

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS  
AMBIENTAIS**

**JHONAS ANDRÉ FIRMINO CANHETE**

**EFEITO DE DIFERENTES FERTILIZANTES NO CRESCIMENTO DE  
QUATRO ESPÉCIES DE MATA ATLÂNTICA**

**SÃO CARLOS -SP  
2024**

JHONAS ANDRÉ FIRMINO CANHETE

EFEITO DE DIFERENTES FERTILIZANTES NO CRESCIMENTO DE  
QUATRO ESPÉCIES DE MATA ATLÂNTICA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais<sup>1</sup>.

Orientadora: Profa. Dra. Raquel Stucchi Boschi

São Carlos-SP  
2024

---

<sup>1</sup> Apoio: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001

Canhete, Jhonas André Firmino

Efeito de diferentes fertilizantes no crescimento de quatro espécies de Mata Atlântica / Jhonas André Firmino Canhete -- 2024.  
39f.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, campus São Carlos, São Carlos  
Orientador (a): Raquel Stucchi Boschi  
Banca Examinadora: Lucas Dias Sanglade, Renata Cristina Bovi  
Bibliografia

1. Restauração ecológica. 2. Crescimento de arbóreas. 3. Microrganismos eficientes. I. Canhete, Jhonas André Firmino. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática (SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Arildo Martins - CRB/8 7180



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**

Centro de Ciências Biológicas e da Saúde  
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais

---

**Folha de Aprovação**

---

Defesa de Dissertação de Mestrado do candidato Jhonas André Firmino Canhete, realizada em 08/08/2024.

**Comissão Julgadora:**

Profª. Dra. Raquel Stucchi Boschi (UFSCar)

Prof. Dr. Lucas Dias Sanglade (UFSCar)

Profª. Dra. Renata Cristina Bovi (UNESP)

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho à Deus! Ao Sol, a Lua e as Estrelas, que são meu firmamento aqui na Terra. Ao Império Juramidam. À minha mãe Aparecida Regina Firmino Canhete e ao meu pai Mario André Canhete.

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de São Carlos e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PPGCAM) pela possibilidade de realização desse trabalho e pela estrutura e qualidade oferecidas pela instituição.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Agradeço à minha orientadora Profa. Dra. Raquel Stucchi Boschi por todo aprendizado, incentivo, conselhos, por me abrir as portas e principalmente por acreditar e confiar em mim. Com certeza levarei tudo que aprendi para a vida toda.

À Profa. Dra. Andréa Lúcia Teixeira de Souza, por todo apoio, aprendizado, por me direcionar durante o trabalho, pelos conselhos, por acreditar em mim e por me acolher como se fosse seu aluno.

À todas as pessoas que de alguma forma colaboraram para que este trabalho fosse realizado, em especial à Camila Morais e à Gabriela Strozzi.

À Profa. Dra. Letícia Caravita Abbade, à Profa. Dra. Renata Cristina Bovi e à Profa. Dra. Natália M. Ivanauskas pela participação da banca de qualificação do trabalho escrito, pelas correções e contribuições que serviram para enriquecer o trabalho.

À Profa. Dra. Renata Cristina Bovi e ao Dr. Lucas Dias Sanglade por terem aceitado o convite para participar da banca de defesa da dissertação.

A todos meus amigos que estiveram ao meu lado nesse tempo, que me apoiaram e puderam trazer mais leveza nesse processo. Vocês fizeram toda diferença.

E por fim, um agradecimento especial à minha mãe Aparecida Regina F. Canhete e ao pai Mario André Canhete por serem minha base de sustentação, por todo apoio e pela paciência. Agradeço à Deus por ter me dado força e firmeza para chegar até aqui e fé e esperança para continuar seguindo em frente.

## RESUMO

CANHETE, J. A. F. - Efeito de diferentes fertilizantes no crescimento de quatro espécies de Mata Atlântica. 2024 – 38p: Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de São Carlos, Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais – 2024.

A fragmentação dos ecossistemas naturais, resultante das atividades humanas, tem levado à degradação ambiental, perda de biodiversidade e funções ecossistêmicas. O desmatamento impacta o solo física, química e biologicamente, pois reduz o aporte de matéria orgânica proveniente da serapilheira, que é fundamental para a nutrição do solo. Essa redução de nutrientes pode afetar significativamente o desenvolvimento de plantas, especialmente nos estágios iniciais. O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito de diferentes tipos de fertilizantes no crescimento inicial de quatro espécies arbóreas de Floresta Estacional Semidecidual (FES). Para isso, foi conduzido um experimento em viveiro com delineamento inteiramente casualizado composto de cinco tratamentos de diferentes tipos de fertilizante, sendo: 1) controle (CNT) - sem adição de qualquer nutriente; 2) composto orgânico (COMP) – adição de composto feito de resíduos da indústria alimentícia; 3) NPK – adição de adubo químico composto por nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), na proporção 4-14-8; 4) N-Verde (NV) – adição de composto feito com partes aéreas de *Gliricidia sepium* maceradas; 5) NVME – adição de NV com uma mistura de microrganismos eficientes (ME). As espécies avaliadas foram: *Tapirira guianensis* Aubl. (peito-de-pombo); *Gallesia integrifolia* (Spreng.) Harms. (pau-d’alho); *Cariniana legalis* (Mart.) Kuntze (jequitibá-rosa); e *Casearia sylvestris* Sw. (guaçatonga). Cada tratamento recebeu a mesma quantidade inicial de nitrogênio (N) no solo. A partir do modelo não linear de Gompertz, os maiores valores de assíntotas das curvas de crescimento, que representa o tamanho final das plantas, foram observados nos tratamentos NPK, NVME e NV. As formas das curvas de crescimento e a quantidade de clorofila nas folhas ao longo do tempo sugerem que, de maneira geral, a adição de NPK resultou em altas quantidades de nitrogênio no solo, limitadas à fase inicial de crescimento das plantas, a aproximadamente 68 dias do início do experimento. Na adição de NV e NVME, o nitrogênio permaneceu disponível por mais tempo, resultando num crescimento mais prolongado. A adição de nitrogênio via composto (COMP) resultou em menores taxas de crescimento, não diferindo do controle. A maior quantidade de N total no solo após o encerramento do experimento foi observado em NVME, sugerindo que em campo este tratamento pode resultar em taxas de crescimento altas por mais tempo. Além disso, a maior atividade da enzima arilsulfatase foi observada em NVME e COMP, indicando maior atividade biológica no solo desses tratamentos, respectivamente. Já a enzima  $\beta$ -glicosidase não diferiu significativamente entre os tratamentos. Estudos conduzidos em campo são necessários para comprovar a eficácia da aplicação e uso do N-verde e da adição de ME em espécies arbóreas nativas na promoção de maiores taxas de sobrevivência e crescimento, com grande potencial de uso e implementação em ações de restauração florestal.

