

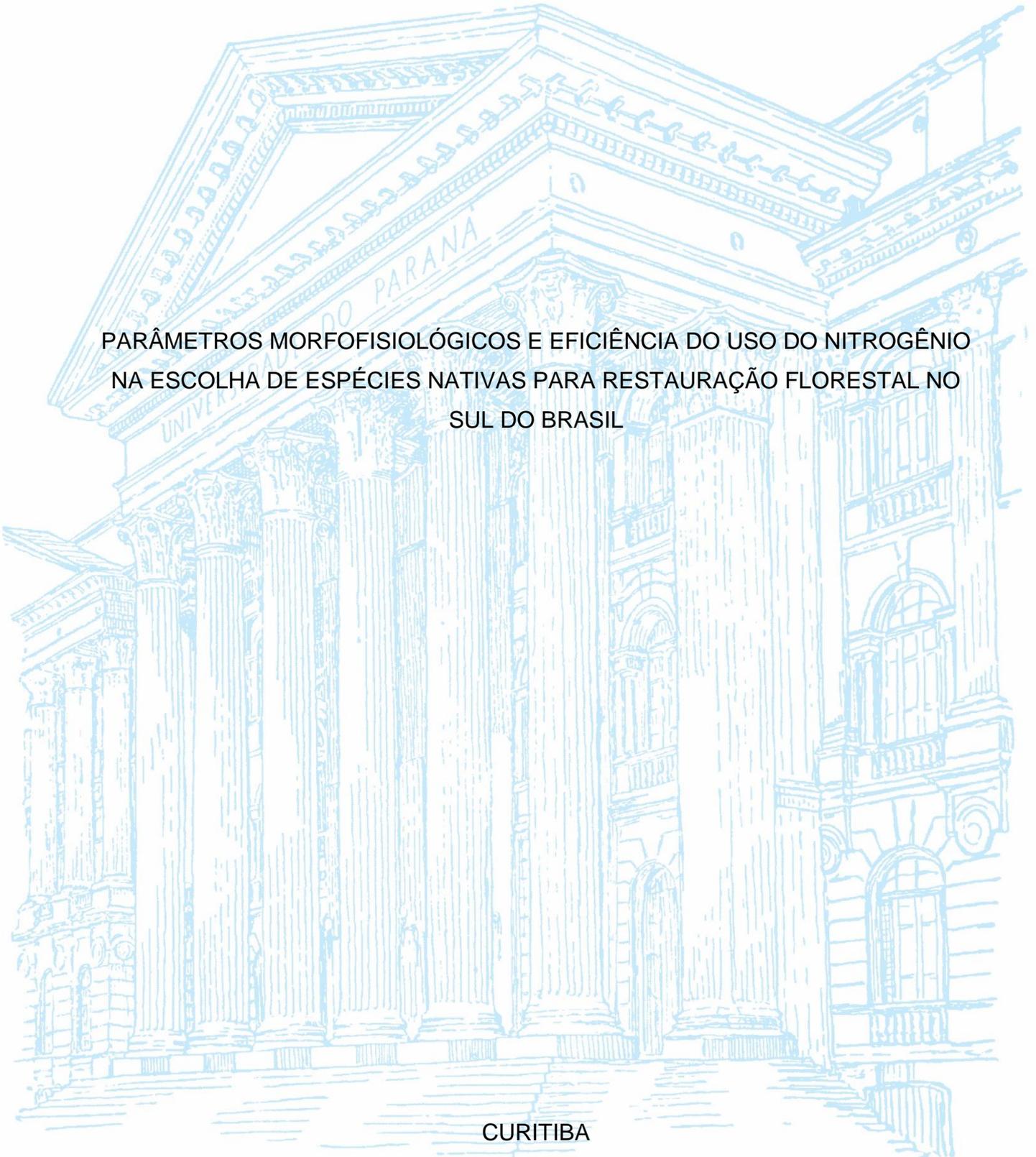
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ISABELLE FERRARI GAMBERALI

PARÂMETROS MORFOFISIOLÓGICOS E EFICIÊNCIA DO USO DO NITROGÊNIO
NA ESCOLHA DE ESPÉCIES NATIVAS PARA RESTAURAÇÃO FLORESTAL NO
SUL DO BRASIL

CURITIBA

2023



ISABELLE FERRARI GAMBERALI

PARÂMETROS MORFOFISIOLÓGICOS E EFICIÊNCIA DO USO DO NITROGÊNIO
NA ESCOLHA DE ESPÉCIES NATIVAS PARA RESTAURAÇÃO FLORESTAL NO
SUL DO BRASIL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheira Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Álvaro Luís Berghetti

CURITIBA

2023



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL

PARECER

Defesa nº 337

A Banca Examinadora, instituída pelo Colegiado do Curso de Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, após arguir **ISABELLE FERRARI GAMBERALI** em relação ao seu Trabalho de Conclusão de Curso intitulado **PARÂMETROS MORFOFISIOLÓGICOS E NUTRICIONAIS NA ESCOLHA DE ESPÉCIES NATIVAS PARA RESTAURAÇÃO FLORESTAL NO SUL DO BRASIL**, é de parecer favorável à **APROVAÇÃO** na Disciplina ENGF010 - Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Florestal, condicionada a entrega da versão final corrigida.


Prof. Dr. Diego Tyszka Martinez
1. Avaliador


Profa. Dra. Giovana Bomfim de Alcantara
2. Avaliador


Prof. Dr. Álvaro Luís Pasquetti Berghetti
Orientador - Presidente da Banca

Curitiba, 28 de junho de 2023.


Profa. Dra. Lucieli Rossi
Vice-Coordenadora do Curso de Engenharia Florestal

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho aos meus pais, Karine Ferrari e Fábio Gamberali, pois é graças aos seus esforços que hoje posso concluir o meu curso. Mesmo com a distância, vocês sempre se fizeram presentes e me forneceram apoio nas horas em que mais precisei.

Dedico àqueles que me acompanharam de perto durante esse período, estando presentes no meu dia a dia, e que por todo carinho e apoio que me deram, acabaram se tornando família.

Dedico aos amigos que fiz ao longo do percurso acadêmico, cuja presença trouxe momentos de descontração e suporte, tornando esta jornada mais leve e alegre. Juntos, construímos memórias que levarei para sempre em meu coração.

Dedico ao curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná, corpo docente e discente, a quem fico lisonjeada por dele ter feito parte.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador e professor Dr. Álvaro Luís Berghetti, por todo o apoio e por ter aceitado acompanhar-me nesta importante etapa da minha vida acadêmica, que é a elaboração do Trabalho de Conclusão de Curso. O seu empenho foi essencial para a minha motivação, de maneira que sempre se fazia presente quando as dificuldades e dúvidas iam aparecendo ao longo do percurso.

Expresso também minha gratidão a todos os professores do curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná, por todo o conhecimento que me forneceram ao longo do curso.

"Palavras são, na minha não tão humilde opinião, nossa inesgotável fonte de magia." - Alvo Dumbledore, em "Harry Potter e as Relíquias da Morte"

RESUMO

Plantios com espécies florestais nativas em áreas degradadas geralmente são implantados em solos com baixo teor de matéria orgânica o que, conseqüentemente, não fornece quantidades suficientes de nutrientes, como o nitrogênio (N), para suprir a demanda nutricional das mudas, refletindo em menor sobrevivência e crescimento. Por isso, convém selecionar espécies mais eficientes na absorção de N e definir parâmetros morfológicos e fisiológicos para avaliação dos efeitos relacionados à demanda de N. O presente estudo tem como objetivo selecionar espécies florestais nativas através de parâmetros morfofisiológicos e da eficiência do uso do nitrogênio para compor plantios de recuperação de áreas degradadas. Para isso, em casa de vegetação, mudas de *Schinus terebinthifolius*, *Cedrela fissilis*, *Myrocarpus frondosus*, *Cordia americana*, *Handroanthus heptaphyllus* foram cultivadas em solução nutritiva de Hoagland por 30 dias, seguidos de restrição de N em solução de CaSO_4 $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ por 30 dias e, em seguida oferta de N por 72 horas. Parâmetros morfológicos da parte aérea e do sistema radicular, massa seca dos órgãos, trocas gasosas, fluorescência da clorofila a e atividade da enzima nitrato redutase das espécies foram mensuradas, além disso calculou-se a eficiência de uso de N. Os resultados indicaram que a eficiência do uso de nitrogênio afeta diretamente a altura, diâmetro do coleto, morfologia das raízes e atividade da enzima nitrato redutase das plantas. Mudas de *Schinus terebinthifolius* e *Cedrela fissilis* são mais eficientes na utilização de N e, conseqüentemente, podem ser consideradas como as melhores escolhas dentre as espécies avaliadas para realizar a recuperação de ambientes degradados.

Palavras-chave: Absorção de nutrientes. Nitrogênio. Nitrato redutase. Áreas degradadas.

ABSTRACT

Planting with native forest species in degraded areas are generally implanted in soils with low organic matter content, which consequently do not provide sufficient amounts of nutrients, such as nitrogen (N) to supply the nutritional demand of the seedlings, resulting in a lower survival and growth. Therefore, it is advisable to select species that are more efficient in N absorption and define morphological and physiological parameters to evaluate the effects related to N demand. The present study aims to select native forest species through morphophysiological parameters and nitrogen use efficiency for the composition of reforestation plantations in degraded areas. For this purpose, in a greenhouse, seedlings of *Schinus terebinthifolius*, *Cedrela fissilis*, *Myrcarpus frondosus*, *Cordia americana*, *Handroanthus heptaphyllus* were cultivated in Hoagland nutrient solution for 30 days, followed by N restriction in CaSO_4 0.1 mol L^{-1} solution for 30 days, then subsequently supplied with N for 72 hours. Morphological parameters of the shoot and root system, dry mass of organs, gas exchange, chlorophyll a fluorescence and nitrate reductase enzyme activity of the species were measured, furthermore, N use efficiency was calculated. The results indicated that nitrogen use efficiency directly affects plant height, stem diameter, root morphology and nitrate reductase enzyme activity. Seedlings of *Schinus terebinthifolius* and *Cedrela fissilis* are more efficient in N utilization and, consequently, can be considered as the best choices among the evaluated species for the restoration of degraded environments.

