



ROSAINA DE SOUSA VENEGA

**IMPACTOS DA DEFICIÊNCIA DE FÓSFORO E ZINCO NO
METABOLISMO E CRESCIMENTO INICIAL DE *Schizolobium*
*parahyba***

**LAVRAS-MG
2024**

ROSAINA DE SOUSA VENEGA

**IMPACTOS DA DEFICIÊNCIA DE FÓSFORO E ZINCO NO METABOLISMO E
CRESCIMENTO INICIAL DE *Schizolobium parahyba***

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fisiologia Vegetal, área de concentração em Fisiologia Vegetal, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Vitor de Laia Nascimento
Orientador

**LAVRAS-MG
2024**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Venega, Rosaina de Sousa.

Impactos da deficiência de fósforo e zinco no metabolismo e
crescimento inicial de *Schizolobium parahyba* / Rosaina de Sousa
Venega. - 2024.

30 p.

Orientador(a): Vitor de Laia Nascimento.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de
Lavras, 2024.

Bibliografia.

1. metabolismo vegetal. 2. nutrição mineral. 3. recuperação
ambiental. I. Nascimento, Vitor de Laia. II. Título.

ROSAINA DE SOUSA VENEGA

**IMPACTOS DA DEFICIÊNCIA DE FÓSFORO E ZINCO NO METABOLISMO E
CRESCIMENTO INICIAL DE *Schizolobium parahyba***

**IMPACTS OF PHOSPHORUS AND ZINC DEFICIENCY ON THE METABOLISM
AND INITIAL GROWTH OF *Schizolobium parahyba***

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fisiologia Vegetal, área de concentração em Fisiologia Vegetal, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 05 de setembro de 2024.
Dr. Adelson Lemes da Silva Junior UFLA
Dr. Nilo Cesar Queiroga Silva UFU

Prof. Dr. Vitor de Laia Nascimento
Orientador

**LAVRAS-MG
2024**

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida, pela saúde e pela força de vontade, sempre iluminando e me guiando pelo caminho certo.

Aos meus pais, Eudete Ribeiro de Sousa (mesmo agora em outro plano) e Roque Austria Venega por todo amor e carinho e pela confiança depositada em mim.

A minha irmã, Virginia de Sousa Venega, por todo o companheirismo, incentivo, apoio, sempre me ajudando quando mais precisava.

Ao meu namorado Ivan, pelo apoio nos momentos mais desafiadores, paciência e encorajamento ao longo desta jornada.

Ao meu orientador Prof.º Dr. Vitor de Laia Nascimento, por ter me acolhido em seu grupo de pesquisa, pela orientação, compreensão e confiança no meu trabalho.

Ao grupo de pesquisa Nascimento Lab por toda ajuda na execução dos experimentos.

Ao grupo de pesquisa LEV, pelo carinho e apoio durante meu período de estágio docência, em especial a Prof.ª Dra. Susana, Cleyton, Jakelline, Jaise, Raffael, Camila, Rone e Galvão.

A todos os amigos que tive o prazer de conhecer durante a pós-graduação, que sempre me ajudaram e apoiaram. Obrigada Eduarda, Beatriz, Fernanda, Ana Júlia, Gabriella, Clara, Raquel, Brayan Anthony, Mayana e Tais.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fisiologia Vegetal.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG).

RESUMO

O Brasil, que abriga a maior floresta tropical do mundo, enfrenta o desafio de equilibrar o desenvolvimento socioeconômico com a conservação ambiental. Nesse cenário, o reflorestamento surge como uma ferramenta essencial para recuperar áreas degradadas e restaurar o equilíbrio ecológico. Este estudo teve como objetivo avaliar o impacto da interação entre fósforo (P) e zinco (Zn) no metabolismo e crescimento inicial da espécie *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake e suas variedades *Schizolobium amazonicum* e *Schizolobium parahyba*. Para isso, foram realizados experimentos em casa de vegetação utilizando soluções nutritivas específicas para induzir deficiências desses nutrientes nas plantas. Foram avaliados indicadores de crescimento, aspectos fotossintéticos e o perfil de metabólitos das variedades submetidas a quatro tratamentos. Os resultados apontaram que a deficiência conjunta de P e Zn teve um impacto negativo no crescimento e metabolismo das plantas, especialmente em *S. amazonicum*, que se mostrou mais sensível à falta desses nutrientes. Por outro lado, *S. parahyba* demonstrou maior resistência em condições de estresse nutricional, mantendo o crescimento mesmo diante das deficiências. Com essas observações conclui-se que, para programas de reflorestamento em solos degradados, *S. parahyba* pode ser uma opção mais adequada devido à sua maior eficiência no uso de nutrientes e capacidade de adaptação.

Palavras-chave: metabolismo vegetal; nutrição mineral; recuperação ambiental; manejo florestal.

ABSTRACT

Brazil, which is home to the largest tropical forest in the world, faces the challenge of balancing socioeconomic development with environmental conservation. In this context, reforestation emerges as an essential tool for restoring degraded areas and reestablishing ecological balance. This study aimed to evaluate the impact of the interaction between phosphorus (P) and zinc (Zn) on the metabolism and initial growth of the species *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake and its varieties *Schizolobium amazonicum* and *Schizolobium parahyba*. To achieve this, experiments were conducted in a greenhouse using specific nutrient solutions to induce deficiencies of these nutrients in the plants. Growth indicators, photosynthetic aspects, and the metabolite profile of the varieties subjected to four treatments were evaluated. The results indicated that the combined deficiency of P and Zn had a negative impact on plant growth and metabolism, especially in *S. amazonicum*, which proved to be more sensitive to the lack of these nutrients. On the other hand, *S. parahyba* showed greater resistance under nutritional stress conditions, maintaining growth even in the face of deficiencies. Based on these observations, it is concluded that for reforestation programs in degraded soils, *S. parahyba* may be a more suitable option due to its higher efficiency in nutrient use and adaptability.

Keywords: plant metabolism; mineral nutrition; environmental restoration; forest management.

INDICADORES DE IMPACTO

O estudo investigou os impactos da deficiência de fósforo e zinco no crescimento inicial e metabolismo das variedades *Schizolobium parahyba* e *Schizolobium amazonicum*. Esse conhecimento tem implicações importantes para reflorestamento de áreas degradadas no Brasil, especialmente em regiões com solos de baixa fertilidade. O estudo evidenciou que *S. parahyba* apresenta maior eficiência no uso de nutrientes e resiliência a estresses nutricionais, tornando-se uma variedade mais adequada para áreas onde fósforo e zinco são limitados. A capacidade dessa variedade de manter o crescimento mesmo em condições adversas favorece sua utilização em programas de recuperação ambiental, contribuindo para a restauração de ecossistemas fragilizados. Em termos sociais e econômicos, a utilização de *S. parahyba* para reflorestamento pode beneficiar comunidades rurais, especialmente na Amazônia e Mata Atlântica, onde a variedade já é utilizada para a recuperação de áreas degradadas e sistemas agroflorestais. A madeira dessas árvores é economicamente valiosa, com potencial para a fabricação de produtos como móveis e papel, além de gerar renda para pequenos produtores. O reflorestamento com espécies nativas contribui para a mitigação das mudanças climáticas, alinhando-se ao Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 13, de Ação Contra a Mudança Global do Clima. Além disso, o trabalho tem implicações tecnológicas, pois os resultados podem orientar práticas de manejo florestal e adubação, otimizando o uso de fertilizantes em regiões de solos pobres em fósforo e zinco. Esses impactos estão fortemente relacionados aos ODS 15 (Vida Terrestre) e 12 (Consumo e Produção Responsáveis), ao incentivar a recuperação sustentável de áreas degradadas e o uso racional de recursos.

