar que, a contribuição dos microrganismos foi mais expressiva quando estes foram aplicados de maneira isolada, com exceção para as duas espécies de bactérias (A e P), que, quando aplicadas em conjunto, também forneceram bons resultados. A coinoculação das 3 espécies não surtiu um efeito expressivo, comparado com os demais tratamentos.

6. REFERÊNCIAS

AHEMAD, M. AND KIBRET M. Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: Current perspective. **Journal of King Saud University – Science** (2014) 26, 1–20. http://dx.doi.org/10.1016/j.jksus.2013.05.001

ANCÍN, M., GÁMEZ, A. L. JAUREGUI, I., GALMES, J., SHARWOOD, R. E., ERICE, G., AINSWORTH, E. A., TISSUE, D. T., SANZ-SÁEZ, A., & ARANJUELO, I. (2024). Does the response of Rubisco and photosynthesis to elevated [CO2] change with unfavourable environmental conditions?. **Journal of experimental botany**, *75*(22), 7351–7364. https://doi.org/10.1093/jxb/erae379

BASHAN, YOAV & DE-BASHAN, LUZ. (2010). How the Plant Growth-Promoting Bacterium Azospirillum Promotes Plant Growth—A Critical Assessment. **Advances in Agronomy** - ADVAN AGRON. 108. 77-136. 10.1016/S0065-2113(10)08002-8

BERTOLINO, L. T., CAINE R. S. AND GRAY J. E. (2019) Impact of Stomatal Density and Morphology on Water-Use Efficiency in a Changing World. **Front. Plant Sci.** 10:225. doi: 10.3389/fpls.2019.00225

CAMACHO, J., PICÓ, J., FERRER, A. Data understanding with PCA: Structural and Variance Information plots, **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**, Volume 100, Issue 1, 2010, Pages 48-56, ISSN 0169-7439, https://doi.org/10.1016/j.chemolab.2009.10.005.

COLLI, G.R., VIEIRA, C.R. & DIANESE, J.C. Biodiversity and conservation of the Cerrado: recent advances and old challenges. **Biodivers Conserv 29**, 1465–1475 (2020). https://doi.org/10.1007/s10531-020-01967-x

COSTA, T. R. et al. Gallic acid anti-myotoxic activity and mechanism of action, a snake venom phospholipase A2 toxin inhibitor, isolated from the medicinal plant *Anacardium humile*. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 185, p. 494–512, 2021.

COTA, L. G. et al. "Structure and genetic diversity of Anacardium humile (Anacardiaceae): a tropical shrub." ***Genetics and molecular research*** *: GMR* vol. 16,3 10.4238/gmr16039778. 27 Sep. 2017, doi:10.4238/gmr16039778

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

GOMES, R. F. et al. Leaf area estimation of *Anacardium humile.* **Revista Brasileira Fruticultura**, v. 42, n. 5, p. 1-8, 2020.

GROSSNICKLE, S.C., MACDONALD, J.E. Why seedlings grow: influence of plant attributes. **New Forests 49**, 1–34 (2018). https://doi.org/10.1007/s11056-017-9606-4

HERMANS, C., HAMMOND, J. P., WHITE, P. J., & VERBRUGGEN, N. (2006). How do plants respond to nutrient shortage by biomass allocation?. **Trends in plant science**, *11*(12), 610–617. https://doi.org/10.1016/j.tplants.2006.10.007

INCULET, C.-S.; MIHALACHE, G.; SELLITTO, V.M.; HLIHOR, R.-M.; STOLERU, V. The Effects of a Microorganisms-Based Commercial Product on the Morphological, Biochemical and Yield of Tomato Plants under Two Different Water Regimes. ***Microorganisms*** **2019**, *7*, 706. https://doi.org/10.3390/microorganisms7120706

KLINK, A.C.; MACHADO, B. R. A conservação do Cerrado brasileiro. **Megadiversidade**, v. 1, n. 1, p. 147-155, 2005.

LAWRENCIA, D.; WONG, S.K.; LOW, D.Y.S.; GOH, B.H.; GOH, J.K.; RUKTANONCHAI, U.R.; SOOTTITANTAWAT, A.; LEE, L.H.; TANG, S.Y.