**Palavras-chave:** restauração ecológica; crescimento de arbóreas; Gompertz; microrganismos eficientes

## ABSTRACT

CANHETE, J. A. F. - Effect of different fertilizers on the growth of four Atlantic Forest species. 2024 – 38p: Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de São Carlos, Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais – 2024.

The fragmentation of natural ecosystems due to human activities has led to environmental degradation, loss of biodiversity, and ecosystem functions. Deforestation impacts the soil physically, chemically, and biologically by reducing the input of organic matter from leaf litter, which is essential for soil nutrition. This reduction in nutrients can significantly affect plant development, especially in the early stages. The objective of this study was to evaluate the effect of fertilization with different sources of nitrogen on the initial growth of four tree species from semi-deciduous seasonal forest (SSF). To this end, a nursery experiment was conducted, with a completely randomized design composed of five treatments of different types of nitrogen addition to the soil: 1) control (CNT) – no nutrient addition; 2) organic compost (COMP) – addition of compost made from food industry waste; 3) NPK – addition of chemical fertilizer composed of nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K), in the proportion 4-14-8; 4) Green Manure (NV) – addition of compost made with macerated aerial parts of *Gliricidia sepium*; 5) NVME – addition of NV with a mixture of Efficient Microorganisms (EM). The species evaluated were: *Tapirira guianensis* Aubl; *Gallesia integrifolia* (Spreng.) Harms.; *Cariniana legalis* (Mart.) Kuntze; *Casearia sylvestris* Sw.. Each treatment received the same initial amount of nitrogen (N) in the soil. Based on the Gompertz non-linear model, the highest asymptote values of the growth curves, which represents the final size of the plants, were observed in the NPK, NVME, and NV treatments. The shapes of the growth curves and the chlorophyll content in the leaves over time suggest that, in general, the addition of NPK resulted in high amounts of nitrogen in the soil, but only at the beginning of the growth period, approximately 68 days from the start of the experiment. On the other hand, when adding NV and NVME, nitrogen remained available for longer period, resulting in prolonged growth over time. The addition of nitrogen via compost (COMP) resulted in lower growth rates, not differing from the control. The highest amount of total N in the soil after the end of the experiment was observed in NVME, suggesting that in the field, this treatment may result in high growth rates for a longer period. Additionally, the highest activity of the arylsulfatase enzyme was observed in NVME and COMP, indicating higher biological activity in the soil of these treatments, respectively. The  $\beta$ -glucosidase enzyme did not differ significantly between treatments. However, field studies are necessary to prove the effectiveness, regarding the initial growth rates of Green Manure and the addition of EM in native tree species, which could result in higher survival and growth rates of native tree species in forest restoration actions.

**Keywords:** ecological restoration; tree growth; Gompertz; efficient microorganisms



## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	10
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	12
2.1. Área de estudo .....	12
2.2. Delineamento experimental .....	13
2.3. Coleta de dados .....	17
2.4. Coleta de solo.....	18
2.5. Quantificação de clorofila.....	19
2.6. Análises estatísticas .....	19
3. RESULTADOS .....	20
4. DISCUSSÃO.....	28
5. CONCLUSÃO.....	33
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	34

## 1. INTRODUÇÃO

A degradação ambiental causada pelo desmatamento de ecossistemas florestais leva a perda e à fragmentação de florestas naturais, a invasão de espécies exóticas agressivas (OPA, 2010) e a diminuição da diversidade biológica, resultando na degradação do solo e perda de funções e serviços ecossistêmicos (SWEENEY et al., 2004; KOMINOSKI et al., 2013; PALMER et al., 2014).

Diante deste cenário, muitas ações e estudos na área de restauração ecológica têm surgido na tentativa de minimizar os danos aos ecossistemas degradados, no sentido de recuperar funções e serviços ecossistêmicos (ENGEL e PARROTA 2003). Assim, as ações de restauração ecológica visam reintroduzir comunidades de plantas restabelecendo a dinâmica e integridade biológica dos ecossistemas para diminuição dos fatores degradantes. Nos ecossistemas florestais, a incorporação de nutrientes ocorre através da deposição e decomposição de matéria orgânica no solo (MOS) advinda da serrapilheira. A MOS é fonte de liberação de macronutrientes, como o nitrogênio, fósforo, potássio e outros, sendo também responsável por aumentar a estabilidade de agregados e a capacidade de infiltração e retenção de água (AMORIM e BATALHA, 2006; LONGO, 2011; KONONOVA, 2013; PAUL, 2014). Portanto, a degradação de ecossistemas florestais causa impactos de ordem física, química e biológica no solo.