IMPACT INDICATORS

The study investigated the impacts of phosphorus and zinc deficiencies on the early growth and metabolism of *Schizolobium parahyba* and *Schizolobium amazonicum* varieties. This knowledge holds significant implications for reforestation of degraded areas in Brazil, especially in regions with low-fertility soils. The research demonstrated that *S. parahyba* exhibits greater nutrient-use efficiency and resilience to nutrient stress, making it a more suitable species for areas where phosphorus and zinc are limited. Its ability to maintain growth under adverse conditions supports its use in environmental restoration programs, contributing to the recovery of fragile ecosystems. In social and economic terms, the use of *S. parahyba* for reforestation can benefit rural communities, particularly in the Amazon and Atlantic Forest regions, where the species is already utilized for the recovery of degraded areas and agroforestry systems. The wood from these trees is economically valuable, with potential applications in the production of goods such as furniture and paper, thereby generating income for small producers. Reforestation with native species also contributes to mitigating climate change, aligning with Sustainable Development Goal (SDG) 13, Climate Action. Furthermore, the study has technological implications, as the results can guide forestry management practices and fertilization strategies, optimizing the use of fertilizers in regions with low phosphorus and zinc soils. These impacts are closely related to SDGs 15 (Life on Land) and 12 (Responsible Consumption and Production), promoting sustainable recovery of degraded areas and the rational use of resources.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 OBJETIVOS	12
2.1 Objetivo Geral	12
2.2 Objetivos Específicos	12
3 MATERIAL E MÉTODOS	13
3.1 Material vegetal e condições experimentais	13
3.2 Análises de crescimento	14
3.3 Análises fotossintéticas	15
3.4 Análises bioquímicas	15
3.5 Análise estatística	16
4 RESULTADOS	16
5 DISCUSSÃO	23
6 CONCLUSÃO	26
REFERÊNCIAS	27

1 INTRODUÇÃO

O Brasil, detentor da maior floresta tropical do planeta (Santos & Lima, 2022) enfrenta o desafio cada vez mais urgente de conciliar o desenvolvimento socioeconômico com a preservação ambiental. O desmatamento desenfreado, a expansão da fronteira agrícola e a exploração predatória dos recursos naturais colocam em risco a rica biodiversidade do país e ameaçam a estabilidade climática global (Tisott & Schmidt, 2021).

Nesse contexto, o reflorestamento com espécies nativas, surge como uma importante ferramenta na recuperação de ecossistemas degradados, proteção de recursos hídricos e restauração do equilíbrio ecológico (Shivanna, 2022; Andres et al., 2023). *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake, uma planta da família Fabaceae, exemplifica essa importância ao possuir duas variedades que se adaptam a diferentes regiões: *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby, conhecida como paricá e *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake var. *parahyba*, conhecida como guapuruvu (Olmedo et al., 2022).

O paricá, encontrado na Amazônia tanto em vegetação primária quanto secundária nos estados do Acre, Amazonas, Pará, Rondônia e Mato Grosso, bem como em florestas subtropicais da América Central, Colômbia, Bolívia, Equador e Peru (Carvalho, 2007), é uma espécie caracterizada por seu rápido crescimento (Yakuwa et al., 2020). As árvores podem atingir até 40 metros de altura e 1 metro de diâmetro no tronco (Ucella-Filho et al., 2023). Comparado à guapuruvu, o paricá possui folhas e frutos duas vezes menores, pétalas oblongas mais firmes e glabras, pedicelos articulados e floresce sem folhas (Rizzini, 1971; Barneby, 1996).

O paricá tem sido amplamente utilizado para regeneração florestal e em sistemas agroflorestais (Ribeiro et al., 2024), e oferece benefícios socioeconômicos significativos, especialmente para produtores de cacau e cupuaçu na região amazônica ao servir como alternativa de emprego e renda. Além disso, sua madeira leve e de baixa densidade (Mascarenhas et al., 2021) é empregada na fabricação de lâminas, miolos de portas e na produção de madeira laminada colada (Epifanio et al., 2022). Estudos indicam que essa variedade apresenta rápidos incrementos em altura e diâmetro, permitindo sua exploração já aos 15 anos (Santos et al., 2000). Além disso, Cordeiro et al. (2015) observaram que cultivos em sistemas agroflorestais, a partir de 36 meses, produzem maior volume em comparação ao monocultivo e plantios consorciados no Pará, o que atrai pequenos e médios produtores devido à geração de renda diversificada ao longo do ano. Além disso, a variedade tem se mostrado

promissora para produção de pasta para celulose, por possuir fácil branqueamento e comprovada resistência com papel branqueado (Prazeres, 2023).

O guapuruvu é uma árvore pioneira da Mata Atlântica. Além de estar presente em floresta primária, é comum na vegetação secundária, dominando as capoeiras altas e florestas secundárias dos estados da Bahia, Espírito Santo, Minas Gerais, Rio de Janeiro, São Paulo, Santa Catarina e Extremo Litoral Nordeste do Rio Grande do Sul. Quando adulta, apresenta dimensões entre 10 – 40 m de altura e 0,3 – 1,2m de diâmetro (Carvalho, 2005). Embora sua madeira leve e macia tenha baixa durabilidade em condições naturais, é comercialmente utilizada na fabricação de produtos como móveis, portas, forros e brinquedos (Epifanio et al., 2022) enquanto para o mercado de papel e celulose, a madeira é considerada excelente para a fabricação de polpa e papel de fibra curta (Prazeres, 2023).

As plantas necessitam de nutrição adequada para crescerem de forma saudável e resistente (Paz-Ares et al., 2022). Entre os nutrientes essenciais para o crescimento das plantas, o fósforo (P) e o zinco (Zn) são fundamentais (Marschner & Rengel, 2023). O Zn atua como um cofator para inúmeras enzimas envolvidas em processos metabólicos. É essencial para a síntese de clorofila, o pigmento responsável por capturar a energia da luz solar durante a fotossíntese e participa do metabolismo de carboidratos e proteínas, influenciando a taxa de crescimento e o desenvolvimento geral das plantas (Hamzah Saleem et al., 2022).

No entanto, uma parte significativa do Zn do solo existe em formas indisponíveis para a absorção direta pelas plantas, muitas vezes ligado à matéria orgânica ou às partículas de argila. Essa limitação pode levar à clorose foliar e crescimento atrofiado devido a interrupções na produção de hormônios e na divisão celular (Callegari et al., 2022). Essas deficiências são particularmente prejudiciais durante estágios críticos de crescimento para mudas e podem impactar significativamente projetos de reflorestamento.

Já o P é um nutriente crucial para o desenvolvimento das raízes e o crescimento inicial. Ele é uma parte vital dos ácidos nucleicos (DNA e RNA), que carregam informações genéticas e permitem a divisão e o crescimento celular. Além disso, é um constituinte do trifosfato de adenosina (ATP), que impulsiona processos como a absorção de nutrientes e o desenvolvimento de pelos radiculares (Liu, 2020).

Grande parte do P no solo está ligada a minerais ou matéria orgânica, dificultando sua disponibilidade imediata para mudas com raízes pouco desenvolvidas (Marschner & Rengel, 2023). Essa limitação pode levar a um crescimento atrofiado, comprometendo o desenvolvimento das raízes, reduzindo a capacidade da planta de acessar água e outros

nutrientes (Khan et al.,2023). Essas limitações dificultam o estabelecimento das mudas em ambientes competitivos, podendo aumentar a mortalidade.

A relação entre Zn e P é complexa e pode influenciar significativamente o metabolismo das plantas. Estudos demonstram que a absorção de Zn pode ser reduzida em condições de alta disponibilidade de P no solo. Isso ocorre porque os mecanismos de absorção desses nutrientes competem entre si. Além disso, o excesso de P pode induzir a formação de complexos insolúveis com o Zn, tornando-o indisponível para as plantas (Marschner & Rengel, 2023). Essa interação antagônica pode ter consequências negativas para o crescimento e desenvolvimento das plantas, especialmente em mudas destinadas ao reflorestamento.

Dada a importância e a necessidade de informações sobre o desenvolvimento de espécies nativas, é essencial realizar estudos que avaliem a deficiência de P e Zn no metabolismo e no crescimento inicial de *Schizolobium parahyba* e suas variedades. Essas variedades têm ampla distribuição no território nacional e desempenham um papel ambiental fundamental na Amazônia, Mata Atlântica e nos ecótonos Cerrado–Caatinga e Cerrado–Amazônia, o que justifica a necessidade de preservação da biodiversidade vegetal desses biomas. Além disso, os aspectos que determinam a qualidade das mudas de paricá e guapuruvu são importantes para orientar a escolha de espécies adequadas ao manejo silvicultural e ao reflorestamento de áreas fragmentadas nesses ecossistemas.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar os impactos da deficiência de P e Zn sobre o metabolismo e crescimento inicial da espécie *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake e de suas variedades *Schizolobium amazonicum* e *Schizolobium parahyba*.