Keywords: Nutrient uptake. Nitrogen. Nitrate reductase. Degraded areas.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** – Mudanças de *S. terebinthifolius*, *M. frondosus*, *C. fissilis*, *C. americana* e *H. heptaphyllus* transferidas para vasos de 8 litros no ano de 2021.....22
- Figura 2** – Determinação da altura (A), diâmetro do colo (B) e retirada das mudas de *S. terebinthifolius*, *M. frondosus*, *C. fissilis*, *C. americana* e *H. heptaphyllus* dos tubetes (C) seguida da lavagem do sistema radicular em água corrente (D).23
- Figura 3** – Mudanças de espécies nativas sem o substrato no entorno das raízes após lavagem em água corrente.....24
- Figura 4** – Avaliação da fluorescência da clorofila usando o equipamento fluorômetro portátil de luz modulada.25
- Figura 5** – Avaliações dos parâmetros fotossintéticos usando o equipamento Infra Red Gas Analyzer (IRGA).26
- Figura 6** – Mudanças de *S. terebinthifolius*, *M. frondosus*, *C. fissilis*, *C. americana* e *H. heptaphyllus* retiradas dos recipientes contendo a solução nutritiva (A) e fracionamento em raízes (B), folhas (C) e caule, seguido de secagem, moagem (D) e armazenamento do tecido para determinação da concentração de nutrientes (E).27
- Figura 7** – Altura (A), diâmetro do colo (B), matéria seca radicular - MSR (C) e matéria seca aérea - MSA (D) em mudas de *S. terebinthifolius*, *M. frondosus*, *C. fissilis*, *C. americana* e *H. heptaphyllus* após 60 dias cultivadas em sistema hidropônico.30
- Figura 8** – Comprimento (A), área superficial (B), diâmetro médio (C) e volume de raízes (D) em mudas de *S. terebinthifolius*, *M. frondosus*, *C. fissilis*, *C. americana* e *H. heptaphyllus* após 60 dias cultivadas em sistema hidropônico.....31
- Figura 9** – Atividade da enzima nitrato redutase (A), fluorescência inicial (Fo) (B), rendimento quântico máximo do PSII (Fv/Fm) (C) e taxa de transporte de elétrons máxima (D) em mudas de *S. terebinthifolius*, *M. frondosus*, *C. fissilis*, *C. americana* e *H. heptaphyllus* após 60 dias cultivadas em sistema hidropônico.32
- Figura 10** – Taxa transpiratória (A), condutância estomática (B), taxa fotossintética (C) e concentração interna de CO₂ (D) em mudas de *S.*

	<i>terebinthifolius</i> , <i>M. frondosus</i> , <i>C. fissilis</i> , <i>C. americana</i> e <i>H. heptaphyllus</i> após 60 dias cultivadas em sistema hidropônico.	33
Figura 11	– Concentração de nitrogênio em raízes (A), e folhas (B) em mudas de <i>S. terebinthifolius</i> , <i>M. frondosus</i> , <i>C. fissilis</i> , <i>C. americana</i> e <i>H. heptaphyllus</i> após 60 dias cultivadas em sistema hidropônico.	34
Figura 12	– Uso e eficiência de nitrogênio (NUE) na raiz (A), no caule (B), na folha (C) e total (D) em mudas de <i>S. terebinthifolius</i> , <i>M. frondosus</i> , <i>C. fissilis</i> , <i>C. americana</i> e <i>H. heptaphyllus</i> após 60 dias cultivadas em sistema hidropônico.	35
Figura 13	– Relação entre Dim1 e Dim2 envolvendo parâmetros nutricionais, morfológicos e fisiológicos em mudas de <i>S. terebinthifolius</i> , <i>M. frondosus</i> , <i>C. fissilis</i> , <i>C. americana</i> e <i>H. heptaphyllus</i> após 60 dias cultivadas em sistema hidropônico.	37

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Nome popular, família e grupo ecológico das espécies analisadas.....21

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	14
2.1 OBJETIVO GERAL	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3 REVISÃO DE LITERATURA	15
3.1 DESCRIÇÃO DAS ESPÉCIES.....	15
3.1.1 <i>Schinus terebinthifolius</i> Raddi	15
3.1.2 <i>Myrocarpus frondosus</i> Allemao	16
3.1.3 <i>Cedrela fissilis</i> Vellozo.....	16
3.1.4 <i>Cordia americana</i> (L.) Gottschling & J.S.Mill.	17
3.1.5 <i>Handroanthus heptaphyllus</i> (Mart.) Mattos.....	18
3.2 IMPORTÂNCIA DO NITROGÊNIO	18
3.2.1 Função nutricional	18
3.2.2 Sintomas de deficiência.....	19
3.3 USO E ABSORÇÃO DE NUTRIENTES	19
3.4 ATRIBUTOS MORFOFISIOLÓGICOS EM ESPÉCIES FLORESTAIS	20
4 MATERIAL E MÉTODOS	21
4.1 MATERIAL VEGETAL E DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO	21
4.2 AVALIAÇÕES REALIZADAS E PARÂMETROS MENSURADOS	23
4.2.1 Parâmetros morfológicos das mudas	23
4.2.2 Extração e quantificação da enzima nitrato redutase.....	24
4.2.3 Avaliação da fluorescência da clorofila <i>a</i>	25
4.2.4 Trocas gasosas	26
4.2.5 Coleta das plantas e análise no tecido e solução.....	26
4.2.6 Cálculos e análise estatística	27
5 RESULTADOS	29
6 DISCUSSÃO	38
7 CONCLUSÃO	41
REFERÊNCIAS	43

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, a fragmentação de paisagens e a degradação ambiental associado, principalmente, a intensos processos de urbanização, construção de hidrelétricas e avanço do setor agropecuário, ocasionam a perda de biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos das formações vegetais (TURCHETTO *et al.*, 2020). Diante disso, um dos objetivos do Brasil firmado na 27ª Conferência Climática das Nações Unidas no Egito, é recuperar, pelo menos, 12 milhões de hectares de áreas degradadas até 2030 (COP27, 2022).

Juntamente com a necessidade de recuperar áreas de preservação permanente, reserva legal e terras degradadas, há uma crescente demanda por florestas que podem ser usadas para alcançar múltiplos objetivos (BRANCALION; CHAZDON, 2017; CHAZDON *et al.*, 2017), integrando conservação da biodiversidade e a produção de produtos madeireiros e não madeireiros (KARDIMAN *et al.*, 2019). Diante disso, os plantios florestais com espécies nativas tornam-se fundamentais, porque aceleram a restauração de áreas degradadas aumentando tanto a diversidade quanto o valor econômico dos povoamentos florestais (AMAZONAS *et al.*, 2018; KARDIMAN *et al.*, 2019).

O plantio de mudas em área total ainda representa a técnica de restauração mais difundida e utilizada, especialmente em casos em que a matriz não é florestal ou quando se deseja acelerar o processo (MARTINS, 2007). O plantio de árvores pode ser considerado uma técnica eficaz de restauração ecológica, a qual tem como objetivo acelerar a estruturação da vegetação e a superação dos obstáculos da regeneração natural. Tais obstáculos estão associados com alguns fatores ligados ao banco de sementes do solo, dispersão limitada das plantas e redução da regeneração de plântulas por competição com plantas daninhas (TURCHETTO *et al.*, 2020; HOLL, 2007).

A implantação dos plantios pode ser realizada utilizando espécies dos diferentes grupos sucessionais. A escolha das espécies utilizadas nos plantios é realizada de acordo com a resistência a fatores bióticos e abióticos, características relacionadas às suas respectivas classes sucessionais, como crescimento, ciclo de vida, suas síndromes de dispersão, entre outros aspectos associados à adaptação específica e funcionalidade das espécies (GONÇALVES *et al.*, 2013; MARTINS, 2007). No entanto, nessa fase de escolha de espécies, geralmente não são

consideradas a eficiência de absorção e responsividade de nutrientes, o que pode comprometer a sobrevivência e o crescimento dos plantios.

Isso torna-se importante porque os plantios com espécies nativas são realizados em solos com baixo teor de matéria orgânica e, conseqüentemente, baixa disponibilidade de nutrientes, como o nitrogênio (N) (PULITO *et al.*, 2015; MELO *et al.*, 2016; BERGHETTI *et al.*, 2020). Essas limitações elevam as taxas de mortalidade e reduzem o crescimento inicial das mudas, comprometendo a efetividade dos plantios. Por isso, a escolha de espécies mais aptas a superar filtros ecológicos envolvendo pouca disponibilidade de nutrientes, como o N no solo, são essenciais (BERGHETTI *et al.*, 2020; TURCHETTO *et al.*, 2020).

Estudos comparando a capacidade de absorção e uso do N, no que tange a escolha de espécies nativas potenciais para compor projetos de recuperação, são necessários para determinar a demanda de N pelas plantas. Isso porque o nitrogênio influencia diretamente no crescimento da planta, mais do que qualquer outro nutriente, sendo um fator limitante em muitos sistemas de produção (EMBRAPA, 2008).

Essa limitação está ligada ao fato de o N ser necessário na sinalização de diversos processos inerentes à planta, como o crescimento de raízes. Além disso, a produção de proteínas e enzimas presentes no processo fotossintético também depende desse importante nutriente (SILVA *et al.*, 2020, KULMANN *et al.*, 2020). Devido a isso, esse macronutriente tem sido estudado intensamente para que seja possível maximizar a eficiência de sua utilização, tanto pela diminuição das perdas de nitrogênio no solo quanto pela melhora na absorção e metabolização do N no interior da planta (EMBRAPA, 2008).

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O presente estudo objetivou selecionar espécies florestais nativas por meio de parâmetros morfofisiológicos e da eficiência do uso do nitrogênio para compor plantios de recuperação de áreas degradadas.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a. Avaliar parâmetros morfológicos da parte aérea de diferentes espécies florestais nativas;
- b. Mensurar a morfologia do sistema radicular das plantas;
- c. Determinar as concentrações de nitrogênio no tecido das plantas e a eficiência de uso pelas plantas;
- d. Avaliar trocas gasosas das plantas.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 DESCRIÇÃO DAS ESPÉCIES

3.1.1 *Schinus terebinthifolius* Raddi

A *Schinus terebinthifolius* (aroeira-vermelha) é uma espécie nativa brasileira, que ocorre desde o Rio Grande do Norte até o Rio Grande do Sul. Também ocorre em outros países, sendo de forma natural na Argentina, Paraguai e Uruguai, e de forma invasora na Europa, América Central e no sul dos Estados Unidos, pois foi introduzida com fins ornamentais (CARVALHO, 2003).

A aroeira-vermelha é uma das principais espécies do gênero *Schinus*, o qual possui aproximadamente 29 espécies. Esse gênero, por sua vez, pertence à família Anacardiaceae, a qual possui mais de 76 gêneros e 600 espécies, sendo uma família promissora com relação à estudos que procuram por substâncias bioativas (CARVALHO et al., 2013).

É uma planta comum em áreas úmidas, como beiras de rios, e possui um rápido desenvolvimento em campo, se adaptando de forma eficaz nos diferentes territórios brasileiros e em outras regiões. Suas habilidades adaptativas lhe permitem se estabelecer em locais onde outras culturas mais exigentes não sobreviveriam, como restingas, solos arenosos e solos com alto índice de salinidade (BILHALVA, 2015).

Segundo Carvalho (2003), seu grupo sucessional está entre espécie pioneira e secundária inicial, sendo comum ocupar estágios de capoeira e floresta secundária. O autor ainda cita estudos que relatam sobre seu comportamento germinativo, onde a estratégia de estabelecimento da *S. terebinthifolius* é mais típica de espécies secundárias.

Os frutos da aroeira-vermelha são amplamente utilizados como condimento alimentar na culinária nacional e internacional, sendo popularmente conhecidos como pimenta-rosa, “pink pepper” e “poivre-rose”. Além disso possuem propriedades medicinais antioxidantes, antialérgicas, antimicrobianas, anti-inflamatórias, antiúlcera e cicatrizantes, as quais estão distribuídas pelas suas folhas, cascas, frutos, flores e sementes (PEREIRA et al., 2021). Além disso, a aroeira-vermelha pode ser utilizada como lenha, cerca, arborização urbana e inclusive reflorestamentos (BILHALVA, 2015).

3.1.2 *Myrocarpus frondosus* Allemao

Popularmente conhecida como cabreúva, a *Myrocarpus frondosus* pertence à família Fabaceae (Leguminosae Papilionoideae) e ocorre de forma natural no nordeste da Argentina, no leste do Paraguai e em diversos estados do Brasil, desde a Bahia até o Rio Grande do Sul (CARVALHO, 2003). É uma espécie classificada como rara na lista de plantas ameaçadas de extinção do Paraná (PARANÁ, 1995).

O gênero *Myrocarpus* é exclusivamente sul-americano, tendo seu maior número de espécies presentes em território brasileiro. O seu nome vem do prefixo grego “Myron”, que significa óleo perfumado, e faz referência às substâncias exsudadas pelos frutos (SARTORI e TOZZI., 2004).

A cabreúva é encontrada com mais frequência na fitofisionomia de Floresta Estacional Decidual e Semidecidual, ocupando prioritariamente o extrato superior e apresentando características de espécies semi-heliófitas (tolera sombreamento moderado), sendo classificada como secundária tardia. Sua madeira é utilizada na construção civil e naval, além de produzir lenha de boa qualidade, podendo atuar também na arborização urbana (CARVALHO, 2003).