Com o aumento de estudos na área de restauração ecológica nas últimas décadas, onde restauração ecológica pode ser entendida como o processo de acelerar a recuperação de um ecossistema que foi degradado (VAUGHN et al., 2010; GUERRA et al., 2020), se faz necessário ampliar os conhecimentos avaliando como os indivíduos de espécies arbóreas nativas reintroduzidas respondem às condições do solo e como o manejo prévio do solo poderia resultar em maiores taxas de sobrevivência e de crescimento dessas plantas. Este conhecimento pode contribuir para a compreensão da melhor forma de fertilização do solo, na busca de uma maior sobrevivência e crescimento das espécies arbóreas nativas.

Além da disponibilidade de água e luz, o crescimento de plantas está associado com a capacidade de captação e conservação dos recursos advindos da MOS (PADILLA et al., 2007; POORTER et al., 2012; LOIOLA et al., 2015). Como o crescimento inicial das plantas reflete seu vigor (BARALOTO et al., 2005; REES et al., 2010), a adição de nutrientes em solos degradados pode beneficiar seu desenvolvimento em situações de deficiência. O tipo de fertilização (fonte e quantidade) deve influenciar fortemente o desenvolvimento inicial das plantas, pois nem todo substrato é capaz de fornecer os

nutrientes necessários, o que depende das necessidades das espécies e da eficiência de cada tipo de fertilização (OLIET et al., 1999; GONÇALVES et al., 2008). Uma nutrição adequada para as plantas pode resultar em maiores taxas de crescimento, aumentando as chances de sobrevivência em campo e favorecendo a resistência tanto a condições adversas abióticas, como vento e estresse hídrico, quanto bióticas, como herbivoria e competição com espécies exóticas (CARNEIRO, 1995; GONÇALVES et al., 2000; SWEENEY et al., 2002; DECHEN e NACHTIGALL, 2007; GARCÍA-ORTH e MARTINÉZ-RAMOS, 2011).

O vigor das plantas pode ser avaliado através da sua altura e diâmetro do colo (GOMES e PAIVA, 2008; HAASE, 2008), sendo que o diâmetro do colo tem sido reconhecido como um dos melhores parâmetros para indicar a qualidade de mudas de espécies florestais, já que está associado a um desenvolvimento mais acentuado da parte aérea (STURION e ANTUNES, 2000). No entanto, o índice de volume do tronco (IVT) é uma combinação da altura da planta e do diâmetro na altura do colo e tem sido usado para expressar a biomassa de partes aéreas de plantas por ser mais correlacionado com a biomassa do que a altura ou diâmetro separadamente (KOHYAMA, 1991; BALTZER & THOMAS, 2007).

Estudos sobre exigências nutricionais para espécies arbóreas nativas ainda são escassos na literatura (SORREANO et al., 2008; CARNEIRO, 1995). Dentre os macronutrientes, o nitrogênio (N), é considerado um elemento importante na manutenção da vida, atuando na composição de proteínas, ácidos nucleicos (DNA e RNA) e na síntese de clorofila, onde está envolvido com o processo de fotossíntese, além de desempenhar uma relação direta com o crescimento vegetal (DECHEN e NACHTIGALL, 2007; MILLARD e GRELET, 2010; DIAS, 2016).

Nos solos, o nitrogênio aparece na forma orgânica e inorgânica. Na forma orgânica é encontrada em grandes quantidades na fração proteica da matéria orgânica, sendo passível de mineralização. O teor de N mineralizado no solo é pequeno e depende do tipo de solo, temperatura, pluviosidade e quantidade de matéria orgânica no solo. Na forma inorgânica, o N está disponível em sua maioria na forma de nitrato ( $\text{NO}_3$ ), mas também pode assumir diversas formas, como amônio ( $\text{NH}_4$ ), nitrito ( $\text{NO}_2$ ) e óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), sendo a maior parte do N na forma  $\text{NH}_4$  ou  $\text{NO}_3$  (DECHEN e NACHTIGALL, 2007).

Estudos sobre o uso de microrganismos eficientes (ME) na produção agrícola vêm mostrando efeitos positivos nas culturas e no solo, resultando em: (i) aumento de

biomassa e produtividade (SILVA et al., 2020; SOUZA et al., 2020); (ii) resistência das plantas contra o ataque de patógenos (PUGAS et al., 2013); e (iii) na decomposição da matéria orgânica do solo, proporcionando maior disponibilidade de nutrientes e maior taxa de fixação de nitrogênio, potencializando a ciclagem de nutrientes e a recuperação de processos naturais do ecossistemas (VICENTINI et al., 2009; PUGAS et al., 2013; DOURADO, 2018; MARES GUIA, 2018; CARGNELUTTI et al., 2021). Os ME são basicamente uma mistura de microrganismos que estão presentes naturalmente em ecossistemas naturais não degradados, que podem ser aplicados nas culturas para aumentar a diversidade microbiana no solo (HIGA e PARR, 1994; MARES GUIA, 2018; GOMES et al., 2021). Dentre os microrganismos estão bactérias fotossintetizantes, decompositoras, leveduras e actinomicetos (BONFIM, 2011). No entanto, não foram encontrados estudos sobre o desenvolvimento de espécies arbóreas nativas com adição de ME.