2.2 Objetivos Específicos

- Quantificar e comparar variáveis biométricas das variedades *S. parahyba* e *S. amazonicum* em resposta à presença e ausência de P e Zn.
- Caracterizar e comparar aspectos fotossintéticos das variedades *S. parahyba* e *S. amazonicum* em resposta à presença e ausência de P e Zn.

- Avaliar a resposta bioquímica das variedades *S. parahyba* e *S. amazonicum* à presença e ausência de P e Zn.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Material vegetal e condições experimentais

O experimento foi conduzido em casa de vegetação localizada no Setor de Fisiologia Vegetal do Departamento de Biologia – Instituto de Ciências Naturais, da Universidade Federal de Lavras (UFLA), no município de Lavras, Minas Gerais (21°13'40" S e 44°57'50" W) entre os meses de maio a outubro de 2023.

As sementes das variedades de *Schizolobium parahyba* e *Schizolobium amazonicum* foram obtidas no Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Lavras e para superar a dormência, foram submetidas à escarificação utilizando uma lixa. Posteriormente, estas sementes foram germinadas em recipientes plásticos contendo areia previamente peneirada e lavada para retirada de impurezas.

Após 20 dias, as plantas que exibiram características e dimensões semelhantes foram transplantadas para recipientes de 4 litros, preenchidos com uma mistura de areia e solução nutritiva de Hoagland (Hoagland e Arnon, 1938) com valores padrão.

A temperatura foi monitorada regularmente durante o experimento, com o auxílio de datalogger modelo RHT10 (FLIR Systems, Inc., Nashua, USA). A reposição dos tratamentos nutritivos ocorreu a cada 15 dias, enquanto as mudas foram irrigadas com água destilada em dias alternados, visando a manutenção adequada da umidade.

Para o preparo das soluções estoque, foram utilizados os seguintes sais e suas respectivas concentrações: KH_2PO_4 (1M), KNO_3 (1M), NH_4NO_3 (1M), $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (1M), $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (1M), $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (1 mM), $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (1 mM), $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (0,25 mM), $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} - \text{Na}_2\text{EDTA}$ (64 mM), H_3BO_3 (12,5 mM) e Na_2MoO_4 (0,25 mM).

As soluções nutritivas foram elaboradas de maneira a provocar deficiência de fósforo (P) e zinco (Zn) nas plantas, utilizando fosfato de potássio monobásico (KH_2PO_4) como fonte de fósforo e sulfato de zinco (ZnSO_4) como fornecedor de zinco. Os valores das concentrações de cada nutriente nas soluções nutritivas para cada condição estão representados na Tabela 1.

Tabela 1: Concentrações de nutrientes nas soluções nutritivas para 1L de solução.

Nutrientes	Concentração padrão	Deficiência de Zn	Deficiência de P	Deficiência de PZn
KNO ₃	4 mM	4 mM	6 mM	6 mM
Ca(NO ₃) ₂ .4H ₂ O	4 mM	4 mM	4 mM	4 mM
KH ₂ PO ₄	2 mM	2 mM	-	-
NH ₄ NO ₃	4 mM	4 mM	2 mM	2 mM
MgSO ₄ .7H ₂ O	1 mM	1 mM	1 mM	1 mM
FeSO ₄ .7H ₂ O Na ₂ EDTA	0,064 mM	0,064 mM	0,064 mM	0,064 mM
H ₃ BO ₃	0,025 mM	0,025 mM	0,025 mM	0,025 mM
MnSO ₄ .H ₂ O	0,002 mM	0,002 mM	0,002 mM	0,002 mM
ZnSO ₄	0,002 mM	-	0,002 mM	-
CuSO ₄ .5H ₂ O	0,0005 mM	0,0005 mM	0,0005 mM	0,0005 mM
Na ₂ MoO ₄	0,0005 mM	0,0005 mM	0,0005 mM	0,0005 mM

Fonte: Autora (2024)

O experimento foi randomizado em oito tratamentos: T1 – *S. amazonicum* + concentração padrão com P e Zn; T2 – *S. amazonicum* + deficiência de Zn; T3 – *S. amazonicum* + deficiência de P; T4 – *S. amazonicum* + deficiência de P e Zn; T5 – *S. parahyba* + concentração padrão com P e Zn; T6 – *S. parahyba* + deficiência de Zn; T7 – *S. parahyba* + deficiência de P; T8 – *S. parahyba* + deficiência de P e Zn.

3.2 Análises de crescimento

Após 120 dias de tratamento foi feita a desmontagem do experimento e quantificadas as variáveis biométricas. Para isso, o comprimento das raízes e da parte aérea foi medido com régua milimetrada, enquanto o diâmetro do caule foi aferido com paquímetro digital, conforme descrito por Vasconcelos et al. (2010). A área foliar foi determinada utilizando o software ImageJ (versão 1.52a) (Schneider et al., 2012).

Para a matéria seca da parte aérea (MSPA; g planta⁻¹), matéria seca da raiz (MSR; g planta⁻¹) e matéria seca total (MST = MSPA + MSR; g planta⁻¹), as plantas foram colhidas, separadas em parte aérea e sistema radicular, lavadas em água corrente e armazenadas em sacos de papel. Em seguida, foram secas em estufa a 60 °C até atingirem peso constante.

Com esses dados, foram calculadas a fração de massa foliar (FMF = massa da folha / massa seca total da planta), seguindo Pooter e Pothmann (1992), a razão raiz aérea (massa seca

da raiz / massa seca da parte aérea) e a área foliar específica (AFE), obtida pela fórmula: AFE ($\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$) = área foliar / massa seca foliar, de acordo com Hunt (1982).

3.3 Análises fotossintéticas

Para as variáveis fotossintéticas, as análises foram realizadas em todas as plantas de cada unidade experimental. No 120º dia de experimento, os parâmetros de fluorescência foram quantificados no segundo folíolo do ramo principal, do ápice para a base, durante a manhã (entre 08:00 e 12:00 h).

A fluorescência da clorofila a foi medida utilizando um fluorômetro portátil modulado MINI-PAM (Walz Inc., Effeltrich, Alemanha). Após um período de trinta minutos de adaptação das mudas ao escuro, foram registrados os parâmetros de fluorescência inicial (F_0), fluorescência máxima (F_m), fluorescência variável ($F_v = F_m - F_0$) e o rendimento quântico potencial (F_v/F_m) do fotossistema II (PSII).

Os mesmos folíolos foram, então, expostos à radiação incidente, e oito pulsos de luz crescente foram aplicados para determinar os parâmetros de fluorescência em estado estacionário antes dos pulsos de saturação (F) e a fluorescência máxima sob luz (F_m').

A partir desses dados, foram calculados o quenching fotoquímico ($qP = (F_m' - F) / (F_m' - F_0)$) e a taxa aparente de transporte de elétrons ($ETR = F / (F_m' * PAR * 0,84 * 0,5)$) (Rios et al., 2022). Os índices de clorofila Falker (ICF), referentes às clorofilas a e b, foram medidos utilizando o medidor eletrônico de clorofila ClorofiLog CFL 1030.

3.4 Análises bioquímicas

Para a determinação das variáveis bioquímicas, foram coletadas quatro plantas de cada unidade experimental. O material vegetal foi colocado em sacos de papel e seco em estufa a 65 °C por, no mínimo, 48 horas, até atingir peso constante. Após a secagem, o material foi triturado em um moinho CIENLAB CE-430, equipado com 8 lâminas e operando a 1.725 rpm, com peneira de 20 mesh. As amostras foliares passaram por extração etanólica para determinação dos teores de açúcares redutores e não redutores, e aminoácidos solúveis totais na fração solúvel em etanol, além da determinação de amido e proteínas na fração insolúvel.

Os açúcares redutores foram quantificados pelo método DNS (Miller, 1959), enquanto os açúcares solúveis totais (AST) foram medidos pelo método de Antrona (Yemm e Willis, 1954). Os aminoácidos livres foram quantificados utilizando o método de Ninhidrina (Yemm e

Cocking, 1955). Para a determinação de proteínas, o pellet da extração etanólica foi solubilizado em NaOH (0,1M) e incubado a 80 °C por 1 hora, sendo o sobrenadante utilizado para quantificação pelo método de Bradford (1976). A extração de amido foi realizada a partir da amostra derivada da extração de proteínas, utilizando tampão acetato de potássio (KC₂H₃O₂) e uma solução de degradação contendo tampão e a enzima amiloglucosidase, conforme adaptação de Hendriks et al. (2003) e Zanandrea et al. (2010). O amido foi quantificado pelo método de Antrona.