Segundo Calegari et al. (2009), *M. frondosus* é vista frequentemente em fundos de vales, em inícios de encostas e locais com solos úmidos.

Diversos estudos indicam que *M. frondosus* possui características que podem ser utilizadas de forma medicinal devido às suas propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e antimicrobianas. A espécie já vem sendo usada tradicionalmente para tratamento de feridas, como expectorante e outras lesões relacionadas ao sistema respiratório (SANTI et al., 2017 e BOTTAMEDI et al., 2021).

3.1.3 *Cedrela fissilis* Vellozo

Popularmente conhecida como cedro-rosa, a *Cedrela fissilis* pertence à família Meliaceae, ocorrendo naturalmente na Costa Rica, Panamá, Argentina, Bolívia, Uruguai, entre outros países. No Brasil, está presente em diversos estados desde Alagoas até o Rio Grande do Sul, sendo classificada como secundária inicial a tardia ou clímax exigente de luz (CARVALHO, 2003).

Essa espécie está avaliada como ameaçada de extinção, na lista vermelha de espécies ameaçadas da IUCN, e no Brasil é categorizada como vulnerável na lista nacional oficial de espécies da flora ameaçadas de extinção (MMA, 2014).

A família das Meliáceas (Meliaceae) apresentam espécies de grande porte, conhecidas por produzir madeiras muito valorizadas no mercado. O cedro-rosa apresenta potencial de uso madeireiro por possuir excelente qualidade, podendo ser utilizado para fabricação de instrumentos musicais, esquadilhas e móveis, não tendo risco de empenamento da madeira, devido ao seu coeficiente médio de anisotropia (MENDOZA et al., 2015).

Além disso *C. fissilis*, é muito utilizada em reflorestamentos com o intuito de recuperação, podendo inclusive ser utilizada em ambientes ciliares e nascentes em locais onde não haja inundação. No paisagismo, pode compor parques, jardins e arborização de praças e ruas (PEIXOTO et al., 2008).

3.1.4 *Cordia americana* (L.) Gottschling & J.S.Mill.

A espécie *Cordia americana* ocorre naturalmente em países sul-americanos (Argentina, Bolívia, Paraguai e Uruguai). No Brasil, é uma espécie nativa da região sul, avistada também no Mato Grosso do Sul e São Paulo. Ocupa o dossel superior de Florestas Estacionais Semidecíduais e Decíduais, sendo secundária inicial a tardia (CARVALHO, 2003). Segundo Flora e Funga do Brasil, tem como sinônimo *Patagonula americana*.

C. americana é conhecida popularmente como guajuvira, e pertence à família Boraginaceae (LORENZI, 2008), e gênero *Cordia*, que é o mais populoso da família, possuindo propriedades medicinais importantes (SILVA et al., 2021).

Por ser uma espécie com um sistema radicular amplo e suportar inundações periódicas de rápida duração, é indicada para recuperação de áreas degradadas e matas ciliares (CARVALHO, 2003).

A guajuvira tem valor madeireiro na área de construção civil, podendo ser utilizada em áreas externas por ter resistência a intempéries, também é útil na confecção de cabos de ferramentas, por ser uma madeira moderadamente pesada (RODRIGUES et al., 2007).

Na medicina tradicional, suas folhas e caules tem importância devido suas propriedades antimicrobianas, anti-inflamatórias, antidiarréicas e hepatoprotetoras (LÓ e DUARTE, 2011).

3.1.5 *Handroanthus heptaphyllus* (Mart.) Mattos

Popularmente conhecida como ipê-roxo, o *Handroanthus heptaphyllus* pertence à família Bignoniaceae, é uma espécie nativa do Brasil, ocorrendo da Bahia até o Rio Grande do Sul, em florestas de fitofisionomia Estacional Decidual. Também está presente na Argentina, Bolívia, Paraguai e Uruguai, sendo classificada como secundária tardia (CARVALHO, 2003).

H. heptaphyllus é uma espécie utilizada em plantios de restauração florestal da Mata Atlântica (ALMEIDA e VIANI, 2020), inclusive de matas ciliares desde que seja inserida em locais sem inundações (CARVALHO, 2003).

A madeira dessa espécie possui alta densidade e durabilidade, além de apresentar resistência à agentes decompositores e insetos xilófagos, o que lhe confere alto valor comercial por ser muito procurada (RODRIGUES, 2018). Pode ser empregada na construção civil, naval, confecção de tacos de assoalho, entre outras aplicações (CARVALHO, 2003).

O ipê-roxo também é utilizado popularmente na medicina como um regulador da glicemia no tratamento de diabetes, além de existirem registros do uso dessa espécie como antirreumática e antifúngica, entre outras propriedades (SALAMONI et al., 2011 e GROCHANKE et al., 2016).

3.2 IMPORTÂNCIA DO NITROGÊNIO

O nitrogênio (N) é um macronutriente primário, estando presente na composição de diversas moléculas, como ácidos nucleicos, aminoácidos, proteínas e clorofilas, sendo um elemento de uso essencial no crescimento e desenvolvimento de espécies arbóreas. Devido a isso, é o nutriente mais exigido e absorvido em maior quantidade pelas plantas (SILVA et al., 2020).

3.2.1 Função nutricional

O nitrogênio atua na sinalização de muitos processos vegetais, como o crescimento de raízes laterais, resistência a estresses bióticos e abióticos, regulação germinativa de sementes, entre outros (SILVA *et al.*, 2020). No caso do crescimento das raízes, a presença da molécula sinalizadora que contém N regula a expressão dos genes envolvidos no equilíbrio hormonal das plantas, e conseqüentemente, na transferência de auxinas para o sistema radicular, afetando a produção de raízes (KULMANN, 2020).

A absorção de nitrogênio também está envolvida na produção de proteínas e enzimas essenciais presentes na fotossíntese, como a enzima Rubisco, que auxilia na absorção de maiores níveis de CO₂ e contribui para um uso mais eficiente da água e de diversos nutrientes, como o próprio N (KULMANN *et al.*, 2020).

3.2.2 Sintomas de deficiência

A ausência de nitrogênio na planta reduz rapidamente o seu crescimento, causando clorose (amarelecimento) nas folhas mais velhas, podendo levar até mesmo à queda das mesmas (KULMANN *et al.*, 2021). Além disso, afeta a taxa fotossintética, o potencial osmótico e o crescimento da parte aérea da planta (SILVA *et al.*, 2020).

3.3 USO E ABSORÇÃO DE NUTRIENTES

A eficiência da utilização dos nutrientes pelas plantas é tão importante quanto a eficiência de absorção. Para calcular esse parâmetro, a metodologia de Siddiqi e Glass (1981) propõe a utilização do total de massa seca da planta e os valores acumulados do nutriente a ser avaliado na planta, ou no órgão em questão (raízes e folhas). Dessa forma, são considerados atributos morfológicos e fisiológicos na mensuração do uso-eficiência, levando em conta situações práticas e auxiliando no custo-benefício da aplicação de fertilizantes (Siddiqi, M. Y. e Glass, A. D. M, 1981).

Além disso, os valores de uso e eficiência nutricional atuam como ferramentas capazes de comparar e identificar as espécies mais eficientes na utilização de nutrientes (SILVA *et al.*, 2018). Também auxiliam na compreensão de estratégias adaptativas das espécies, as quais influenciam no seu crescimento e

produtividade, já existindo estudos que abordam esses parâmetros em plantas submetidas a condições de restrição hídrica e/ou nutricional (ROSÁRIO, 2020).

3.4 ATRIBUTOS MORFOFISIOLÓGICOS EM ESPÉCIES FLORESTAIS

Para determinação da qualidade de mudas de espécies arbóreas, são utilizados parâmetros que se baseiam em atributos morfológicos e fisiológicos (GOMES *et al.*, 2002). Os morfológicos podem ser determinados de maneira prática, incluindo avaliações visuais e físicas (FONSECA *et al.*, 2002), sendo os mais utilizados para atribuir qualidade às mudas, pois são importantes para o sucesso das mesmas após o plantio (GOMES *et al.* 2019). Essas medidas de crescimento permitem avaliar o crescimento da planta como um todo, sendo muito utilizadas em estudos medidas lineares (altura, comprimento e diâmetro do caule, comprimento e largura de folhas), superficiais (área foliar) e de peso (massa seca) (PEIXOTO *et al.*, 2020).

Os atributos fisiológicos estão relacionados às estruturas internas das mudas, e são mensurados e analisados de maneira mais complexa (GOMES *et al.* 2002). Em uma análise de crescimento, a acumulação de material resultante da fotossíntese líquida é o aspecto fisiológico mais importante, sendo que a fotossíntese líquida é a diferença entre a fotossíntese bruta (tudo o que é produzido no interior dos cloroplastos) e o que é consumido pela respiração. Outros aspectos, como a fotorrespiração, também são considerados (PEIXOTO *et al.* 2020).

Campoe *et al.* (2013) mencionaram a importância de relacionar esses dois tipos de atributos para que haja uma complementação nas pesquisas, envolvendo os processos fisiológicos internos do comportamento da planta.

Atributos relacionados às folhas e raízes vêm sendo utilizados para descrever estratégias de crescimento de espécies vegetais, envolvendo fatores limitantes como disponibilidade de nutrientes, pois a similaridade entre eles é considerada um bom indicador para a diferenciação de grupos de espécies com diferentes estratégias de crescimento (MARQUES, 2020).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 MATERIAL VEGETAL E DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO

O experimento foi instalado no período de outubro a dezembro de 2021, em casa de vegetação do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), localizada no município de Santa Maria, no estado do Rio Grande do Sul. A temperatura na casa de vegetação foi mantida em média a 25° C e a umidade relativa do ar média foi de 60% para a produção das mudas e realização do experimento.

Foram avaliadas cinco espécies florestais (*Schinus terebinthifolius*, *Myrocarpus frondosus*, *Cedrela fissilis*, *Cordia americana* e *Handroanthus heptaphyllus*), todas com potencial para serem usadas em plantios de recuperação de áreas degradadas (Tabela 1).

Quadro 1 – Nome popular, família e grupo ecológico das espécies analisadas.

Nome científico	Nome popular	Família	Grupo ecológico
<i>Schinus terebinthifolius</i>	aroeira-vermelha	Anacardiaceae	Pioneira
<i>Myrocarpus frondosus</i>	cabreúva	Fabaceae	Secundária tardia
<i>Cedrela fissilis</i>	cedro-rosa	Meliaceae	Secundária inicial a tardia ou clímax exigente de luz
<i>Cordia americana</i>	guajuvira	Boraginaceae	Secundária inicial a tardia
<i>Handroanthus heptaphyllus</i>	ipê-roxo	Bignoniaceae	Secundária tardia

Fonte: CARVALHO, P. E. R (2003).

As mudas utilizadas foram produzidas em tubetes de polipropileno atóxico de 180 cm³ de volume, os quais foram preenchidos com substrato comercial a base de casca de arroz carbonizada e turfa, na proporção de 1:2. A fertilização foi feita com 9 g L⁻¹ de fertilizante com liberação controlada (Osmocote® 15-09-12 Mini Prill). A irrigação das mudas foi automatizada por microaspersão, com um regime de 12 mm por vez, divididos em quatro aplicações.