Este estudo teve como objetivo avaliar o efeito da fertilização com diferentes fontes de nitrogênio no desenvolvimento inicial de quatro espécies arbóreas nativas de Floresta Estacional Semidecidual. Especificamente, o desenvolvimento foi avaliado pelo crescimento da parte aérea das plantas, através da sua altura e diâmetro e pelo teor de clorofila em suas folhas. Além disto, este estudo avaliou atributos químicos do solo oito meses após a fertilização para avaliar a disponibilidade. Para isso foi montado um experimento com delineamento inteiramente casualizado com quatro espécies nativas de Floresta Estacional Semidecidual em quatro tratamentos com diferentes fontes de nitrogênio, NPK, N-verde, composto e N-verde + ME. Réplicas controle, sem a adição de nitrogênio também foram monitoradas. Com a hipótese de que as plantas com a inoculação de ME apresentariam maior crescimento inicial e maior quantidade de clorofila nas folhas.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1. Área de estudo**

O experimento foi conduzido no viveiro de mudas do Departamento de Ciências Ambientais (DCAm) no *campus* sede da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), São Carlos – SP, tendo o ponto central do viveiro localizado nas coordenadas 21,981365°S e 47,875704°W. A região possui clima úmido subtropical (TOLENTINO, 1967), com verões úmidos e invernos secos, sendo pluviosidade média anual de 1468 mm e altitude média de 865 metros (SOARES et al., 2003). O experimento de cultivo de

mudas foi conduzido na área externa do viveiro, ficando totalmente exposto às condições climáticas naturais.

## **2.2. Delineamento experimental**

Quatro espécies arbóreas nativas da Floresta Estacional Semidecidual (FES) foram cultivadas sob fertilização do solo com diferentes fontes de nitrogênio. Das quatro espécies arbóreas selecionadas duas eram espécies de crescimento rápido e duas espécies de crescimento lento.

A montagem do experimento foi dividida em duas etapas. Na primeira, foi realizada o preparo dos recipientes de cultivo, onde foram adicionados solo de aterro e os diferentes tipos e proporções de fertilizantes que compuseram os cinco tratamentos. O solo utilizado no experimento é classificado como Latossolo Vermelho retirado de encostas e comercializado. Este foi peneirado em malha de 4 cm, para que não houvesse a presença de qualquer material indesejado e grandes fragmentos de rocha. Os sacos de polietileno pretos tinham 15 cm de diâmetro e 30 cm de altura com capacidade de cinco litros. Em cada saco foi adicionado 10 cm de solo na sua base e o restante foi preenchido com solo misturado homogeneamente com um dos cinco tratamentos de adição de fertilizantes. Todos os tratamentos foram desenhados para que fosse inserido 4% de nitrogênio no solo. Para isso, foi calculado a quantidade de nitrogênio que havia nos diferentes tipos de fertilizantes para estimar a quantidade de cada um a ser adicionada no solo. Os tratamentos foram: 1) controle (CNT); 2) adição de 125g de adubo químico composto por nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) na proporção 4-14-8 (NPK); 3) adição de 500g de composto orgânico (COMP); 4) adição de 125g de N-verde (NV); 5) 125g de N-verde mais 50 ml de solução preparada de Microrganismo Eficiente (Embiotic) da marca Korin (NVME). Neste último tratamento, a solução de 50 ml foi adicionada após o plantio e sua aplicação foi realizada a cada 15 dias, seguindo as indicações do fabricante. A adição da solução teve seu início na segunda quinzena de dezembro de 2022 e foi até maio de 2023, totalizando 10 aplicações. No início do experimento as plantas eram irrigadas quatro vezes ao dia e ao final ela recebiam irrigação duas vezes.



Figura 1: Experimento montado do lado de fora da casa de vegetação. Cada bloco é um tipo de tratamento diferente. Em cada bloco continha 8 indivíduos de cada espécie.

O composto orgânico utilizado, fabricado pela Genfértil, apresenta em sua composição cama de equinos, resíduos de indústria alimentícia e de bebidas, resíduos de agroindústrias, serragem de madeira entre outros resíduos orgânicos. Estes resíduos são compostos que sofreram ações de bactérias fotossintetizantes, lactobacilos, actinomicetos e microrganismos fixadores de nitrogênio, contendo aproximadamente 1% de nitrogênio total e altas quantidades de matéria orgânica. Escolhemos este composto por ser comercializado e, portanto, de fácil acesso para produtores rurais.

O N-Verde, produzido a partir da biomassa aérea de *Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp., planta altamente fixadora de nitrogênio, possui excelentes resultados em cultivos de hortaliças, lavouras de milho e feijão (EMBRAPA, 2018). O processo de fabricação do N-verde envolve a transformação da biomassa da planta em grânulos, o que a torna um adubo de liberação lenta, diminuindo possíveis perdas de nitrogênio por lixiviação. Além disso, o N-verde apresenta outros nutrientes como fósforo, potássio, enxofre, cálcio, magnésio e micronutrientes (EMBRAPA, 2018). Ao contrário do composto orgânico da Genfértil, este fertilizante contém altas concentrações de nitrogênio (aproximadamente 4%) e menores quantidades de matéria orgânica.