Todas as leituras de absorbância foram realizadas em um leitor de microplacas modelo Epoch, com interface do software Gen5 Data Analysis versão 2.05 (BioTek Instruments, Inc., Vermont, EUA).

3.5 Análise estatística

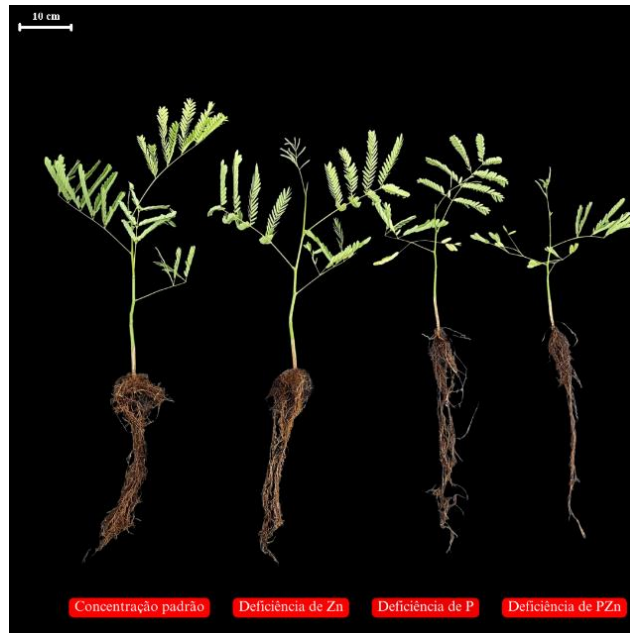
O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC). A análise estatística foi realizada em fatorial 2x4 (2 variedades e 4 tratamentos), com 10 repetições totalizando 80 unidades experimentais.

Os dados obtidos foram analisados pelo software R, versão 4.0.0 (R Core Team, 2020) e submetidos a análise da variância (ANOVA) pelo Teste F. Quando houve efeito significativo nos parâmetros analisados, foi aplicado o Teste Tukey ($p \leq 0,05$), no pacote ExpDes.pt (Ferreira et al., 2013). Todas as figuras foram feitas no software SigmaPlot, versão 14.5 (Systat Software Inc., Chicago, USA).

4 RESULTADOS

As plantas de *S. amazonicum* e *S. parahyba* exibiram distintos fenótipos em resposta à deficiência de fósforo e zinco, tanto quando esses nutrientes foram suprimidos de forma isolada quanto em conjunto. Essas variações fenotípicas indicaram que cada variedade possui mecanismos adaptativos específicos para lidar com a limitação desses nutrientes, evidenciando diferenças no desenvolvimento e na fisiologia entre as duas variedades. (FIGURA 1 e 2).

Figura 1 – Plantas de *Schizolobium amazonicum* sob diferentes tratamentos.



Fonte: Autora (2024)

Figura 2 – Plantas de *Schizolobium parahyba* sob diferentes tratamentos.

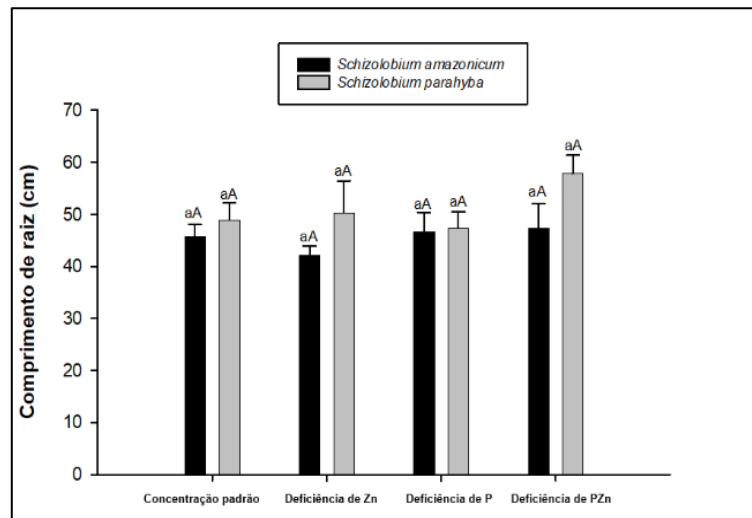


Fonte: Autora (2024)

Em plantas de *S. amazonicum* e *S. parahyba*, a presença ou deficiência dos dois nutrientes não influenciou significativamente o comprimento da raiz. No entanto, *S. parahyba* apresentou uma tendência a produzir raízes mais longas, embora essa diferença não tenha sido estatisticamente significativa. O mesmo resultado foi observado para o comprimento da parte

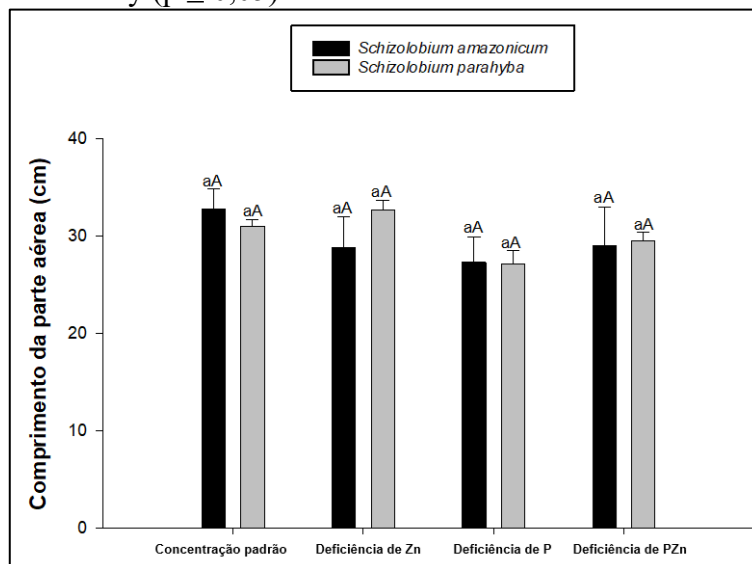
aérea, que também não foi significativamente afetada pela presença ou deficiência desses nutrientes (FIGURA 2 e 3).

Figura 2 – Valores médios do comprimento de raiz das variedades *Schizolobium amazonicum* e *Schizolobium parahyba*. Barras indicam o erro padrão da média e as letras maiúsculas representam as variedades e as minúsculas, o tratamento nutricional. Letras diferentes representam diferenças significativas entre as médias pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$).



Fonte: Autora (2024)

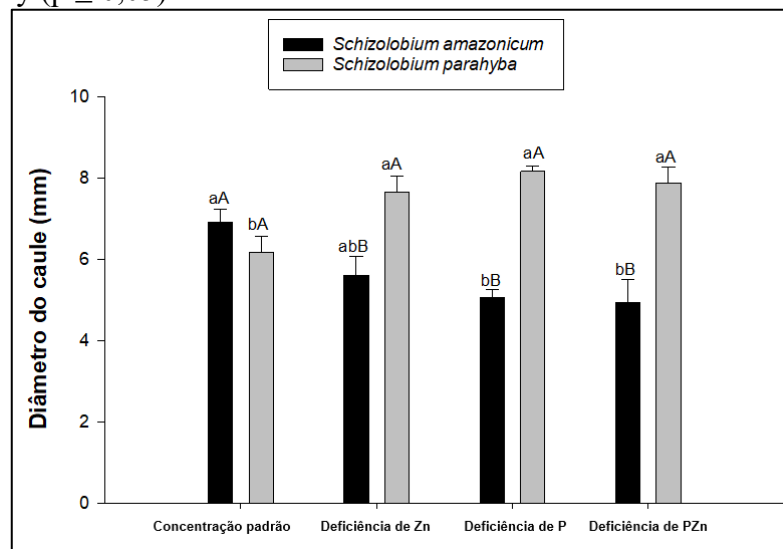
Figura 3 – Valores médios do comprimento da parte aérea das variedades *Schizolobium amazonicum* e *Schizolobium parahyba*. Barras indicam o erro padrão da média e as letras maiúsculas representam as variedades e as minúsculas, o tratamento nutricional. Letras diferentes representam diferenças significativas entre as médias pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$).



Fonte: Autora (2024)

O diâmetro do caule de *S. amazonicum* foi significativamente influenciado pela presença de fósforo e zinco, com o tratamento contendo ambos os nutrientes resultando no maior diâmetro, enquanto a deficiência de fósforo, independentemente da presença de zinco, resultou em diâmetros menores. Em contraste, *S. parahyba* apresentou maior diâmetro do caule nos tratamentos com deficiência de ambos os nutrientes (FIGURA 4).