Controlled Release Fertilizers: A Review on Coating Materials and Mechanism of Release**. Plants** 2021, 10, 238. https://doi.org/10.3390/plants10020238

LEITE, I., LEÃO, M., SANTIAGO, W. (2023). Desenvolvimento de mudas de açaizeiro em função da inoculação com microrganismos promotores de crescimento. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**. 16. 1-15. 10.17765/2176-9168.2023v16n4e10880.

LEVENE, H. Robust tests for equality of variances. In: OLKIN, I. et al. (ed.). **Contributions to Probability and Statistics: Essays in Honor of Harold Hotelling**. Palo Alto: Stanford University Press, 1960. p. 278-292.

LICHTENTHALER, H. K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. **Methods in Enzymology**, v. 148, p. 350-382, 1987.

LIMA JÚNIOR J. P. et al. *Anacardium humile* St. Hil as a novel source of antioxidant, antiglycation and α-amylase inhibitors molecules with potential for management of oxidative stress and diabetes**. Journal of Ethnopharmacology**, v. 268, p. 1-12, 2021.

LIMA, A. J. M., ABE, G. A. B. Produção de mudas de pimenteira-do-reino em diferentes substratos e com microorganismos promotores de crescimento. 2023. 63 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Agronomia) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Campus Capitão Poço, 2023. Disponível em: https://bdta.ufra.edu.br/jspui/handle/123456789/3390

LOPEZ, G. *et al*. Nutrient deficiency effects on root architecture and root-to-shoot ratio in arable crops. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, e1067498, 2023. DOI: https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1067498.

MAURANO, P. E. L. et al. Monitoramento do desmatamento do cerrado brasileiro por satélite – PRODES CERRADO. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 19, 2019, São José dos Campos. **Anais [...]** INPE, 2019.

MENDES, M. S. S., LUNAS, D. A. L., DE AMORIM, ÁLVARO J., MENDES, L. B. DE S., MAIA, D. S. B., FERREIRA, L. F., PRATES, J. B., PEIXOTO, N. D. N., DE SOUZA, M. D., DOS SANTOS, R. F., & CHAPINI, F. DE O. (2025). MONITORANDO O CERRADO: O PAPEL DAS TECNOLOGIAS NO CONTROLE DO DESMATAMENTO. **Revista De Geopolítica**, *16*(5), e830. https://doi.org/10.56238/revgeov16n5-055

MOJENA, R. Hierarchical grouping methods and stopping rules: an evaluation. **The Computer Journal**, v. 20, n. 4, p. 359-363, 1977.

NGUYEN, T. N. P., SUNG, J. Light Spectral-Ranged Specific Metabolisms of Plant Pigments. **Metabolites** 2025, 15, 1. https:// doi.org/10.3390/metabo15010001

ORZEŁ, Ł., DRZEWIECKA-MATUSZEK, A., RUTKOWSKA-ZBIK, D., KRASOWSKA, A., FIEDOR, L., VAN ELDIK, R., STOCHEL, G. Copper(II)-Assisted

Degradation of Pheophytin a by Reactive Oxygen Species. **Int. J. Mol. Sci**. 2024, 25, 1831. https://doi.org/10.3390/ijms25031831

PIGNON, C. P., FERNANDES, S. B., VALLURU, R., BANDILLO, N., LOZANO, R., BUCKLER, E., GORE, M. A., LONG, S. P., BROWN, P. J., & LEAKEY, A. D. B. (2021). Phenotyping stomatal closure by thermal imaging for GWAS and TWAS of water use efficiency-related genes. ***Plant physiology***, *187*(4), 2544–2562. https://doi.org/10.1093/plphys/kiab395

PURUGGANAN, D. M., Evolutionary Insights into the Nature of Plant Domestication, **Current Biology**, Volume 29, Issue 14, 2019, Pages R705-R714, ISSN 0960-9822, https://doi.org/10.1016/j.cub.2019.05.053.

QI, Y., WEI, W., CHEN, C., CHEN, C. Plant root-shoot biomass allocation over diverse biomes: A global synthesis, **Global Ecology and Conservation**, Volume 18, 2019, e00606, ISSN 2351-9894, https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00606.

R CORE TEAM. R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2026. Disponível em: https://www.R-project.org/.