O Embiotic é um produto acelerador do processo de compostagem, que promove o aumento exponencial da atividade microbiana e favorece uma rápida biodisponibilidade de matéria orgânica e nutrientes no solo, além de reduzir a perda de nitrogênio. Este produto é composto pelas bactérias *Lactobacilos plantarum*  $10^4$  UFC/ml (unidade formadora de colônia) e *Saccharomyces cerevisiae*  $10^3$  UFC/ml, além de melão de açúcar e água. Para ativação de cada litro do produto, o fabricante recomenda o uso 9 L de água não clorada e 1 Kg de açúcar cristal (ou 1 L de melão ou 150g do ativador Hibana) para a ativação de 10 L de produto final. De acordo com o indicado, foram calculadas as proporções necessárias para a ativação de 2,5L de produto final. Para isso, utilizamos 225ml de Embiotic, 2 L de água não clorada e 225 g de açúcar cristal. A ativação dos microrganismos foi realizada sempre 6 dias antes da aplicação do produto.



Figura 2: Ativação dos microrganismos eficientes (ME). Água mineral (2 L), açúcar cristal (225 g) e Embiotic (225 ml).

A segunda etapa da montagem do experimento ocorreu após uma semana do preparo do solo, na qual foi realizado o plantio das mudas. Quarenta indivíduos de cada espécie foram plantados nos sacos com os diferentes tipos de adubação, compondo oito réplicas para cada combinação de tratamento, totalizando 160 mudas plantadas. As mudas foram adquiridas de um viveiro comercial, sendo as espécies descritas a seguir:

- *Tapirira guianensis* Aubl. – Nome popular: peito-de-pombo (PP); árvore perenifólia, podendo atingir até 30 m de altura e 80 cm de diâmetro a altura do peito (DAP). Sua distribuição ocorre em todo território nacional, com exceção do estado do Rio Grande do Sul. Ocorre nos seguintes domínios fitogeográficos: Mata Atlântica, Floresta Amazônica, Cerrado, Pantanal e Caatinga. Encontrada em tipos de vegetações de Floresta Estacional Semidecidual, Floresta Ombrófila Densa, Cerrado latu sensu. Ocorre naturalmente em solos predominantemente arenosos marinhos, adaptando-se a solo de extrema acidez e de baixa fertilidade química. Sua madeira é moderadamente densa (0,51 a 0,66 g.cm<sup>3</sup>) (CARVALHO, 2006; SILVA-LUZ et al., 2024);
- *Gallesia integrifolia* (Spreng.) Harms. – Nome popular: pau-d’alho (PDA); árvore perenifólia, alcançando até 35 m de altura e 40 a 80 cm de DAP. Endêmica do Brasil, pode ser encontrada nos estados do Amazonas, Acre, Bahia, Ceará, Paraíba, Pernambuco, Mato Grosso, Minas Gerais, Rio de Janeiro, São Paulo e Paraná. Tem ocorrência nos domínios fitogeográficos da Mata Atlântica, Floresta Amazônica, Cerrado e Caatinga. *Gallesia integrifolia* é uma espécie característica da Floresta Estacional Semidecidual e na Floresta Ombrófila Densa. Tem uma preferência por solos de boa fertilidade e com propriedade físicas adequadas como boa drenagem e profundos (CARVALHO, 2003; MARCHIORETTO, 2024);
- *Cariniana legalis* (Mart.) Kuntze – Nome popular: jequitibá-rosa (JR); árvore de dossel ou emergente, semicaducifolia, podendo atingir uma altura de 50 m e 60 a 100 cm de DAP. Algumas podem chegar a 60 m de altura e 400 cm de DAP. Sua distribuição geográfica ocorre nos estados da Bahia, Paraíba, Pernambuco, Espírito Santo, Minas Gerais, Rio de Janeiro, São Paulo e Paraná. Tem ocorrência no domínio fitogeográfico da Mata Atlântica. É uma árvore essencialmente de florestas, ocorrendo em encostas úmidas, como na Floresta Ombrófila Densa. A madeira do jequitibá é moderadamente densa (0,50 a 0,65 g.cm<sup>3</sup>) a 15% de umidade (CARVALHO, 2003; CATENACCI et al., 2024); e
- *Casearia sylvestris* Sw. – Nome popular: guaçatonga (GU), árvore perenifólia, podendo atingir até 20 m de altura e 40 cm de DAP. Pode ser encontrada em todos os estados brasileiros. Tem ocorrência nos domínios fitogeográficos Floresta Amazônica, Mata Atlântica, Cerrado, Caatinga, Pampa e Pantanal. Pode ser encontrada em tipos de vegetação de Floresta Estacional Decidual e



Semidecidual, Floresta Ombrófila Densa, Cerrado (*lato sensu*), Florestas Ombrófilas Mistas, Floresta Estacional Decídua, entre outras. *C. sylvestris* ocorre em diversos tipos de solo, fertilidade química baixa a alta, solos úmidos, arenosos e argiloso (CARVALHO, 2003; MARQUETE e MEDEIROS, 2024).

### 2.3. Coleta de dados

O monitoramento do experimento foi realizado ao longo de nove meses, tendo seu início em dezembro de 2022. As variáveis medidas foram: (1) altura; (2) diâmetro da base; (3) sobrevivência; (4) quantidade de clorofila nas folhas.

As medidas das plantas aconteceram em intervalos quinzenais, sendo a altura obtida com a auxílio de trena que era apoiada na base da planta e sua medida tirada na gema apical. O diâmetro da base foi feito com o auxílio do paquímetro de precisão apoiado a cerca de 1cm do solo, no colo da planta.



Figura 3: A) Medida do diâmetro do colo de uma *Tapirira guianensis*, a cerca de um centímetro do solo, com paquímetro digital; B) Medida da altura, da base até a gema apical em *Tapirira guianensis*, com auxílio de uma trena.