Figura 4 - Valores médios do diâmetro do caule das variedades *Schizolobium amazonicum* e *Schizolobium parahyba*. Barras indicam o erro padrão da média e as letras maiúsculas representam as variedades e as minúsculas, o tratamento nutricional. Letras diferentes representam diferenças significativas entre as médias pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$).



Fonte: Autora (2024)

Em plantas de *S. amazonicum*, a deficiência de fósforo resultou em menores massas secas de raiz. Em contraste, para *S. parahyba*, a deficiência desse nutriente levou a maiores massas secas de raiz, também não significativas. Além disso, *S. parahyba* apresentou maiores massas secas de raiz em todos os tratamentos em comparação a *S. amazonicum* (TABELA 2). A massa seca do caule não foi significativamente afetada pela presença ou deficiência de fósforo e zinco em ambas as variedades. *S. parahyba* apresentou maiores massas secas de caule em todos os tratamentos comparado a *S. amazonicum* (TABELA 2). A massa seca da folha também não foi significativamente afetada pela presença ou deficiência de fósforo e zinco em ambas as variedades. Contudo, *S. amazonicum* apresentou massas secas de folha significativamente maiores na presença de ambos os nutrientes, enquanto *S. parahyba* teve um aumento na massa seca da folha no tratamento com deficiência dos dois nutrientes (TABELA 2). A deficiência de fósforo reduziu significativamente a massa seca total de *S. amazonicum*. Em contraste, a massa seca total de *S. parahyba* não apresentou diferenças significativas entre

os tratamentos, e a variedade apresentou massas secas totais significativamente maiores na maioria dos tratamentos em comparação a *S. amazonicum*. Esse padrão também foi observado para a massa seca da parte aérea (TABELA 2). A área foliar e a área foliar específica não foram significativamente afetadas pela presença ou deficiência de fósforo e zinco em ambas as variedades. No entanto, *S. parahyba* apresentou uma área foliar específica maior na presença de ambos os nutrientes comparado a *S. amazonicum* (TABELA 2). A razão raiz:parte aérea também não foi significativamente afetada entre os tratamentos em ambas as variedades. Contudo, *S. parahyba* apresentou uma razão raiz:parte aérea maior em todos os tratamentos comparado a *S. amazonicum* (TABELA 2). A fração de massa foliar não foi significativamente afetada pela presença ou deficiência de fósforo e zinco entre os tratamentos. Contudo, *S. amazonicum* apresentou uma fração de massa foliar maior em comparação a *S. parahyba* (TABELA 2).

Tabela 2 - Valores médios das massas secas de raiz, caule, folha, total, parte aérea, área foliar, razão raiz:parte aérea, fração de massa foliar e área foliar específica das variedades *Schizolobium amazonicum* e *Schizolobium parahyba*. As letras maiúsculas representam as variedades e as minúsculas, o tratamento nutricional. Letras diferentes representam diferenças significativas entre as médias pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$).

	<i>S. amazonicum</i>			
	Concentração padrão	Deficiência de Zn	Deficiência de P	Deficiência de PZn
Massa de seca da raiz (g)	2,7±0,13aB	2,0±0,75aB	1,5±0,26aB	1,4±0,47aB
Massa seca do caule (g)	3,3±0,62aA	2,2±0,73aB	1,5±0,25aB	1,9±0,57aB
Massa seca da folha (g)	3,5±0,18aA	2,5±0,87aA	1,7±0,21aA	1,7±0,74aA
Massa seca total (g)	9,5±0,87aA	6,7±2,32abB	4,7±0,65bB	5,1±1,60bB
Massa seca da parte aérea (g)	6,8±0,79aA	4,7±1,59abB	3,2±0,41bB	3,7±1,25bB
Área foliar (cm ²)	21,7±6,92aA	19,4±4,98aA	13,4±1,41aA	15,4±1,44aA
Razão raiz:parte aérea	0,4±0,04aB	0,4±0,05aB	0,5±0,05aB	0,4±0,12aB
Fração de massa foliar (g)	0,4±0,02aA	0,4±0,01aA	0,4±0,04aA	0,3±0,04aA
Área foliar específica (cm ² g ⁻¹)	6,1±1,77aB	8,7±2,96aA	8,2±1,66aA	10,5±3,92aA
	<i>S. parahyba</i>			
	Concentração padrão	Deficiência de Zn	Deficiência de P	Deficiência de PZn
Massa de seca da raiz (g)	3,9±0,85aA	4,3±1,00aA	4,8±0,60aA	4,8±1,03aA
Massa seca do caule (g)	4,1±0,45aA	3,9±1,21aA	4,2±0,55aA	4,6±0,84aA
Massa seca da folha (g)	1,2±0,55aB	1,9±1,30aA	1,4±1,18aA	2,9±1,16aA
Massa seca total (g)	9,2±1,17aA	10,1±2,49aA	10,5±1,70aA	12,3±2,61aA
Massa seca da parte aérea (g)	5,2±0,58aA	5,8±1,61aA	5,7±1,25aA	7,5±1,63aA
Área foliar (cm ²)	20,6±9,8aA	16,6±8,1aA	14,3±3,7aA	19,1±2,2aA
Razão raiz:parte aérea	0,8±0,17aA	0,7±0,11aA	0,9±0,12aA	0,6±0,06aA
Fração de massa foliar (g)	0,1±0,06aB	0,2±0,11aB	0,1±0,08aB	0,2±0,06aB
Área foliar específica (cm ² g ⁻¹)	17,8±3,98aA	10,9±3,11aA	13,8±5,39aA	7,1±1,80aA

Fonte: Autora (2024)

O rendimento quântico potencial do PSII (Fv/Fm), não variou entre os tratamentos em plantas de *S. amazonicum* e *S. parahyba*. Contudo, plantas de *S. parahyba* que receberam a nutrição completa apresentaram um valor de Fv/Fm significativamente mais alto que plantas de *S. amazonicum* (TABELA 3). O quenching fotoquímico (qP) não foi significativamente afetado pela presença ou deficiência dos nutrientes em ambas as variedades. No entanto, *S. amazonicum* apresentou valores de qP superiores aos de *S. parahyba* (TABELA 3). Não houve diferenças entre os tratamentos em relação à taxa de transporte de elétrons (ETR) para ambas as variedades. Entretanto, *S. amazonicum* apresentou uma taxa de ETR mais alta no tratamento com ambos os nutrientes em comparação com *S. parahyba* (TABELA 3). Em *S. amazonicum*, a deficiência de fósforo resultou em um maior índice de clorofila *a*. Para *S. parahyba*, o maior índice de clorofila *a* foi observada na deficiência de ambos os nutrientes. De maneira geral, *S. parahyba* apresentou um índice significativamente maior de clorofila *a* (TABELA 3). Quanto ao índice de clorofila *b*, ambas as variedades não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos. Contudo, *S. parahyba* apresentou um índice consistentemente alto de clorofila *b*, independentemente do tratamento. Também não foram observadas diferenças significativas na razão de clorofila *a:b* entre os tratamentos para ambas as variedades. As razões foram semelhantes para *S. amazonicum* e *S. parahyba* (TABELA 3).