ROYO, V. A. et al. Anatomy, Histochemistry, and Antifungal Activity of *Anacardium humile* (Anacardiaceae) Leaf. **Microscopy and microanalysis**, v. 21, n. 6, p. 1549-1561, 2015.

SAEED, Q.; XIUKANG, W.; HAIDER, F.U.; KUˇCERIK, J.; MUMTAZ, M.Z.; HOLATKO, J.; NASEEM, M.; KINTL, A.; EJAZ, M.; NAVEED, M.; et al. Rhizosphere Bacteria in Plant Growth Promotion, Biocontrol, and Bioremediation of Contaminated Sites: A Comprehensive Review of Effects and Mechanisms. **Int. J. Mol. Sci.** 2021, 22, 10529. https://doi.org/10.3390/ijms221910529

SANTOS, F. G. et al. Mass spectrometry-based untargeted metabolomics approaches for comprehensive structural annotation of bioactive metabolites from bushy cashew (*Anacardium humile*) fruits. **South African Journal of Botany**, v. 163, p. 121-134, 2023.

SATOGNON, F., AKUKU, V. Mechanisms of *Pseudomonas* spp. as plant growth promoting rhizobacteria: plant nutrition and biocontrol. **Antonie van Leeuwenhoek 119**, 141 (2026). https://doi.org/10.1007/s10482-026-02352-4

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality (complete samples). **Biometrika**, v. 52, n. 3-4, p. 591-611, 1965.

SILVA, J. V. da, OLIVEIRA, R. J. de, VIEIRA, L. da S., & SILVA, M. L. da. (2010). Domesticação florestal: técnicas, aspectos avaliados, propagação de espécies e sua importância para a manutenção da biodiversidade. **Revista Agrogeoambiental**, 2(2). https://doi.org/10.18406/2316-1817v2n22010270

SILVA, T. D., FERRAREZI, R. S., SELARI, P. J. R. G., DA SILVA, J. L. B., DA SILVA, M. V., MESQUITA, M., & DE OLIVEIRA, H. F. E. (2025). Microbial

Inoculation Strategies for Optimal Cherry Tomato Production. ***Physiologia plantarum***, *177*(6), e70655. https://doi.org/10.1111/ppl.70655

SUN, T., WANG, P., RAO, S., ZHOU, X., WRIGHTSTONE, E., LU, S., YUAN, H., YANG, Y., FISH, T., THANNHAUSER, T., LIU, J., MAZOUREK, M., GRIMM, B., & LI, L. (2023). Co-chaperoning of chlorophyll and carotenoid biosynthesis by ORANGE family proteins in plants. **Molecular plant**, *16*(6), 1048–1065. https://doi.org/10.1016/j.molp.2023.05.006