Independentemente da idade de cada espécie, no mesmo dia em que as mudas atingiram uma média de 35 cm de altura e 4 mm de diâmetro do coleto, todas foram retiradas dos tubetes. Após isso, o sistema radicular foi lavado em água corrente para remover o substrato remanescente nas raízes. Em sequência, foram transferidas para vasos de 8 litros de capacidade (figura 1), que continham 5 L de solução nutritiva de Hoagland (HOAGLAND e ARNON, 1950) a 50% de força total, com a composição: (mg L^{-1}) $\text{N-NO}_3^- = 98$, $\text{N-NH}_4^+ = 7$, $\text{P} = 15.5$, $\text{K} = 117$, $\text{Ca} = 80$, $\text{Mg} = 24.3$, $\text{S} = 35$, $\text{Fe-EDTA} = 2.5$, $\text{Cu} = 0.01$, $\text{Zn} = 0.075$, $\text{Mn} = 0.25$, $\text{B} = 0.25$ e $\text{Mo} = 0.005$.

Figura 1 – Mudas de *S. terebinthifolius*, *M. frondosus*, *C. fissilis*, *C. americana* e *H. heptaphyllus* transferidas para vasos de 8 litros no ano de 2021.



Fonte: Berghetti, A. (2021)

Nesse sistema hidropônico, as plantas foram fixadas em lâminas de isopor com abertura central, impedindo a entrada de radiação solar e diminuindo a evaporação da solução. As mudas foram conduzidas por um período de 30 dias na solução nutritiva, a qual era trocada a cada três dias e o pH ajustado em 6.0 ± 0.2 , com $\text{HCl } 1 \text{ mol L}^{-1}$ ou $\text{NaOH } 1 \text{ mol L}^{-1}$, com sistema de aeração.

Após o período de 30 dias, a solução nutritiva de Hoagland a 50% de força total foi substituída por solução de CaSO_4 $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ por mais 30 dias. Posteriormente, foi realizada outra substituição: a solução de CaSO_4 de cada vaso foi alterada novamente para solução nutritiva de Hoagland a 50%, mantendo as plantas por 72 horas até a desinstalação do experimento.

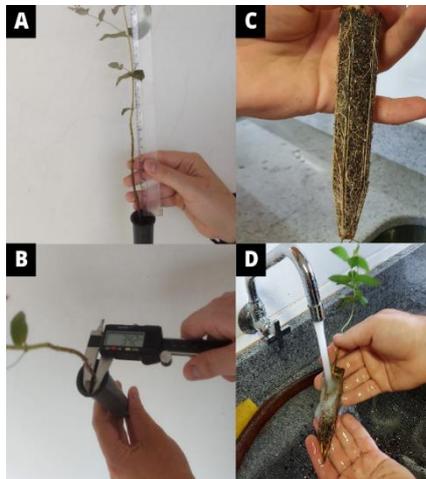
O estudo foi conduzido em delineamento experimental inteiramente casualizado, com seis repetições cada espécie, sendo cada planta considerada uma unidade amostral.

4.2 AVALIAÇÕES REALIZADAS E PARÂMETROS MENSURADOS

4.2.1 Parâmetros morfológicos das mudas

Os parâmetros morfológicos das mudas (altura, diâmetro do coleto, matéria seca aérea e radicular e morfologia das raízes) foram avaliados 60 dias após a implantação do experimento. Para determinação da altura e diâmetro do coleto, foram avaliadas seis plantas por espécie, com a utilização de régua milimetrada e paquímetro digital de precisão de 0,01 mm, respectivamente. Após, a parte aérea foi separada da radicular por meio de corte na altura do coleto, sendo essa última lavada com peneiras de malha 2 mm (figura 2 e figura 3).

Figura 2 – Determinação da altura (A), diâmetro do colo (B) e retirada das mudas de *S. terebinthifolius*, *M. frondosus*, *C. fissilis*, *C. americana* e *H. heptaphyllus* dos tubetes (C) seguida da lavagem do sistema radicular em água corrente (D).



Fonte: Berghetti, A. (2021).

Figura 3 – Mudanças de espécies nativas sem o substrato no entorno das raízes após lavagem em água corrente.



Fonte: Berghetti, A. (2021).

Para a medição relacionada à morfologia das raízes, utilizou-se o software WinRhizo Pro 2013, acoplado a um scanner EPSON Expression 11000 (Regent Instruments, Quebec, Canadá). A avaliação se deu por meio da digitalização das raízes e das folhas, em uma resolução de 600 dpi. Foram determinados: área foliar (cm^2), área de superfície radicular (cm^2), comprimento (cm), volume (cm^3) e diâmetro médio (mm).

Após isso, o material foi seco em estufa de circulação forçada a 65°C até massa constante, seguido de pesagem em balança analítica (0,001 g) para poderem ser determinadas a matéria seca aérea e radicular.

4.2.2 Extração e quantificação da enzima nitrato redutase

A atividade da enzima nitrato redutase (NR) (μM de NO_2^- $\text{g MF}^{-1} \text{h}^{-1}$) foi analisada por meio do método de Jaworski (1971), sendo calculada através da quantidade de nitrito liberada pelos tecidos vegetais na solução de incubação, obtida por meio de uma curva padrão. Inicialmente, foram macerados 0,5 g de cada amostra em 5 mL de tampão fosfato (KNH_2PO_4) 0,1 mM (pH 7,5) contendo isopropanol 1% (v/v) e KNO_3^- (50 mM). Os extratos foram transferidos para tubos de ensaio e dispostos em banho-maria a 37°C por 30 minutos, na ausência de luz. A paralisação da reação foi induzida com a adição de 1 mL de sulfanilamida 1% e 1 mL de α -naftil (n-naftil-etileno-diamino) 0,02%. O conteúdo dos tubos foi centrifugado

a 10.000 rpm por 15 minutos e após o sobrenadante foi lido em espectrofotômetro a 540 nm.

4.2.3 Avaliação da fluorescência da clorofila *a*

A emissão de fluorescência da clorofila *a* foi analisada em três plantas por tratamento, sendo considerada a primeira folha totalmente expandida das mesmas. A análise foi feita em dias ensolarados, durante o período da manhã, entre 8:00 e 10:30 horas (BERGHETTI *et al.*, 2020), usando fluorômetro portátil de luz modulada (Junior-Pam Chlorophyll Fluorometer Walz Mess-und-Regeltechnik, Alemanha) (figura 4).

Figura 4 – Avaliação da fluorescência da clorofila usando o equipamento fluorômetro portátil de luz modulada.



Fonte: Berghetti, A. (2021).

Anteriormente às medições, as folhas foram pré-adaptadas ao escuro por 30 minutos para medição da fluorescência inicial (F_o). Posteriormente, as amostras foram submetidas a um pulso de luz saturante ($10.000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) por 0,6 segundos, determinando-se assim a fluorescência máxima (F_m).

O rendimento quântico máximo PSII (F_v/F_m) foi obtido por meio da razão da fluorescência variável ($F_v = F_m - F_o$) e a fluorescência máxima. A taxa de transporte de elétrons (ETR_m) foi avaliada usando a fluorescência de curva de indução.

4.2.4 Trocas gasosas

Utilizando a terceira folha completamente expandida do caule, as avaliações dos parâmetros fotossintéticos foram realizadas com a utilização do medidor portátil Infra Red Gas Analyzer (IRGA) (figura 5), (WALZ-GFS-3000FL, Alemanha), utilizando uma radiação fotossintética de $1500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e concentração de CO_2 de $400 \mu\text{mol mol}^{-1}$. As medições foram feitas no período da manhã entre 8:00 e 10:00 horas. Nessas condições, foi determinada a taxa transpiratória ($E - \text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$), a condutância estomática de vapores de água ($G_s - \text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e a concentração intercelular de CO_2 ($C_i - \mu\text{mol CO}_2 \text{mol}^{-1}$).

Figura 5 – Avaliações dos parâmetros fotossintéticos usando o equipamento Infra Red Gas Analyzer (IRGA).



Fonte: Berghetti, A. (2021).

4.2.5 Coleta das plantas e análise no tecido e solução

Após 60 dias, as plantas foram removidas do recipiente que continha a solução nutritiva, sendo fracionadas em raízes, folhas e caule. Os órgãos foram lavados em água deionizada e secos em estufa com ar forçado a 65°C até massa constante e, posteriormente, foram triturados em moinho tipo Wiley, com peneira de 20 mesh. Em seguida o tecido foi submetido a digestão sulfúrica (TEDESCO et al. 1995) e, em seguida, o extrato foi destilado em destilador de arraste de vapor do tipo Kjeldahl (Tecnal, Modelo TE-0364, Brasil) e titulado com H_2SO_4 (BREMNER; MULVANEY, 1982) permitindo a determinação do teor total de N.

Figura 6 – Mudas de *S. terebinthifolius*, *M. frondosus*, *C. fissilis*, *C. americana* e *H. heptaphyllus* retiradas dos recipientes contendo a solução nutritiva (A) e fracionamento em raízes (B), folhas (C) e caule, seguido de secagem, moagem (D) e armazenado do tecido para determinação da concentração de nutrientes (E).



Fonte: Berghetti, A. (2021).

4.2.6 Cálculos e análise estatística

A partir dos dados obtidos de concentração de nitrogênio nas raízes, folhas e caule, a eficiência de uso de N foi calculada de acordo com a metodologia proposta por Abbadi e Gerendás (2015), utilizando as seguintes equações:

$$NUE\ total\ (gg^{-1}) = \frac{Matéria\ seca\ total\ da\ planta}{N\ acumulado\ na\ planta} \quad (1)$$

$$NUE\ folha\ (gg^{-1}) = \frac{Matéria\ seca\ total\ da\ planta}{N\ acumulado\ na\ folha} \quad (2)$$

$$NUE\ raiz\ (gg^{-1}) = \frac{Matéria\ seca\ total\ da\ planta}{N\ acumulado\ na\ raiz} \quad (3)$$

$$NUE\ caule\ (gg^{-1}) = \frac{Matéria\ seca\ total\ da\ planta}{N\ acumulado\ no\ caule} \quad (4)$$

Os resultados foram submetidos à análise dos pressupostos de normalidade dos resíduos e a homogeneidade de variância pelo teste de Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente. Constatada diferença entre os tratamentos, efetuou-se teste Tukey à 5% de probabilidade de erro ($P < 0,05$) utilizando o utilizando o pacote “ExpDes.pt” (FERREIRA et al., 2018) do Software R (R CORE TEAM, 2018).

Em complemento à análise de variância foi realizada análise multivariada de componentes principais (PCA), utilizando os pacotes “Factoextra” (KASSAMBARA & MUNDT, 2017) e “FactoMineR” (LE; JOSSE; HUSSON, 2008) do ambiente estatístico R (R CORE TEAM, 2019). Foram utilizadas como variáveis resposta parâmetros morfológicos de raízes em quatro camadas de solo (comprimento, área superficial diâmetro médio e volume), concentração de N em folhas, caules, raízes e no solo, altura de plantas, diâmetro do coleto, massa seca radicular, massa seca aérea, além da atividade da enzima nitrato redutase, fluorescência inicial, rendimento quântico máximo do PSII (F_v/F_m), taxa de transporte de elétrons máxima, taxa transpiratória, condutância estomática, taxa fotossintética e concentração interna de CO_2 . E como fontes de variação as doses de N, foram utilizados o tempo e os blocos.

A PCA é realizada de acordo com um conjunto de componentes principais (1 e 2), que são o reflexo de um conjunto de combinações lineares padronizadas, ortogonais e que somadas explicam a variabilidade original dos dados.