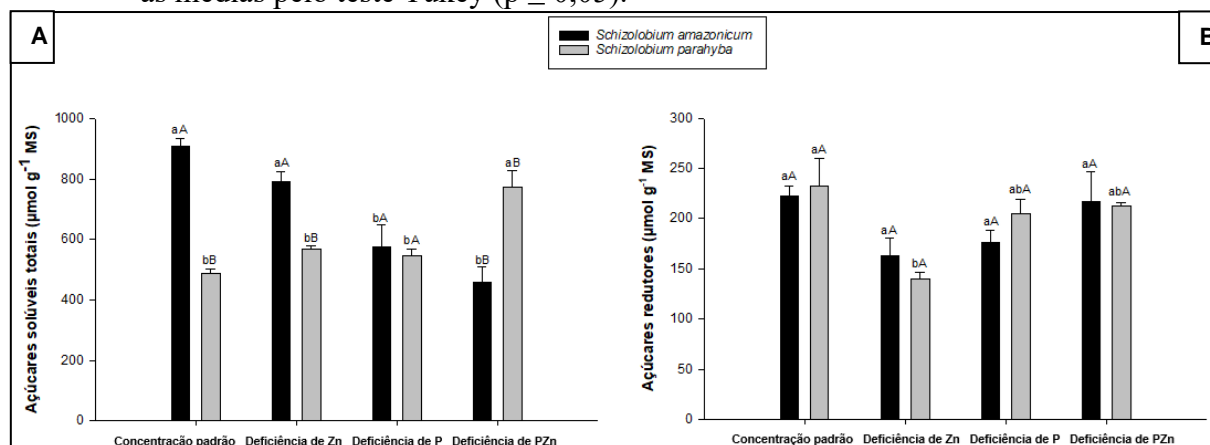
Tabela 3 - Valores médios do rendimento quântico potencial do PSII (Fv/Fm), quenching fotoquímico (qP), taxa de transporte de elétrons (ETR), índice de clorofila *a* (IChl *a*), clorofila *b* (IChl *b*) e razão de clorofila *a:b* das variedades *Schizolobium amazonicum* e *Schizolobium parahyba*. As letras maiúsculas representam as variedades e as minúsculas, o tratamento nutricional. Letras diferentes representam diferenças significativas entre as médias pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$).

<i>S. amazonicum</i>				
	Concentração padrão	Deficiência de Zn	Deficiência de P	Deficiência de PZn
Fv/Fm	0,685±0,03aB	0,704±0,02aA	0,686±0,07aA	0,586±0,17aA
qP	0,364±0,11aA	0,273±0,03aA	0,236±0,10aA	0,357±0,22aA
ETR	81,527±15,76aA	58,976±10,34aA	47,448±25,32aA	43,303±6,97aA
IChl <i>a</i>	23,55±4,27aB	20,13±6,65aB	28,28±4,63aA	17±9,49aB
IChl <i>b</i>	6±0,45aB	3,93±1,87aB	5,68±1,26aB	4,53±2,22aB
Razão <i>a:b</i>	3,94±0,79aA	6,02±3,38aA	5,12±1,27aA	3,98±1,33aA
<i>S. parahyba</i>				
	Concentração padrão	Deficiência de Zn	Deficiência de P	Deficiência de PZn
Fv/Fm	0,789±0,00aA	0,775±0,02aA	0,759±0,00aA	0,691±0,08aA
qP	0,243±0,00aA	0,273±0,03aA	0,251±0,00aA	0,316±0,11aA
ETR	48,225±0,00aA	58,976±10,34aA	44,559±0,00aA	61,230±21,23aA
IChl <i>a</i>	33,13±11,71aA	29,34±10,87aA	29,21±10,81aA	28,57±6,81aA
IChl <i>b</i>	8,60±2,79aA	7,60±3,20aA	7,51±1,67aA	6,76±2,82aA
Razão <i>a:b</i>	3,94±1,15aA	4,54±2,28aA	3,88±1,06aA	4,87±2,97aA

Fonte: Autora (2024)

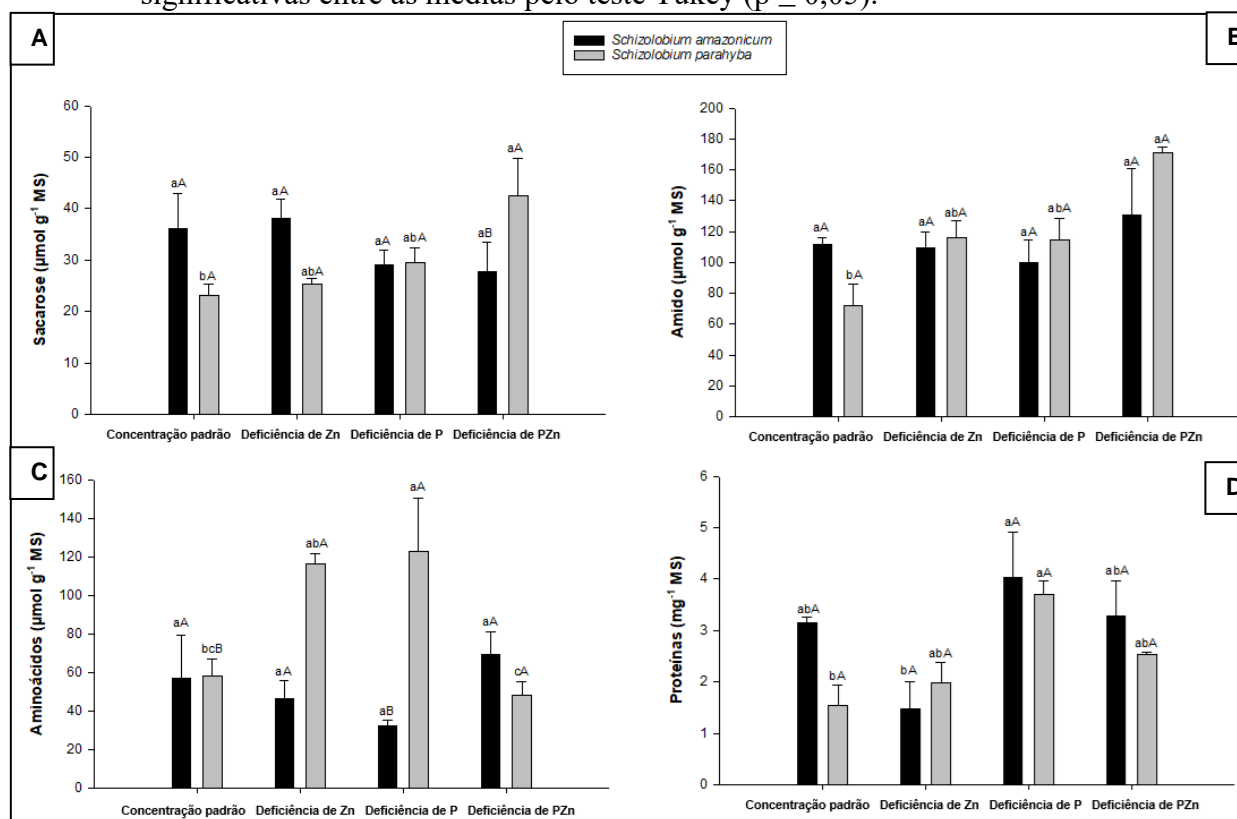
Em plantas de *S. amazonicum*, a concentração de açúcares solúveis totais foi significativamente maior nos tratamentos com a presença de fósforo, enquanto a deficiência do nutriente resultou em uma queda na produção de açúcares. *S. parahyba* apresentou uma resposta diferente, onde o tratamento com deficiência dos dois nutrientes apresentou um teor significativamente mais alto de açúcares solúveis totais (FIGURA 5A). Em *S. amazonicum* a presença ou deficiência de fósforo e zinco não afetou significativamente os níveis de açúcares redutores. Contudo, em *S. parahyba*, a deficiência de zinco resultou num nível significativamente mais baixo dos açúcares redutores (FIGURA 5B). A ausência, isolada ou conjunta, dos nutrientes resultou em um aumento dos níveis de sacarose em *S. parahyba*. Já *S. amazonicum* apresentou níveis mais altos de sacarose em comparação com *S. parahyba*, sendo a diferença significativa apenas na ausência dos dois nutrientes (FIGURA 6A). Os tratamentos não influenciaram no teor de amido em *S. amazonicum*. Contudo, em *S. parahyba*, o teor foi significativamente maior nos tratamentos sem os dois nutrientes e com apenas um deles isoladamente (FIGURA 6B). O teor de aminoácidos em *S. amazonicum* não apresentou variações significativas à presença ou ausência de fósforo e zinco. Contudo, *S. parahyba* apresentou maior teor de aminoácidos nos tratamentos com ausência isolada de um dos nutrientes (FIGURA 6C). Em *S. amazonicum*, a ausência de zinco foi um fator limitante, enquanto em *S. parahyba* a presença desse nutriente isolada resultou na maior produção de proteínas (FIGURA 6D).

Figura 5 - Valores médios de açúcares solúveis totais (A) e açúcares redutores (B) variedades *Schizolobium amazonicum* e *Schizolobium parahyba*. Barras indicam o erro padrão da média e as letras maiúsculas representam as variedades e as minúsculas, o tratamento nutricional. Letras diferentes representam diferenças significativas entre as médias pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$).