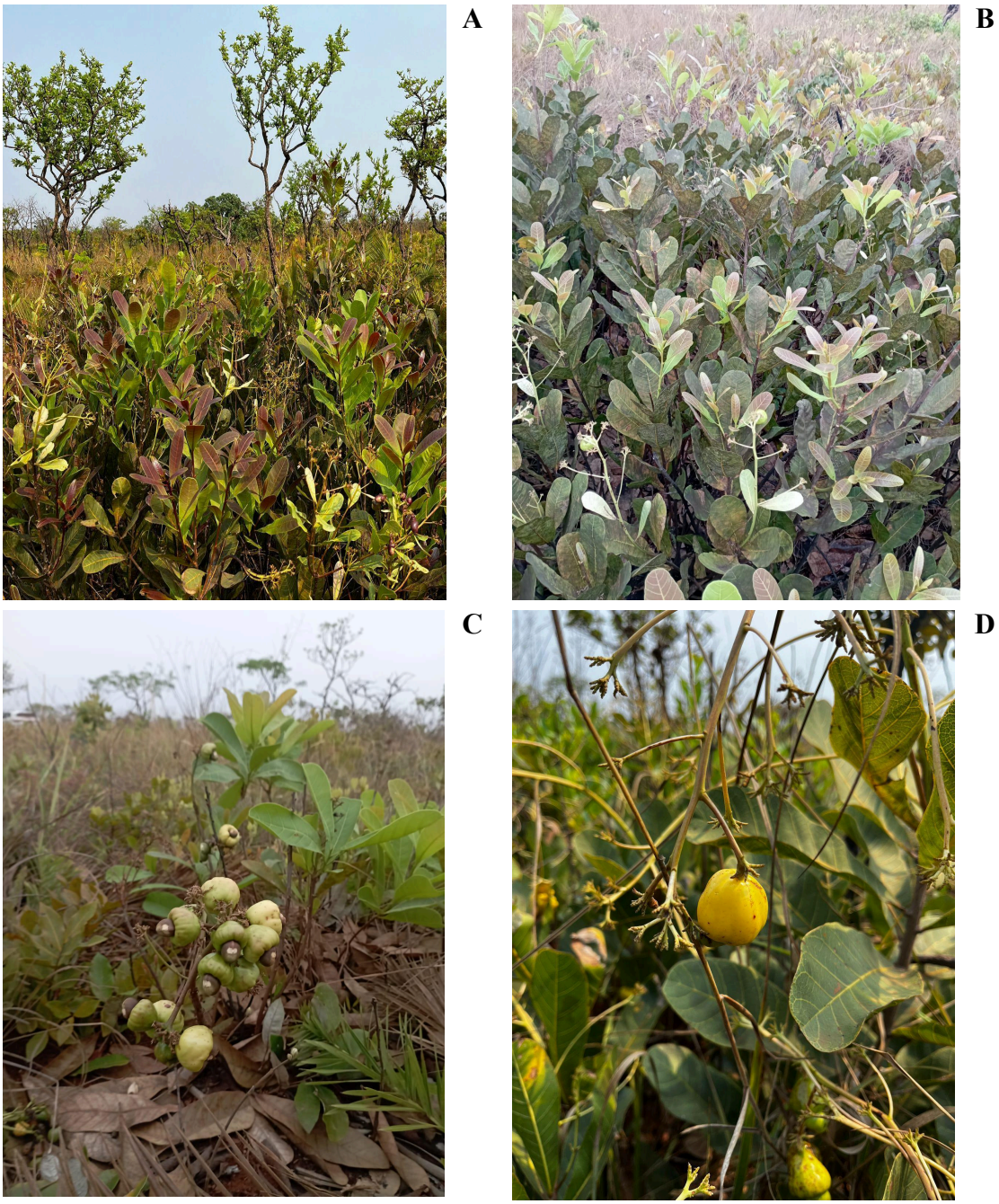
TODESCHINI V., AITLAHMIDI N., MAZZUCCO E., MARSANO F., GOSETTI F., ROBOTTI E., BONA E., MASSA N., BONNEAU L., MARENGO E., WIPF D., BERTA G. AND LINGUA G. (2018) Impact of Beneficial Microorganisms on Strawberry Growth, Fruit Production, Nutritional Quality, and Volatilome. **Front. Plant Sci**. 9:1611. doi: 10.3389/fpls.2018.01611

WHITE, J. F., KINGSLEY, K. L., VERMA, S. K., & KOWALSKI, K. P. (2018). Rhizophagy Cycle: An Oxidative Process in Plants for Nutrient Extraction from Symbiotic Microbes. ***Microorganisms***, *6*(3), 95. https://doi.org/10.3390/microorganisms6030095

WHITE, J. F., KINGSLEY, K. L., ZHANG, Q., VERMA, R., OBI, N., DVINSKIKH, S., ELMORE, M. T., VERMA, S. K., GOND, S. K., & KOWALSKI, K. P. (2019). Review: Endophytic microbes and their potential applications in crop management. ***Pest management science***, *75*(10), 2558–2565. https://doi.org/10.1002/ps.5527

ZHANG, FP., ZHAO, XD., HAN, LJ. *et al.* Leaf dry mass per unit area and leaf pigments underlying the higher stomatal conductance of deciduous species relative to evergreen species in *Dendrobium*. **Bot Stud 66**, 11 (2025). https://doi.org/10.1186/s40529-025-00457-z

ANEXO I
FOTOS DA PLANTA E PSEUDOFRUTO DO CAJUZINHO-DO-CERRADO



Plantas de cajuzinho-do-cerrado (*Anacardium humile* St. Hil) (A e B) e detalhe dos pseudofrutos verdes (C) e maduros (D).