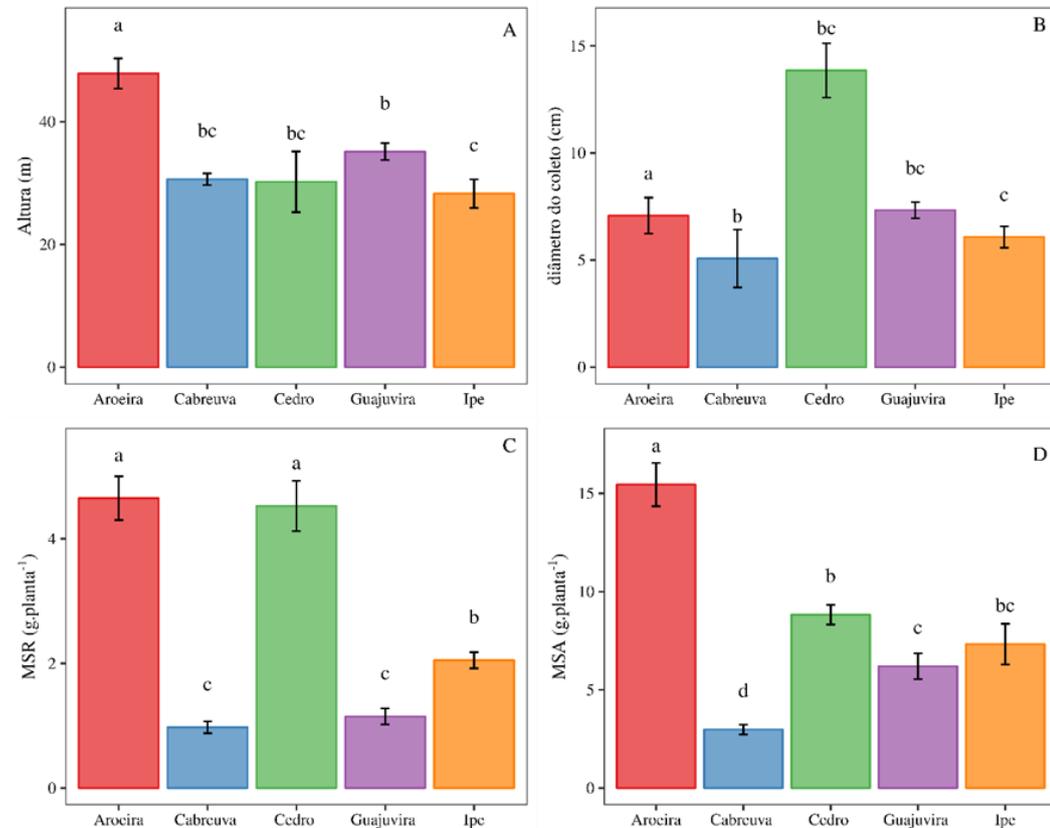
5 RESULTADOS

As mudas de aroeira-vermelha apresentaram os maiores valores para altura, o que foi em média 50% superior aos observados nas outras espécies (figura 7 A). Além disso, demonstraram maior produção de MSR e MSA (figura 7 A, C e D). Quanto ao diâmetro do coleto, as mudas da espécie cedro-rosa se destacaram, apresentando valores em média 1,9 vezes maiores quando comparado à guajuvira (figura 7 B).

A MSR das plantas de aroeira-vermelha e cedro-rosa obtiveram valores semelhantes, sendo eles os maiores quando comparados aos observados nas outras espécies (figura 7 C).

As mudas de cabreúva apresentaram os menores valores de diâmetro do coleto, MSR e MSA em relação as demais espécies, apontando um menor potencial de crescimento (figura 7).

Figura 7 – Altura (A), diâmetro do colo (B), matéria seca radicular - MSR (C) e matéria seca aérea - MSA (D) em mudas de *S. terebinthifolius*, *M. frondosus*, *C. fissilis*, *C. americana* e *H. heptaphyllus* após 60 dias cultivadas em sistema hidropônico¹.



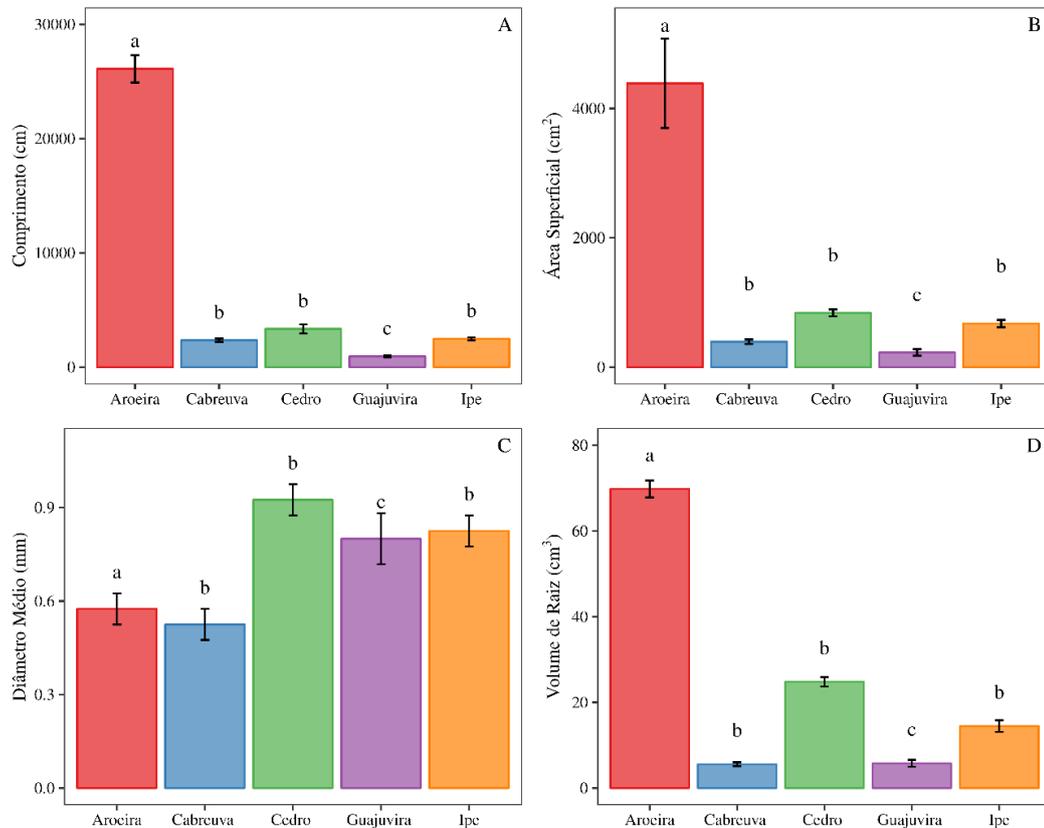
Fonte: O autor (2023).

Para os parâmetros do sistema radicular, observa-se que as mudas de aroeira-vermelha possuem o maior comprimento de raízes, cerca de 7 vezes superior ao observado nas mudas de guajuvira, que possuem o menor comprimento (figura 8 A). A aroeira-vermelha também apresenta maior área superficial e volume de raízes (figura 8 B e D), indicando o potencial da espécie para compor plantios destinados a recuperação de ambientes degradados, pela sua capacidade de explorar o solo e, conseqüentemente, absorver maiores quantidades de água e nutrientes, o que eleva as taxas de sobrevivência e crescimento inicial.

Quanto ao diâmetro médio das raízes, o cedro-rosa alcançou maiores valores, seguido pelo ipê-roxo e a guajuvira, enquanto a aroeira-vermelha e a cabreúva apresentaram valores mais baixos (figura 8 C).

¹ Médias seguidas das mesmas letras não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Figura 8 – Comprimento (A), área superficial (B), diâmetro médio (C) e volume de raízes (D) em mudas de *S. terebinthifolius*, *M. frondosus*, *C. fissilis*, *C. americana* e *H. heptaphyllus* após 60 dias cultivadas em sistema hidropônico².



Fonte: O autor (2023).

A atividade da enzima nitrato redutase ocorreu em maior quantidade nas mudas de ipê-roxo ($285,27 \mu\text{moles NO}_2^- \text{h}^{-1} \text{gmf}^{-1}$), e em menor quantidade nas mudas de cabreúva, que foram 4,8 vezes inferiores ao obtido nas plantas de Ipê-roxo (figura 9 A).

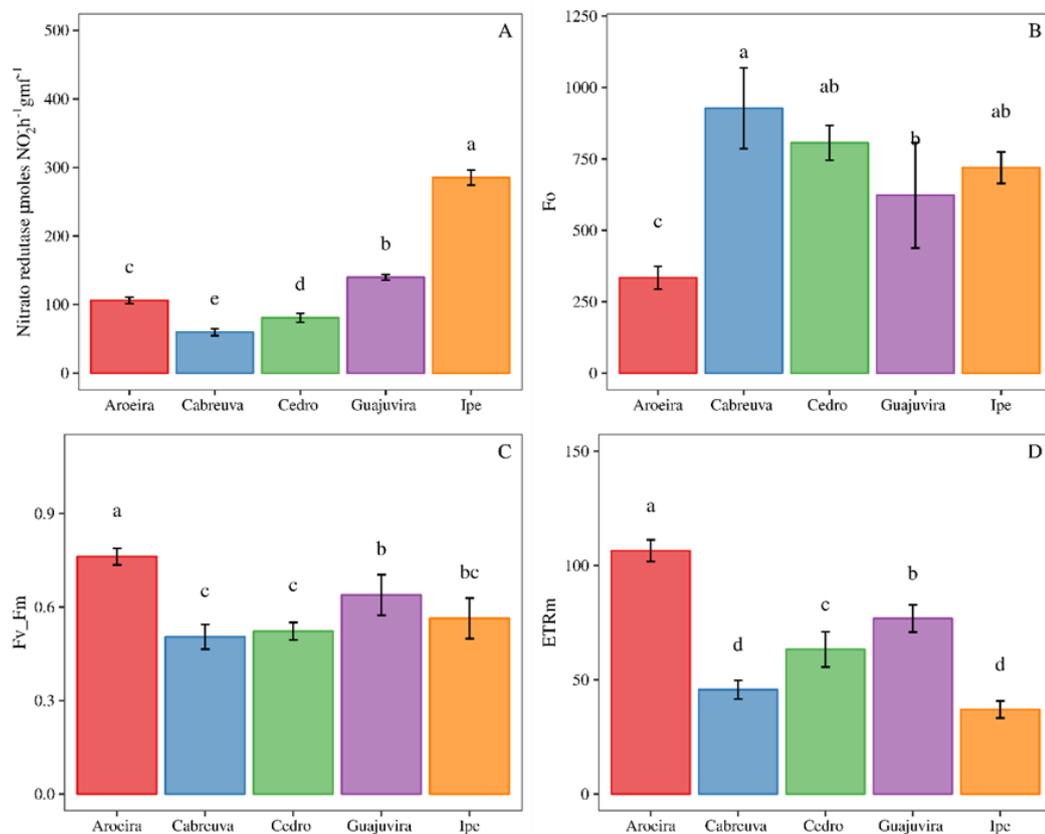
As maiores perdas de energia por fluorescência inicial (F_0) foram observadas nas plantas de cabreúva (figura 9 B). Por outro lado, a menor perda de energia por fluorescência foi nas plantas de aroeira-vermelha, as quais obtiveram um aproveitamento de 2,6 vezes maior de energia fotoquímica (figura 9 B). Esse maior aproveitamento de energia fotoquímica das mudas de aroeira-vermelha pode ser comprovado observando a figura 9 (item C), onde o rendimento quântico do PSII

² Médias seguidas das mesmas letras não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

apresentou maiores valores para essa espécie. Em contrapartida, a cabreúva e o cedro-rosa apresentaram os menores valores.

Além disso, outro parâmetro que também está correlacionado ao rendimento quântico e aproveitamento da energia fotoquímica é a taxa de transporte de elétrons, a qual foi maior para a espécie aroeira-vermelha (figura 9 D), refletindo os demais atributos anteriormente mencionados.

Figura 9 – Atividade da enzima nitrato redutase (A), fluorescência inicial (Fo) (B), rendimento quântico máximo do PSII (Fv/Fm) (C) e taxa de transporte de elétrons máxima (D) em mudas de *S. terebinthifolius*, *M. frondosus*, *C. fissilis*, *C. americana* e *H. heptaphyllus* após 60 dias cultivadas em sistema hidropônico³.