Fonte: Autora (2024)

Figura 6 - Valores médios de sacarose (A), amido (B), aminoácidos (C) e proteínas (D) das variedades *Schizolobium amazonicum* e *Schizolobium parahyba*. Barras indicam o erro padrão da média e as letras maiúsculas representam as variedades e as minúsculas, o tratamento nutricional. Letras diferentes representam diferenças significativas entre as médias pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$).



Fonte: Autora (2024)

5 DISCUSSÃO

Os resultados desta pesquisa indicam que as variedades *Schizolobium parahyba* e *Schizolobium amazonicum* responderam de forma distinta à presença ou ausência de fósforo e zinco, refletindo diferenças em suas estratégias de utilização de nutrientes e resiliência ao estresse nutricional. A ausência de diferenças significativas entre os tratamentos sugere que a omissão, isolada ou conjunta, de fósforo e zinco não teve um impacto considerável no comprimento da parte aérea e das raízes. No entanto, *S. parahyba* apresentou raízes ligeiramente mais longas em todos os tratamentos, com aumentos de 8%, 17%, 2% e 18%, respectivamente, em comparação com *S. amazonicum*. Esse resultado pode ser atribuído a mecanismos de tolerância à deficiência nutricional em *S. parahyba*, como, por exemplo, uma maior reserva de nutrientes nas sementes, o que pode ter sido suficiente para sustentar o crescimento das raízes durante o curto período do experimento. Segundo Carvalho (2007), as

sementes de *S. amazonicum* possuem comprimento de 16 mm a 21 mm e largura de 11 mm a 14 mm, enquanto as sementes de *S. parahyba* medem entre 2 e 3 cm de comprimento e de 1,5 a 2 cm de largura (Carvalho, 2005). Conforme Nunes (2022), a maior disponibilidade de compostos metabólicos nas sementes possibilita o desenvolvimento de sistemas radiculares mais robustos, capazes de explorar um maior volume de solo em ambientes com baixo teor nutricional.

No que se refere ao diâmetro do caule, massas secas de raiz, caule, parte aérea e total, *S. parahyba* apresentou consistentemente valores superiores na ausência, conjunta ou isolada, de fósforo e zinco, em comparação com *S. amazonicum*. Esse desempenho pode estar relacionado à menor exigência de *S. parahyba* em relação à fertilidade do solo e à sua maior eficiência na exploração de recursos limitados, o que permite um crescimento mais vigoroso mesmo em ambientes com baixo teor de nutrientes. Alternativamente, esses resultados podem refletir a resposta da planta a outros nutrientes presentes no solo que não foram considerados nos tratamentos. De acordo com Carvalho (2005), *S. parahyba* possui baixa exigência quanto à fertilidade química do solo, ocorrendo naturalmente em regiões como o Vale do Paraíba, onde os solos são caracterizados por baixos níveis de nutrientes, em parte devido à exaustão provocada pelas práticas agrícolas. A ausência de diferenças significativas na área foliar, área foliar específica e massa seca das folhas, nos tratamentos com deficiência de fósforo e zinco, tanto de forma isolada quanto combinada, para ambas as variedades, pode ser atribuída ao redirecionamento de recursos para o desenvolvimento das raízes nessa fase de crescimento. Segundo Fernandes e Soratto (2012), a limitação de fósforo tende a reduzir o desenvolvimento foliar, diminuindo a demanda por fotoassimilados e promovendo sua translocação para o crescimento das raízes. A maior razão raiz: aérea observada em *S. parahyba* em todos os tratamentos sugere uma alocação preferencial de biomassa para o sistema radicular, enquanto *S. amazonicum* alocou mais biomassa para a parte aérea. Em resposta à limitação nutricional, as plantas frequentemente aumentam a proporção de biomassa alocada para as raízes, a fim de explorar um volume maior de solo, além de aprimorar a eficiência de absorção de nutrientes através de sistemas radiculares mais eficientes ou melhorar o uso dos nutrientes disponíveis (Topp et al., 2016).

Os valores do rendimento quântico máximo do fotossistema II (F_v/F_m), indicaram que tanto *S. amazonicum* quanto *S. parahyba* mantiveram uma eficiência fotoquímica estável, sem diferenças significativas entre os tratamentos. Os valores do quenching fotoquímico (q_P), relacionados à eficiência da utilização da energia excitada no PSII, não variaram significativamente com a presença ou ausência dos nutrientes, mas a maior dissipação de

energia observada em *S. amazonicum* pode indicar uma adaptação ao estresse, permitindo-lhe dissipar o excesso de energia luminosa de forma mais eficiente. A taxa de transporte de elétrons (ETR) também não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos, sugerindo que os nutrientes não impactaram isoladamente a fotossíntese, embora a maior ETR em *S. amazonicum* no tratamento com ambos os nutrientes indique uma maior capacidade de utilização de luz quando todos os nutrientes estão disponíveis. O maior índice de clorofila *a* e *b* independentemente do tratamento aplicado, sugere uma maior absorção de energia de *S. parahyba* em relação a *S. amazonicum*.

Os resultados indicaram também que, em *S. amazonicum*, a ausência dos nutrientes em conjunto ou isoladamente levou a uma queda dos níveis de açúcares solúveis totais. Em contraste, *S. parahyba* apresentou maior teor de açúcares solúveis na ausência de ambos os nutrientes, possivelmente como um mecanismo de defesa metabólica em resposta ao estresse nutricional como aumento da eficiência de utilização dos nutrientes, em especial o fósforo (Vilar & Vilar, 2013). Para *S. amazonicum*, a presença ou ausência de fósforo e zinco não influenciou significativamente os níveis de açúcares redutores, enquanto em *S. parahyba*, a ausência de zinco levou a uma redução significativa desses açúcares, o que pode ser atribuído à importância do zinco como cofator em enzimas que atuam no metabolismo de carboidratos (Suganya; Saravanan; Manivannan, 2020). Não houve efeito significativo dos tratamentos sobre os teores de amido em *S. amazonicum*, enquanto em *S. parahyba*, esses teores foram maiores na ausência de um ou ambos os nutrientes, indicando uma possível resposta ao estresse por meio do armazenamento de carboidratos. A ausência de um ou ambos os nutrientes aumentaram significativamente os níveis de sacarose em *S. parahyba*, enquanto em *S. amazonicum*, os níveis foram mais elevados, particularmente na ausência de ambos os nutrientes, o que pode estar relacionado ao acúmulo de sacarose como forma de armazenamento de energia e proteção contra estresse oxidativo (Afzal; Chaudhary; Singh, 2021). O teor de aminoácidos em *S. amazonicum* permaneceu estável independentemente dos tratamentos, sugerindo uma independência desses parâmetros em relação aos dois nutrientes. Já em *S. parahyba*, tanto o fósforo quanto o zinco isoladamente estimularam o acúmulo de aminoácidos. De acordo com Batista-Silva et al (2019), os aminoácidos podem atuar como substrato alternativo para manutenção de energia quando algum estresse abiótico limita a assimilação de carbono. Por fim, a falta de zinco foi um fator limitante na produção de proteínas no *S. amazonicum*, enquanto no *S. parahyba*, a presença isolada do nutriente resultou em uma maior produção de proteínas. O zinco é um micronutriente essencial para a síntese de proteínas nas

plantas (Rosal, 2013), e sua deficiência reduz o acúmulo de aminoácidos nos tecidos vegetais e a produção de proteínas (Mousavi, 2011).

6 CONCLUSÃO

Os resultados desta pesquisa têm importantes implicações para a escolha de espécies em programas de reflorestamento especialmente em regiões com solos com baixa fertilidade de fósforo e zinco. *S. parahyba* mostrou-se mais robusta e adaptável a condições de estresse nutricional, o que a torna uma candidata ideal para áreas onde a disponibilidade de nutrientes é limitada. Sua maior eficiência no uso de nutrientes e capacidade de manter o crescimento em condições adversas sugerem que pode se estabelecer e prosperar em ambientes mais desafiadores, contribuindo para a recuperação ecológica dessas áreas. *S. amazonicum*, embora tenha demonstrado uma resposta positiva em condições de nutrição equilibrada, pode necessitar de uma gestão nutricional mais cuidadosa para alcançar seu pleno potencial de crescimento. Isso implica que em áreas de reflorestamento onde essa espécie é utilizada, pode ser necessário suplementar o solo com fertilizantes ricos em fósforo para garantir seu desenvolvimento adequado.