Para estimar o tamanho da planta, foi utilizado o índice de volume de tronco (IVT), pela Equação 1:

$$IVT = d^2 \times h \quad [\text{Eq. 1}]$$

onde,  $d$  é o diâmetro do tronco na altura do colo (cm) e  $h$  é a altura da planta.

A variação do tamanho das plantas ao longo do tempo foi estipulada pelo ajuste de modelo de regressão não linear Gompertz (PAINE et al., 2012) (Equação 2):

$$IVT = A \exp(-\exp(-k_G(t - x_c)))$$

onde  $IVT$  é o tamanho da parte aérea da planta em função do tempo ( $t$ );  $A$  é a assíntota da curva que representa o tamanho final da planta;  $k_G$  é o coeficiente da taxa de crescimento no ponto de inflexão da curva e  $x_c$  é o tempo em que a taxa de crescimento da planta é máxima (TJØRVE e TJØRVE, 2017). Modelos de regressão não lineares assintóticos são indicados para a previsão de crescimento de plantas, uma vez que as taxas de crescimento diminuem com o aumento do tamanho da planta (PAINE et al., 2012).

## 2.4. Coleta de solo

Durante o experimento foram realizadas duas coletas de solo. Na primeira, foram coletadas três amostras de 200 g solo de cada tratamento. As amostras foram coletadas de sacos controles de cinco litros que não receberam nenhuma planta. As amostras foram enviadas para o Laboratório de Solos da ESALQ – USP para análise química para avaliar a fertilidade do solo através das variáveis: matéria orgânica (MO), nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), capacidade de troca catiônica (CTC) e saturação por bases (V%) (RAIJ et al., 2001). Para quantificação de nitrogênio total do solo (N total) foi utilizado o método de Kjeldahl (MANUAL, 2017).

A segunda coleta foi realizada em uma região próxima à rizosfera de *C. sylvestris* por ser uma região do solo próxima às raízes onde se encontra alta concentração de nutrientes e microrganismos. A espécie *C. sylvestres* foi a única escolhida por causa do valor para a realização para cada amostra. Foram coletadas três amostras na região próxima à rizosfera de *C. sylvestris* para cada tratamento, totalizando 15 amostras. Cada amostra continha 200 g de solo que foram enviadas para laboratório, onde foi realizada análise biológica do solo para quantificação das enzimas beta-glicosidase e arilsulfatase (TABATABAI, 1994), relacionadas ao ciclo do carbono e do enxofre, respectivamente como medida das atividades biológicas no solo e de sua fertilidade (MENDES et al., 2020).

## 2.5. Quantificação de clorofila

Durante o experimento foram realizadas três medições para avaliação dos índices de nitrogênio em cada indivíduo com o auxílio do medidor portátil SPAD-502Plus, que indica a quantidade de clorofila presente nas folhas. O SPAD-502Plus é um indicativo da quantidade de clorofila presente nas folhas a partir da absorção de comprimentos de ondas pela folha, considerado como uma métrica do estado nutricional de plantas (MINOLTA, 1989). As quantificações foram realizadas em três datas diferentes ao longo do experimento, sendo a primeira aos 68 dias de experimento (SPAD1), a segunda aos 180 dias (SPAD2) e a terceira aos 279 dias (SPAD3). Para fazer a medição dos índices de clorofila, foram selecionadas três folhas localizadas no terço médio de cada planta, as quais foram medidas e a partir dos dados obtidos foi tirado uma média dos índices de clorofila encontrado para cada indivíduo.



Figura 4: Medição da quantidade de clorofila presente nas folhas de *Tapirira guianensis* com o SPAD-502Plus.

## 2.6. Análises estatísticas

As estimativas dos parâmetros de ajuste do modelo Gompertz foram comparadas entre os tratamentos de fertilização através da sobreposição ou não dos seus intervalos de confiança (LEGENDRE e LEGENDRE, 2012). A análise de variância (ANOVA) simples foi conduzida para avaliar o efeito dos tratamentos de fertilização na quantidade de

clorofila estimada a partir do uso do SPAD nas três avaliações realizadas ao longo do experimento e na quantidade de nitrogênio no solo ao final do experimento. As análises foram seguidas pelo teste de Tukey para comparações múltiplas entre os tratamentos. Os dados foram previamente checados quanto a normalidade com o teste de Shapiro-Wilk e as homogeneidades das variâncias foram checadas com o teste de Levene (LEGENDRE e LEGENDRE, 2012). As análises foram conduzidas no SYSTAT 13.0 (SYSTAT, 2012).

Utilizamos a análise de componentes principais (ACP) para avaliação dos atributos químicos do solo nos diferentes tratamentos, sendo eles, o nitrogênio (N), o fósforo (P), potássio (K), matéria orgânica (MO), a capacidade de troca catiônica (CTC) e a saturação por bases (V%). A ACP é uma análise utilizada para reduzir a dimensão dos dados, facilitando a sua compreensão (HERLIHY e MCCARTHY, 2006). A análise foi conduzida no programa OriginPro 18 (MAY e STEVENSON, 2009).

Para a análise dos dados biológicos do solo, primeiramente foi testado a normalidade dos dados com o teste de Shapiro-Wilk e a homogeneidade com o teste de Levene. As comparações foram feitas pelo teste de Tukey. As análises foram conduzidas no SYSTAT 13 (SYSTAT, 2012).