Fonte: O autor (2023).

A maior taxa respiratória ($1,35 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) foi observada nas mudas de aroeira-vermelha seguidas das mudas de cabreúva ($1,05 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Por outro lado, as espécies cedro-rosa, guajuvira e ipê-roxo apresentaram os menores valores e foram semelhantes estatisticamente (figura 10 A). O mesmo padrão ocorreu para os valores de condutância estomática (figura 10 B).

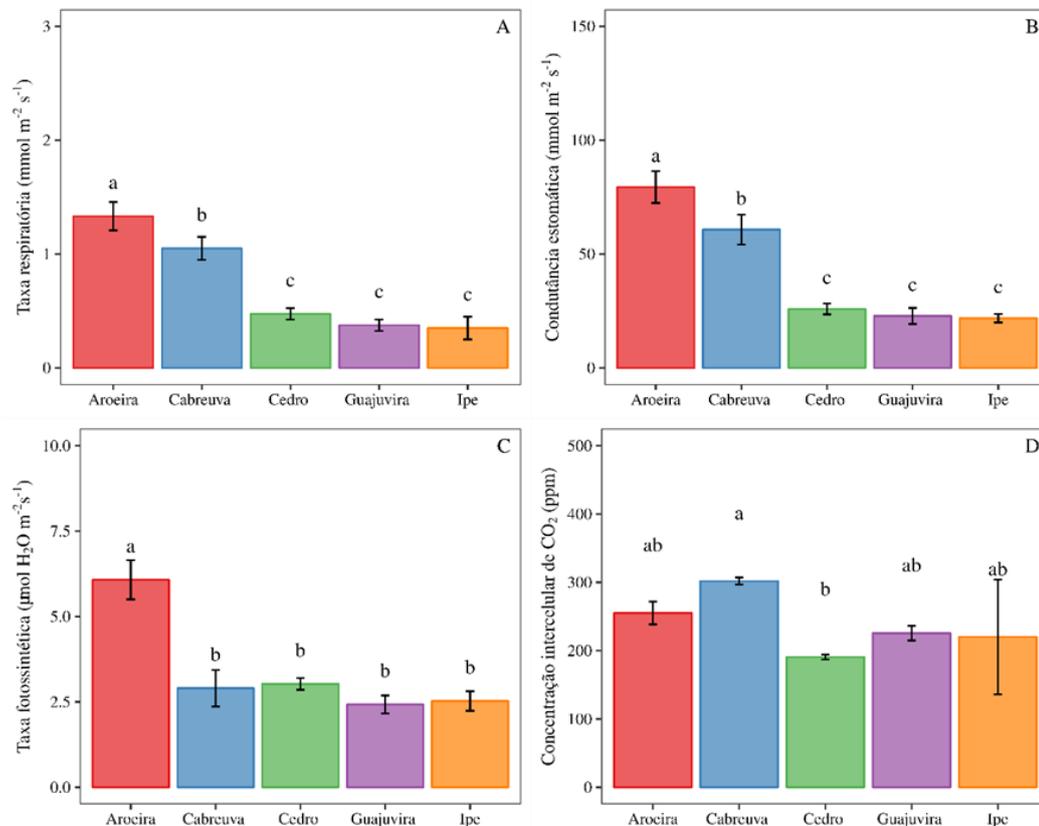
³ Médias seguidas das mesmas letras não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

A maior taxa fotossintética foi de $5,82 \mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ observada nas mudas de aroeira-vermelha (Figura 11 C). De forma distinta, verificou-se nas mudas de cabreúva, cedro-rosa, guajuvira e ipê-roxo os menores valores, cerca de 2,2 vezes inferior as taxas das mudas de aroeira-vermelha.

A maior taxa fotossintética foi de $5,82 \mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ observada nas mudas de aroeira-vermelha, enquanto a cabreúva, o cedro-rosa, a guajuvira e o ipê-roxo foram semelhantes em termos estatísticos e obtiveram um valor cerca de 2,2 vezes menor que o valor da taxa fotossintética da aroeira-vermelha (figura 10 C).

A concentração intercelular de CO_2 foi maior nas plantas de cabreúva (301,77 ppm), o que foi 58,2 % superior ao observado nas plantas de cedro-rosa, as quais apresentaram os menores valores (figura 10 D). Além disso, observa-se que a concentração intercelular de CO_2 foi semelhante entre as espécies aroeira-vermelha, guajuvira e ipê-roxo, com valores intermediários.

Figura 10 – Taxa transpiratória (A), condutância estomática (B), taxa fotossintética (C) e concentração interna de CO_2 (D) em mudas de *S. terebinthifolius*, *M. frondosus*, *C. fissilis*, *C. americana* e *H. heptaphyllus* após 60 dias cultivadas em sistema hidropônico⁴.

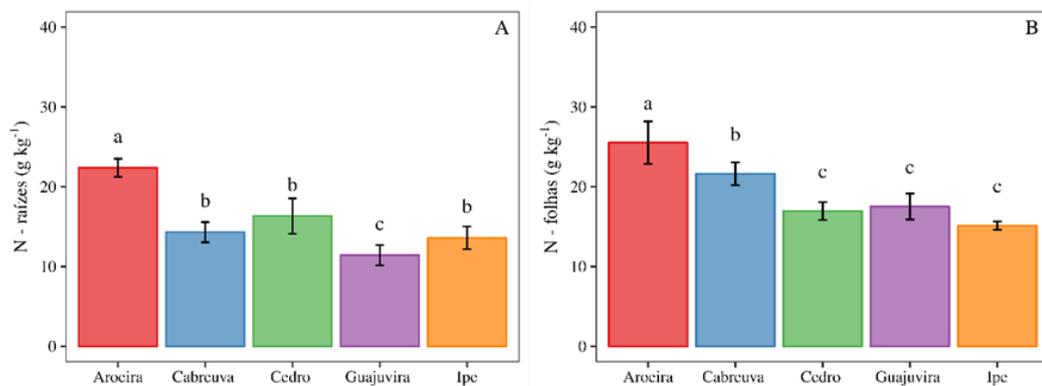


Fonte: O autor (2023).

⁴ Médias seguidas das mesmas letras não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

As maiores concentrações de N nas raízes e folhas foram 23,77 e 25,52 g N kg⁻¹, respectivamente, nas mudas de aroeira-vermelha, enquanto as mudas de guajuvira obtiveram os menores valores de concentração de N nas raízes, obtendo um valor 2,1 vezes inferior ao da aroeira-vermelha (figura 11 A e B). Nas folhas, as menores concentrações de N foram no cedro-rosa, guajuvira e ipê-roxo, sem diferença significativa entre as espécies (figura 11 B).

Figura 11 – Concentração de nitrogênio em raízes (A), e folhas (B) em mudas de *S. terebinthifolius*, *M. frondosus*, *C. fissilis*, *C. americana* e *H. heptaphyllus* após 60 dias cultivadas em sistema hidropônico⁵.



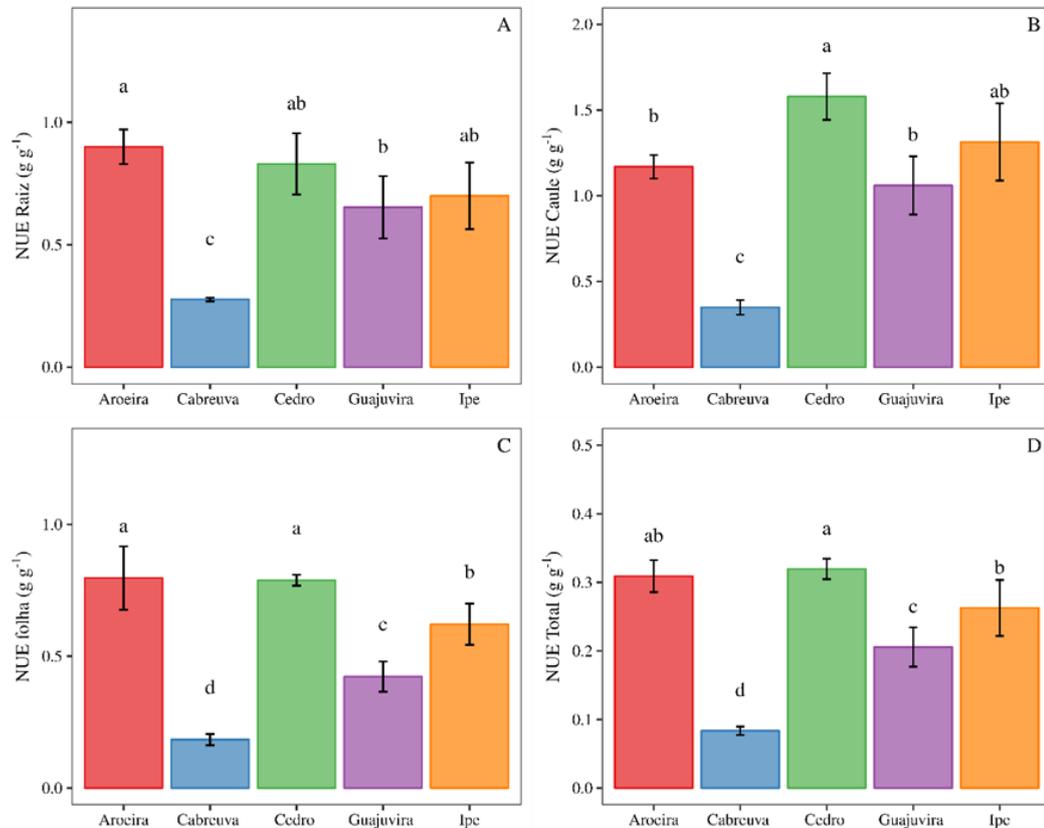
Fonte: O autor (2023).

Observando a figura 12, pode-se notar que a aroeira-vermelha obteve maiores valores de uso e eficiência de N para raiz (item A) e o cedro-rosa os maiores valores para caule (item B). Quanto as folhas, essas duas espécies também apresentaram melhores índices, sendo que suas médias não diferem estatisticamente entre si (figura 12 C).

Entretanto, quando se analisa o NUE total, o cedro-rosa atinge a maior média, seguido da aroeira-vermelha com o segundo maior valor (figura 12 D).

⁵ Médias seguidas das mesmas letras não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey (P < 0,05).

Figura 12 – Uso e eficiência de nitrogênio (NUE) na raiz (A), no caule (B), na folha (C) e total (D) em mudas de *S. terebinthifolius*, *M. frondosus*, *C. fissilis*, *C. americana* e *H. heptaphyllus* após 60 dias cultivadas em sistema hidropônico⁶.



Fonte: O autor (2023).

A análise de componentes principais (PCA) foi realizada extraindo-se os dois primeiros componentes (PC1 e PC2), que somados, explicaram 79,6% da variabilidade original dos dados (figura 13). O PC1 explicou 51,3% da variabilidade e teve maior influência do comprimento radicular, altura, concentração de N em folhas e trocas gasosas como condutância estomática e taxa fotossintética. O PC1 foi eficiente em separar as espécies em grupos (elipses sombreadas). O grupo da direita do eixo PC1 agrupou-se à aroeira-vermelha (elipses azul-claro), e o grupo da esquerda às demais espécies. O PC2 explicou 27,8% da variação dos dados, e as variáveis respostas que mais influenciaram foram as perdas de energia por fluorescência, diâmetro de raízes e a atividade da enzima nitrato redutase.