REFERÊNCIAS

- ANDRES, S. E. et al. Defining biodiverse reforestation: Why it matters for climate change mitigation and biodiversity. **Plants, People, Planet**, v. 5, n. 1, p. 27-38, 2023.
- AFZAL, S.; CHAUDHARY, N.; SINGH, N. K. Role of Soluble Sugars in Metabolism and Sensing Under Abiotic Stress. Em: **Plant Growth Regulators**. Cham: Springer International Publishing, 2021. p. 305–334.
- BARNEBY, R.C. Neotropical Fabales at NY: asides and oversights. **Brittonia**. v. 48, n. 2, p.174-187,1996.
- BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical biochemistry**, v. 72, n. 1- 2, p. 248-254, 1976.
- BATISTA-SILVA, W. et al (2019). The role of amino acid metabolism during abiotic stress release. **Plant, Cell & Environment**, 42 (5), 1630-1644. <https://doi.org/10.1111/pce.13518>
- CALLEGARI, D. M. et al. Physiological, biochemical and nutritional aspects in *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) plants under different zinc supplies. **Brazilian Journal of Botany**, v. 45, n. 3, p. 845–855, 20 jun. 2022.
- CARVALHO, P. E. R. **Circular técnica**: Guapuruvu. Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2005.
- CARVALHO, P. E. R. **Circular técnica**: Paricá *Schizolobium amazonicum*. Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2007.
- CORDEIRO, I. M. C. C. et al. Avaliação de plantios de paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby de diferentes idades e sistemas de cultivo no município de Aurora do Pará-PA (Brasil). **Ciência Florestal**, v. 25, n. 3, p. 679-687, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509819618>. Acesso em: 27 jan. 2023.
- EPIFANIO, M. L. F. G. et al. (2022). Morphophysiological comparison of *Schizolobium parahyba* varieties seedlings cultivated under different shading levels. **Australian Journal of Crop Science**, 16(03):2022, 408–414. <https://doi.org/10.21475/ajcs.22.16.03.p3556>
- FERNANDES, A. M; SORATTO, R. P. Nutrição, acúmulo e partição da matéria seca e eficiência de utilização do fósforo pela batateira sob doses de fósforo em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1528-1537, 2012.
- FERREIRA, E. B. et al. **ExpDes.pt: Experimental Designs pacakge (Portuguese)**. R package version 1.1.2, 2013.
- HAMZAH SALEEM, M. et al. Functions and strategies for enhancing zinc availability in plants for sustainable agriculture. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, p. 1033092, 2022.

- HENDRIKS, J. H. et al. ADP-glucose pyrophosphorylase is activated by posttranslational redox-modification in response to light and to sugars in leaves of Arabidopsis and other plant species. **Plant Physiology**, v. 133, n. 2, p. 838-49, 2003.
- HOAGLAND, D.R.; ARNON, D.I. The water-culture method for growing plants without soil. **California Agricultural Experimental Station**, Circ. n. 347, 1938.
- HUNT, R. (1982). **Plant growth curves: The functional approach to plant growth analysis**. London, Edward Arnold.
- KHAN, F. et al. Phosphorus plays key roles in regulating plants' physiological responses to abiotic stresses. **Plants**, v. 12, n. 15, p. 2861, 2023.
- LIU, D. Root developmental responses to phosphorus nutrition. **Journal of Integrative Plant Biology**, v. 63, n. 6, p. 1065-1090, 2021.
- MARSCHNER, P.; RENGEL, Z. **Marschner's Mineral Nutrition of Plants**. 4th. ed. Academic Press, 2023.
- MASCARENHAS, A.R.P., et al. Characterization of wood from *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* Huber× Ducke trees from a multi-stratified agroforestry system established in the Amazon rainforest. **Agroforestry Systems**, v. 95, n. 3, p. 475-486, 2021.
- MILLER, G. L. Modified DNS method for reducing sugars. **Analytical Chemistry**, v. 31, n. 3, p. 426-428, 1959.
- MOUSAVI, S. R. Zinc in crop production and interaction with phosphorus. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, v. 5, n. 9, p. 1503-1509, 2011.
- NUNES, T. C. A influência da remoção parcial de cotilédones no crescimento inicial de plântulas de *Magonia pubescens* submetidas a alta e baixa disponibilidade de nutrientes. 2022.
- OLMEDO, G. M. et al. Primary and secondary growth phenology of *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake at different time scales. **Dendrochronologia**, v. 72, p. 125921, 2022.
- PAZ-ARES, J. et al. Plant adaptation to low phosphorus availability: Core signaling, crosstalks, and applied implications. **Molecular Plant**, v. 15, n. 1, p. 104–124, jan. 2022.
- POORTER, L. (1999). Growth responses of 15 rain-forest tree species to a light gradient: the relative importance of morphological and physiological traits. **Functional Ecology**, 396-410.
- PRAZERES, V. V. **Análise de crescimento das variedades da espécie *Schizolobium parahyba* no sul do estado de Minas Gerais** . 2023. 28 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal Bacharelado)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2023.
- R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2020.

- RIBEIRO, E. S. et al. **Avaliação dos genes CYP85A2, BZR1 e CAD1 na atenuação de cádmio em mudas da espécie *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby (Paricá) em diferentes concentrações de 24-epibrassinolídeo.** 2024. Tese de Doutorado. UFRA/Campus Belém.
- RIOS, C. O. et al. Can ecological strategies be explained by photochemical efficiency in ironstone outcrops vegetation? **Plant and Soil**, 2022.
- ROSAL, C. J. S. Doses de fósforo e zinco na cultura do feijão-caupi. 2013.
- RIZZINI, C. T. **Árvores e madeiras úteis do Brasil: manual de dendrologia brasileira.** 2. ed. São Paulo: E. Blucher, p.127-130. 1971
- SANTOS, A. B; DE LIMA, T. L. A ineficácia da legislação Brasileira no combate às queimadas ilegais e incêndios na floresta Amazônica. **Nativa-Revista de Ciências, Tecnologia e Inovação**, v. 2, n. 1, p. 223-237, 2022.
- SCHNEIDER, C. A. et al. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. **Nature Methods**, v. 9, n. 7, p. 671-675, 2012.
- SHIVANNA, K. R. Climate change and its impact on biodiversity and human welfare. **Proceedings of the Indian National Science Academy**, v. 88, n. 2, p. 160-171, 2022.
- SUGANYA. A; SARAVANAN. A; MANIVANNAN. N (2020). Role of Zinc Nutrition for Increasing Zinc Availability, Uptake, Yield, and Quality of Maize (*Zea Mays* L.) Grains: An Overview. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 51, n. 15, p. 2001–2021, 21 ago. 2020.
- TISOTT, S. T; SCHMIDT, V. Expansão e intensificação das culturas agrícolas no Bioma Cerrado na Região Centro-Oeste do Brasil. **Brazilian Journal of Business**, v. 3, n. 3, p. 2280-2294, 2021.
- TOPP, C.N. et al. How can we harness quantitative genetic variation in crop root systems for agricultural improvement? **Journal of integrative plant biology**, v. 58, n.3, 213-225, 2016.
- UCELLA-FILHO, J. G. M. et al. Clues about wood density and trace-element variability of *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby for bioenergy use. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 30, n. 19, p. 56161-56173, 2023.
- VASCONCELOS, M. J. V. et al. Metodologia de análise do sistema radicular, em solo, de genótipos de sorgo selecionados previamente para eficiência no uso de fósforo. **EMBRAPA Milho e Sorgo**, Circular Técnica nº 158, 6p, 2010.
- VILAR, C. C; VILAR, F. C. M. Comportamento do fósforo em solo e planta. **Revista Campo Digital**, v. 8, n. 2, 2013.
- YAKUWA, J. C. P. et al. Acidez do solo e fitometria de plantas de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (huber ex. Ducke. Barneby) sob a aplicação da calagem e fosfato natural. **South American Journal of Basic Education, Technical and Technological**, v. 7, n. 2, p. 419-435, 2020.

YEMM, E. W. et al. The determination of aminoacids with ninhydrin. **Analyst**, v. 80, n. 948, p. 209-214, 1955.

YEMM, E. W; WILLIS, A. J. The estimation of carbohydrates in plant extracts by anthrone. **Biochemical journal**, v. 57, n. 3, p. 508-514, 1954.

ZANANDREA, I. et al. Tolerance of *Sesbania virgata* plants to flooding. **Australian Journal of Botany**, v. 57, p. 661-669, 2010.