### 3. RESULTADOS

O crescimento das mudas diferiu entre os tratamentos com diferentes fontes de nitrogênio para fertilização e entre as quatro espécies avaliadas. As maiores taxas de crescimento foram observadas nos tratamentos NPK, NV e NVME, respectivamente, cujas plantas alcançaram maiores valores de IVT ao final do experimento, apesar da quantidade de nitrogênio adicionada ter sido igual em todos os tratamentos. O modelo de Gompertz ajustou bem aos dados observados para todas as espécies nos diferentes tratamentos (Tabela 1; Figura 5), com  $R^2 > 0,80$ , com exceção de *T. guianensis* no tratamento COMP ( $R^2 = 0,72$ ) e *C. sylvestris* no tratamento CNT ( $R^2 = 0,48$ ) (Tabela 1). Não houve morte de plantas ao longo do experimento.

A idade estimada em que as plantas apresentaram suas taxas máximas de crescimento (parâmetro  $x_c$ ) diferiu entre os tratamentos, mas os padrões encontrados entre os tratamentos foram semelhantes para as quatro espécies (Tabela 1). Nas quatro espécies, os valores dos parâmetros  $x_c$  foram ligeiramente negativos nos tratamentos CNT e COMP ou apenas em CNT para *C. legalis*. Isto sugere que nesses tratamentos as plantas apresentaram maior crescimento enquanto ainda estavam no viveiro, em relação ao crescimento observado após o transplântio e início dos tratamentos. Nos demais

tratamentos a idade em que essas plantas cresceram mais rápido variou entre 20 a 74 dias após o transplante (Tabela 1, Figura 5). Em duas espécies, *C. legalis* e *T. guianensis*, as plantas demoraram mais tempo para atingir suas maiores taxas de crescimento, com 74 e 66 dias, respectivamente, sendo maior no NVME em relação aos demais tratamentos, enquanto para espécie *G. integrifolia* as plantas demoraram aproximadamente 10 dias no tratamento NVME (Tabela 1, Figura 5).

*Tapirira guianensis* apresentou os maiores valores de crescimento absoluto na idade de maior crescimento ( $AGR_{max}$ ) com os tratamentos NPK e NV do que os tratamentos NVME e COMP. O tratamento NPK induziu os maiores valores de  $AGR_{max}$  em *G. integrifolia* e *C. sylvestris*, os valores de  $AGR_{max}$  nos tratamentos NV e NVME, foram intermediários (Tabela 1, Figura 5). *Cariana legalis* apresentou maior crescimento absoluto com o tratamento NV.

Os valores das assíntotas (parâmetro A) mostraram que a adição de NPK, NV e NVME resultaram em plantas maiores ao final do experimento quando comparados ao CNT e COMP em todas as espécies, com exceção de *T. guianensis* que também teve um bom crescimento em CNT e COMP (Tabela 1, Figura 5). No entanto, a adição do composto (COMP) resultou em plantas maiores quando comparado com o controle (CNT) (Tabela 1, Figura 5).

Tabela 1: Parâmetros da Curva de Gompertz ajustada ao crescimento de quatro espécies cultivadas em diferentes tratamentos: CNT = controle; COMP = adição de composto orgânico; NPK = adição de nitrogênio, potássio e fósforo (04 – 14 – 08); NV = adição de nitrogênio verde; NVME = adição de nitrogênio verde + adição de microrganismos eficientes. Valores entre parênteses representam o erro padrão.

Espécies	Parâmetros da Curva de Gompertz									
	A		$x_c$		$k_G$		P	$R^2$	$AGR_{max}$	
<i>Tapirira guianensis</i>										
CNT	108,3	-3,63	-0,59	-5,29	0,026	-0,005	< 0,001	0,82	1,049	
COMP	93,7	-9,05	-13,5	-15,38	0,013	-0,005	< 0,001	0,72	0,457	
NV	189,4	-8,27	23	-4,86	0,02	-0,003	< 0,001	0,93	1,412	
NVME	151,7	-12,58	66,1	-9,66	0,011	-0,001	< 0,001	0,95	0,618	
NPK	199,5	-11,64	24	-6,46	0,019	-0,004	< 0,001	0,89	1,404	
<i>Gallesia integrifolia</i>										
CNT	55,7	-1,71	-27,8	-11,57	0,022	-0,006	< 0,001	0,81	0,461	
COMP	71	-4,38	-21,4	-11,19	0,012	-0,003	< 0,001	0,85	0,334	
NV	134,9	-4,185	34,2	-3,33	0,013	-0,001	< 0,001	0,98	0,676	

NVME	111,2	-4,02	9,6	-4,41	0,016	-0,002	< 0,001	0,95	0,67
NPK	183,5	-5,02	33,7	-2,9	0,023	-0,002	< 0,001	0,97	1,59
<i>Cariniana legalis</i>									
CNT	16,9	-0,37	-18,6	-6,76	0,027	-0,005	< 0,001	0,89	0,168
COMP	40,3	-3,21	54	-8,61	0,013	-0,002	< 0,001	0,93	0,198
NV	103,8	-3,08	58,3	-2,9	0,021	-0,002	< 0,001	0,98	0,839
NVME	119,3	-4,68	73,9	-4,15	0,013	-0,001	< 0,001	0,98	0,607
NPK	91,6	-3,55	49,1	-3,97	0,019	-0,002	< 0,001	0,97	0,647
<i>Casearia sylvestris</i>									
CNT	15,5	-0,52	-53,3	-36,15	0,024	-0,014	< 0,001	0,48	0,139
COMP	23,7	-0,97	-8,2	-7	0,017	-0,003	< 0,001	0,89	0,151
NV	41,8	-1,59	27	-4,14	0,016	-0,002	< 0,001	0,96	0,252
NVME	45,5	-1,67	28,3	-3,99	0,018	-0,002	< 0,001	0,95	0,315
NPK	47,7	-1,38	20,9	-3,26	0,025	-0,003	< 0,001	0,95	0,441