Com relação ao comprimento da raiz, área radicular e taxa fotossintética, pode-se afirmar que todos influenciaram muito mais no crescimento da aroeira-

⁶ Médias seguidas das mesmas letras não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

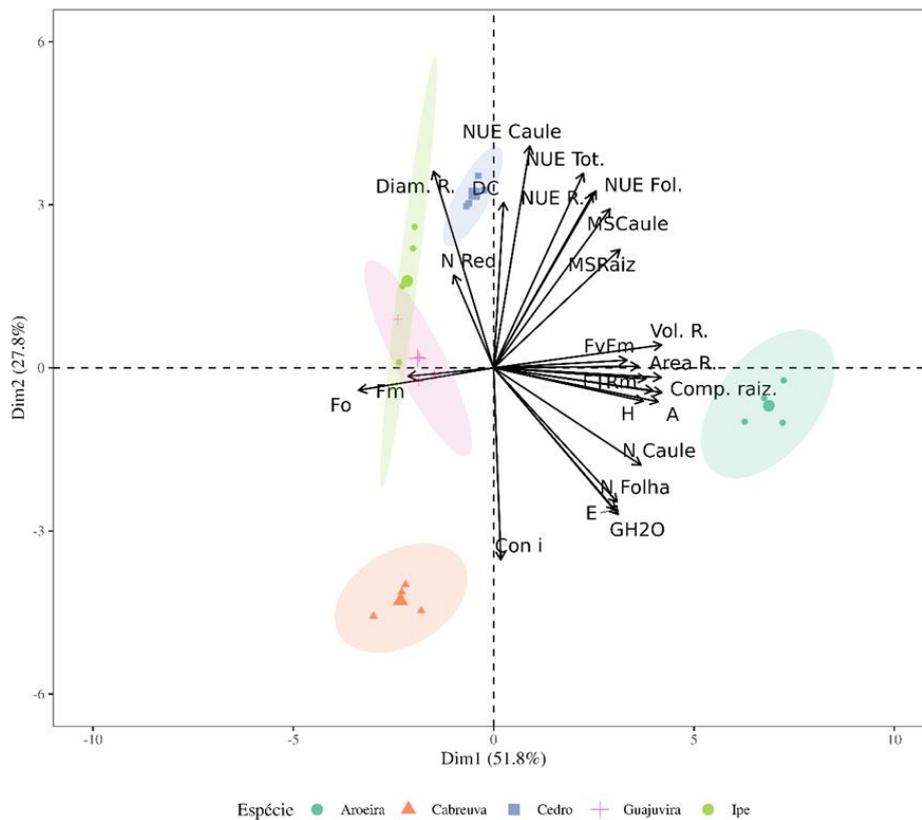
vermelha do que no crescimento das demais espécies, refletindo os maiores valores de altura para a mesma. Por outro lado, também é possível notar que a fluorescência inicial influenciou demasiadamente no crescimento da guajuvira e do ipê-roxo, refletindo a pouca influência do rendimento quântico e taxa respiratória, assim como um menor crescimento de parâmetros envolvendo o sistema radicular e altura.

Quanto à enzima nitrato redutase, o ipê-roxo recebeu maior influência e a cabreúva e a aroeira-vermelha, menor. É possível observar que a concentração do N nas folhas está localizada no lado oposto à atividade da enzima nitrato redutase, refletindo uma maior eficiência na utilização do N principalmente relacionada às mudas de aroeira-vermelha.

Analisando o uso e eficiência do nitrogênio, nas diferentes partes da planta e no total, o cedro-rosa obteve uma maior influência do NUE no caule, refletindo maiores valores de diâmetro do colo e massa seca do caule. Já a aroeira-vermelha obteve maior influência do NUE na raiz, refletindo os maiores valores com relação ao sistema radicular.

Quando se analisa o NUE total, o cedro-rosa recebe uma maior influência, seguido da aroeira-vermelha, indicando o maior crescimento e aproveitamento do nitrogênio por essas duas espécies.

Figura 13 – Relação entre Dim1 e Dim2 envolvendo parâmetros nutricionais, morfológicos e fisiológicos⁷ em mudas de *S. terebinthifolius*, *M. frondosus*, *C. fissilis*, *C. americana* e *H. heptaphyllus* após 60 dias cultivadas em sistema hidropônico.



Fonte: O autor (2023).

⁷ Uso e eficiência de nitrogênio total (NUE Tot), na raiz (NUE R), na folha (NUE Fol) e no caule (NUE Caule), concentração de nitrogênio na raiz ([] Rm) e na folha (N Folha), altura (H), diâmetro do colo (DC), matéria seca radicular (MSRaiz), matéria seca do caule (MSCaule), comprimento da raiz (Comp. raiz), área superficial da raiz (Area R), diâmetro médio da raiz (Diam. R), volume de raiz (Vol. R), fluorescência inicial (F_o), rendimento quântico máximo do PSII (FvFm), taxa fotossintética (A), concentração interna de CO₂ (Con i), taxa respiratória (E) e condutância estomática (GH₂O).

6 DISCUSSÃO

Os maiores valores de altura observados nas mudas de aroeira-vermelha estão essencialmente associados às suas características genéticas e ecológicas de espécie pioneira, que resultam no crescimento inicial acelerado (KAGEYAMA e CASTRO, 1989) quando comparado às espécies de desenvolvimento tardio.

Também é possível relacionar o crescimento elevado da aroeira-vermelha com o maior aproveitamento de energia e taxa de transporte de elétrons da espécie, e pelo fato de as mudas terem apresentado um melhor desenvolvimento do sistema radicular, o que pode ter potencializado a absorção de formas de nitrogênio. O N é absorvido pelas raízes principalmente nas formas de amônio (N-NH_4^+) e nitrato (N-NO_3^-) (ZHANG et al., 2018), sendo que parte desse nutriente é transportado via xilema para a parte aérea e acumulado em folhas (BERGHETTI *et al.* 2021), como observado no presente trabalho. Silva et al. (2018) e Kulmann et al. (2021) também constataram que um sistema radicular mais funcional contribui significativamente para a nutrição da planta.

O aumento da concentração de N no tecido foliar contribui na formação de cloroplastos durante o crescimento foliar (LI et al., 2012; RAZAQ et al., 2017) e conseqüentemente para maior aproveitamento de energia luminosa (associada aos menores valores de fluorescência inicial). Isso ocorre porque quando a energia luminosa é absorvida pelos pigmentos fotossintéticos, ela pode seguir cinco diferentes caminhos. Dois deles resultam na perda de energia, um pela dissipação por produção de calor e outro pela dissipação pela emissão de um fóton (medido pelo parâmetro da fluorescência inicial). Outro caminho é a transferência de excitação entre os pigmentos adjacentes através de ressonância. Os outros dois caminhos são a utilização dessa energia luminosa no transporte de elétrons para formação de ligação química em processos fotoquímicos e a utilização para formação de clorofila (BRUNETTO et al. 2022).

Quando a energia luminosa é aproveitada de uma melhor forma, a planta irá utilizar as reações fotoquímicas com maior eficiência nos processos bioquímicos da fotossíntese, os quais englobam a assimilação de carbono e, conseqüentemente, crescimento e produção de matéria seca aérea e radicular (BERGHETTI et al. 2021; 2022). Isso está nitidamente representado nos maiores valores de massa seca radicular e massa seca aérea obtidos pelas mudas da espécie aroeira-vermelha.

Além disso, o elevado crescimento da aroeira-vermelha também pode ser relacionado com a alta taxa fotossintética. A fotossíntese possibilita que as plantas convertam o CO_2 em compostos orgânicos complexos que são necessários para várias atividades celulares (TAIZ e ZEIGER, 2017). Portanto, a maior absorção de CO_2 pela planta (associada aos maiores valores de condutância estomática) está relacionada com uma alta taxa fotossintética. Dessa forma, como a aroeira-vermelha absorveu uma maior quantidade de CO_2 , ela produziu uma maior quantidade de compostos orgânicos (através do processo de fotossíntese) que irão auxiliar no seu crescimento.

A enzima nitrato redutase (NR) atua na conversão do nitrato, que está disponível no solo e é absorvido pelas raízes das plantas, em nitrito. Essa é uma das reações de redução que ocorrem na planta para que o nitrato possa ser assimilado em compostos orgânicos. Posteriormente, o nitrito será convertido em amônio e, depois, em aminoácidos (TAIZ e ZEIGER, 2017).

Observa-se que a aroeira-vermelha apresentou um dos menores valores de atividade da enzima nitrato redutase, refletindo que essa espécie precisou absorver menores quantidades do nutriente, apontando que ela necessita de uma menor demanda por fontes de N.

Quando relacionamos essa informação com os resultados de uso e eficiência de nitrogênio e com os dados de crescimento, podemos inferir que a aroeira-vermelha é mais eficiente, pois obteve altos valores de uso e eficiência de nitrogênio e de parâmetros morfológicos, ao mesmo tempo que absorveu uma menor quantidade de N. O mesmo ocorre com as mudas da espécie cedro-rosa.

Por outro lado, o ipê-roxo também ficou entre as três maiores espécies nos valores de uso e eficiência de nitrogênio, junto com a aroeira-vermelha e o cedro-rosa, porém obteve altos valores de atividade da enzima nitrato redutase, demonstrando que essa espécie realizou mais reações de redução do nitrato em nitrito do que as demais, e, conseqüentemente, que precisou absorver maiores quantidades do nutriente, apontando que ela necessita de uma maior demanda por fontes de N.

A cabreúva foi a espécie que obteve menores valores de uso e eficiência de nitrogênio, assim como menores taxas de atividade da enzima nitrato redutase e menor desenvolvimento dos parâmetros morfológicos. Isso está relacionado com um menor aproveitamento de energia luminosa, representado pelos altos níveis de

fluorescência inicial da espécie, e conseqüentemente menor geração de energia fotoquímica e menor taxa de transporte de elétrons.

Estudos envolvendo o uso e eficiência de nitrogênio (NUE) em espécies de *Eucalyptus* também constataram que o NUE tem relação com os parâmetros envolvendo a morfologia das raízes e a eficiência fotossintética relacionada à perda e ao aproveitamento de energia luminosa (KULMANN et al., 2022).

7 CONCLUSÃO

A partir da avaliação dos parâmetros morfológicos da parte aérea, mensuração da morfologia radicular, determinação das concentrações de nitrogênio nos tecidos e respectiva eficiência de uso, assim como avaliação das trocas gasosas, é possível concluir que a *Schinus terebinthifolius* (aroeira-vermelha) é a espécie pioneira mais indicada para plantios visando a restauração de áreas degradadas. A aroeira-vermelha necessita de menores doses de adubação ou disponibilidade de nitrogênio no solo para que possa exercer seu desenvolvimento morfológico e processos fisiológicos com sucesso.

Além disso, o presente estudo aponta que a eficiência do uso de nitrogênio se relaciona com os parâmetros morfológicos, como altura, diâmetro do coleto e morfologia das raízes, assim como os fisiológicos, como a atividade da enzima nitrato redutase das plantas.

Outra espécie indicada é a *Cedrela fissilis* (cedro-rosa), que apesar de não obter valores tão altos de crescimento quando comparado a aroeira-vermelha, também apresenta bom desenvolvimento do diâmetro do coleto e das raízes, utilizando menores quantidades de nitrogênio. Porém, por ser uma espécie pertencente à grupos ecológicos de desenvolvimento tardio, seu metabolismo é mais lento quando comparado ao da aroeira-vermelha.

7.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O nitrogênio é um nutriente essencial para as plantas, mas seu uso excessivo pode levar a problemas ambientais, como a lixiviação de nitratos. Portanto, entender a relação entre as doses de fertilizantes nitrogenados e os parâmetros morfológicos, fisiológicos e nutricionais das mudas pode ajudar a otimizar o manejo nutricional, buscando a máxima eficiência de uso do nitrogênio e minimizando os impactos negativos no ambiente. Estudos que investiguem diferentes concentrações de fertilizantes nitrogenados e seus efeitos nas mudas podem fornecer informações valiosas para o desenvolvimento de estratégias sustentáveis de nutrição de plantas e promover a produção de mudas mais saudáveis e produtivas. Portanto, com base no estudo atual sobre o crescimento morfológico, fisiológico e nutricional de mudas, recomenda-se a realização de

estudos abordando o efeito de diferentes doses de fertilizantes nitrogenados no crescimento, metabolismo e nutrição das mudas.

REFERÊNCIAS

- ABBADI, J. e GERENDAS, J. **Phosphorus use efficiency of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) and sunflower (*Helianthus annuus* L.).** 2015. J Plant Nutr 38:1121–1142. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/01904167.2014.983115>>.
- ALMEIDA, C. e VIANI, R. A. G. **Espécies arbóreas plantadas na restauração da Mata Atlântica (versão 2 – agosto 2020).** Laboratório de Silvicultura e Pesquisas Florestais, LASPEFUFSCar. 2020. Disponível em: <<https://laspef.com.br/wp-content/uploads/2020/05/Almeida-e-Viani2020-especies-plantadas-na-restauracao-Mata-Atlantica.pdf>>.
- AMAZONAS, N. T. et al. **High diversity mixed plantations of Eucalyptus and native trees: An interface between production and restoration for the tropics.** Forest Ecology and Management, Amsterdam, v. 417, p. 247–256, 2018.
- BERGHETTI, Á. L. P. et al. **Morphological, physiological and biochemical traits of *Cordia trichotoma* under phosphorous application and a water-retaining polymer.** Journal of Forestry Research, p. 1–26, 29 abr. 2020.
- BERGHETTI, Álvaro Luís Pasquetti et al. **Effects of nitrogen fertilization on the growth and on photochemical efficiency in plants of *Handroanthus heptaphyllus*.** Journal of Plant Nutrition, [S. l.], p. 1–12, 2021. DOI: 10.1080/01904167.2021.1899216. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/01904167.2021.1899216>>.
- BILHALVA, K. B. **Avaliação do potencial antimicrobiano de extratos obtidos com diferentes solventes de aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi) e chinchilho (*Tagetes minuta* Linnaeus).** 2015. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/206753>>.
- BOTTAMEDI, M. et al. **Antioxidant and anti-inflammatory action (in vivo and in vitro) from the trunk barks of Cabreúva (*Myrocarpus frondosus* Allemao, Fabaceae).** Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jep.2020.113545>>.
- BRANCALION, P. H. S. e CHAZDON, R. L. **Beyond hectares: four principles to guide reforestation in the context of tropical forest and landscape restoration.** Restoration Ecology, Washington, v. 25, n. 4, p. 491–496, 2017.

BREMNER, J. M. e MULVANEY, C. S. **Nitrogen Total**. 1982. In: Page, A.L., Miller, R.H., Keeney DR (ed) **Methods of soil Analysis**, Part 2, 2nd edn. American Society of Agronomy, Madison, pp 595–624

BRUNETTO, G. et al. **Contaminação em solos de pomares e vinhedos: Causas, efeitos e estratégias de manejo**. Santa Maria: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Regional Sul, 2022. 424 p.

CALEGARI, L. et al. **CARACTERIZAÇÃO DE POVOAMENTOS DE *Myrocarpus frondosus* M. Allemão NA REGIÃO CENTRAL DO RIO GRANDE DO SUL**. 2009. Disponível em: <http://faef.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/bDMRIR6G1ybmjJM_2013-4-29-10-38-6.pdf>.

CAMPOE, O. C. et al. **Atlantic Forest tree species responses to silvicultural practices in a degraded pasture restoration plantation: From leaf physiology to survival and initial growth**. 2013. Forest Ecology and Management, Volume 313, Pages 233-242, ISSN 0378-1127, <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.11.016>.

CARVALHO, M.G. et al. ***Schinus terebinthifolius* Raddi: composição química, propriedades biológicas, e toxicidade**. 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1516-05722013000100022>>.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies Arbóreas Brasileiras**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2003. 1v. (1.039p.).

CHAZDON, R. L. et al. **A policy-driven knowledge agenda for global forest and landscape restoration**. Conservation Letters, v. 10, n. 1, p. 125–132, 2017.

FONSECA, É. P. et al. **Padrão de qualidade de mudas de *Trema micrantha* (L.) Blume, produzidas sob diferentes períodos de sombreamento**. 2002. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-67622002000400015>>.

GOMES, J. M. G. et al. **PARÂMETROS MORFOLÓGICOS NA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE MUDAS DE *Eucalyptus grandis***. 2002. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rarv/a/cCfXhbwHwJ4LLmFpXZJfH6x/?format=pdf&lang=pt>>.

GOMES, S. H. M. et al. **Avaliação dos parâmetros morfológicos da qualidade de mudas de *Paubrasilia echinata* (pau-brasil) em viveiro florestal**. 2019. Scientia Plena, 15(1). <https://doi.org/10.14808/sci.plena.2019.011701>.

GROCHANKE, B. S. et al. **Compostos fenólicos da casca de *Handroanthus heptaphyllus* (Mart.) Mattos e efeitos do extrato aquoso no perfil lipídico, glicêmico e na lipoperoxidação em ratos diabéticos.** 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1983-084X/15_129>.

HOAGLAND, D. R. e ARNON, D. I. **The water culture method for growing plants without soils.** Berkeley: California Agricultural Experimental Station, 347 p., 1950.

HOLL, K. D. **Old field vegetation succession in the neotropics.** In: CRAMER, V. A., HOBBS, R. J. (Eds.). *Old fields: dynamics and restoration of abandoned farmland.* Island Press, Washington, pp. 93–117, 2007.

KAGEYAMA, P. Y. e CASTRO, C. F. A. **SUCESSÃO SECUNDÁRIA, ESTRUTURA GENÉTICA E PLANTAÇÕES DE ESPÉCIES ARBÓREAS NATIVAS.** 1989. Disponível em: <<https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr41-42/cap11.pdf>>.

KARDIMAN, R. et al. **Restoration of tropical rain forest success improved by selecting species for specific microhabitats.** *Forest Ecology and Management*, Amsterdam, v. 434, p. 235–243, 2019.

KULLMAN, M. S. et al. **Morphological and physiological parameters influence the use efficiency of nitrogen and phosphorus by *Eucalyptus* seedlings.** *New Forests* 53, 431–448 (2022). DOI: <https://doi.org/10.1007/s11056-021-09864-z>.

KULMANN, M. S. S. et al. **Morphological and kinetic parameters of the absorption of nitrogen forms for selection of *Eucalyptus* clones.** 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s11676-020-01195-7>>. Acesso em: 11 abr. 2023.

KULMANN, M. S. S. et al. **Morphological and kinetic parameters of the absorption of nitrogen forms for selection of *Eucalyptus* clones.** 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s11676-020-01195-7>>. Acesso em: 11 abr. 2023.

KULMANN, M. S. S. et al. **Nitrogen supply methods affect the root growth dynamics in *Eucalyptus grandis*.** 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118320>>. Acesso em: 11 abr. 2023.

LÓ, S. M. S. e DUARTE, M. R. **Leaf and stem morpho-anatomy of *Cordia americana* (L.) Gottschling & J.S. Mill., Boraginaceae.** 2011. Latin American Journal of Pharmacy; vol. 30, no. 4.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil.** Nova Odessa: Plantarum, 2008.

MARTINS, S., V. **Recuperação de matas ciliares.** Aprenda fácil, Viçosa, 2007, 255 p.

MENDOZA, Z. M. S. H. et al. (2015). **Propriedades físicas da madeira de cedro - *Cedrela fissilis* Vell.** Multitemas, (48). <https://doi.org/10.20435/multi.v0i48.150>.

PEIXOTO, C. P. et al. **Princípios de fisiologia vegetal.** 2020. Disponível em: <<https://podeditora.com.br/wp-content/uploads/2020/07/Livro-FISIOLOGIA-VEGETAL-site.pdf>>.

PEIXOTO, M. C. et al. **1ª NOTA TÉCNICA DE SEMENTES FLORESTAIS DA REDE MATA ATLÂNTICA DE SEMENTES FLORESTAIS DOS ESTADOS DO RJ-ES-BA: CEDRO ROSA.** 2008. Disponível em: <<http://www.if.ufrj.br/rioesba/notas/cedrela%20fissilis%20vellozo.pdf>>.

PEREIRA, D. P. et al. **POTENCIAL BIOTECNOLÓGICO DA AROEIRA VERMELHA (*Schinus terebinthifolius* Raddi): UMA REVISÃO NARRATIVA.** v. 13 n. 01 (2021): Revista Saúde e Meio Ambiente (Julho a Dezembro de 2021), RESMA - UFMS.

RODRIGUES, M. B. et al. **Enraizamento de miniestacas e parâmetros de validação de clones de ipê-roxo para a propagação vegetativa.** Disponível em: <<https://repositorio.ufsm.br/handle/1/16758>>.

RODRIGUES, W. F. et al. **Espécies arbóreas da Serra dos Tapes: um resgate etnobotânico.** 2007. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/745873/especies-arboreas-da-serra-dos-tapes-um-resgate-etnobotanico>>.

ROSÁRIO, M. O. **EFEITOS DO SUPRIMENTO POTÁSSICO NO CRESCIMENTO DE CLONES DE EUCALIPTO EM DÉFICIT HÍDRICO.** 2020. Disponível em: <https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/13494/2/Mayk_Oliveira_Rosario.pdf>.

SALAMONI, B. et al. **EFEITO DO EXTRATO AQUOSO DE HANDROANTHUS HEPTAPHYLLUS (MART.) MATTOS NA GLICEMIA DE RATOS WISTAR DIABÉTICOS INDUZIDO POR ALOXANO.** (2013). Salão Do Conhecimento, 1(1).

Disponível em: <<https://publicacoeseventos.unijui.edu.br/index.php/salaoconhecimento/article/view/16634>>.

SANTI, I. I. et al. **Chemical Composition, Antioxidant and Antimicrobial Activity of the Oil and Plant Extract *Myrocarpus frondosus* Allemão.** 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.4236/ajps.2017.87108>>.

SARTORI, A. L. B. e TOZZI, A. M. G. A. **Revisão taxonômica de *Myrocarpus Allemão* (Leguminosae, Papilionoideae, Sophoreae).** 2004. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0102-33062004000300012>>.

Siddiqi, M. Y. e Glass, A. D. M. **Utilization index: A modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants.** 1981. Journal of Plant Nutrition, 4:3, 289-302, DOI: <https://doi.org/10.1080/01904168109362919>.

SILVA, K. G. et al. **Índices de eficiência do nitrogênio para avaliação da absorção e da utilização de nitrogênio no sistema radicular e no tanque de bromélias ornamentais.** 2018. Disponível em: <<https://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/view/24924>>.

SILVA, P. O. et al. **Ureia como fonte de nitrogênio na fisiologia e crescimento inicial de *Guazuma ulmifolia* Lam. (Malvaceae).** 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.5902/1980509842643>>. Acesso em: 11 abr. 2023.

SILVA, V. E. D. S. et al. **VERIFICAÇÃO DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO EXTRATO DE *CORDIA AMERICANA*.** 2021. Disponível em: <<http://www.eaic.uem.br/eaic2021/anais/artigos/5341.pdf>>.

TAIZ, L. e ZEIGER, E. et al. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal.** 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

Tedesco, M. J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais.** 1995. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

TURCHETTO, F. et al. **Intensive silvicultural practices drive the forest restoration in southern Brazil**. *Forest Ecology and Management*, 2020.

Zhang, C. et al. **Transcriptomic insight into nitrogen uptake and metabolism of *Populus simonii* in response to drought and low nitrogen stresses**. 2018. *Tree Physiol* 38:1672–1684.