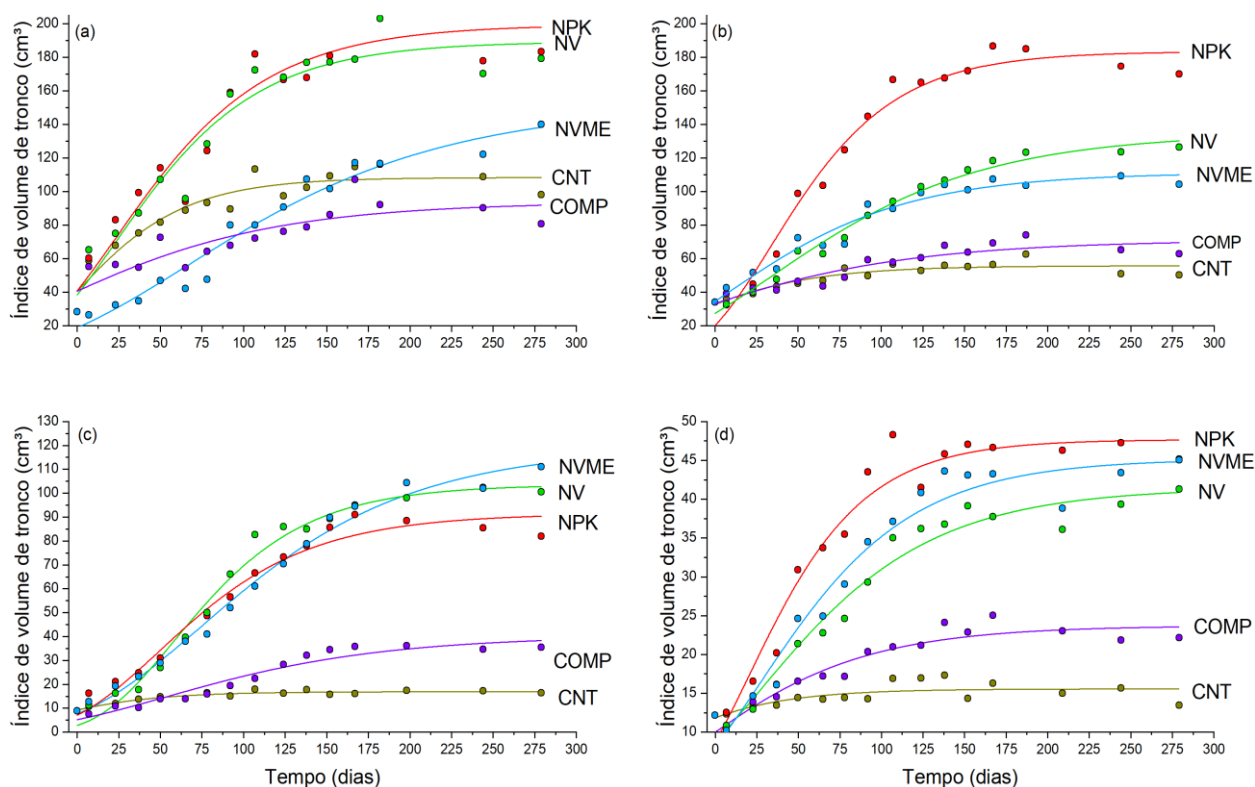


Figura 5: Os gráficos apresentam o crescimento de cada espécie, índice de volume de tronco, ao longo do tempo. O gráfico (a) é referente a espécie *Tapirira guianensis*, (b) *Gallesia integrifolia*, (c) *Cariniana legalis* e (d) *Casearia sylvestris*, cultivadas nos diferentes tratamentos: CNT = controle; COMP = adição de composto orgânico; NPK = adição de nitrogênio, potássio e fósforo (04 – 14 – 08); NV = adição de nitrogênio verde; NVME = adição de nitrogênio verde + adição de microrganismos eficientes.

Os resultados obtidos pelo SPAD, mostram que aos 68 dias os tratamentos NPK, NV e NVME apresentaram maiores concentrações de clorofila nas folhas, ou valores intermediários, que não diferiam nem do CNT e COMP, em todas as espécies (Figura 6). No entanto, com 180 e principalmente com 279 dias as plantas apresentaram quantidades de clorofila mais altas quando cultivadas sob os tratamentos NVME e NV do que os demais tratamentos, sendo que no tratamento NPK e COMP, a quantidade de clorofila nas folhas não diferiu do controle (Figura 6).

Na espécie *T. guianensis* não houve diferença significativa entre os tratamentos NPK, NVME e NV na primeira medição na quantidade de clorofila (SPAD1). Os tratamentos NVME e NV mantiveram os níveis de clorofila ainda altos, com valores médios no tratamento NVME de 34,08 após 180 dias e 25,7 após 279 dias a partir do início do experimento, e de 28,85 para 180 dias e 25,67 após 279 dias no tratamento NV (Figura 6).

Em *G. integrifolia*, os maiores valores encontrados na primeira medição de clorofila foram nos tratamentos NV e NVME, sendo que o NPK alcançou níveis intermediários. Na segunda medição, os maiores índices de clorofila foram encontrados em NVME e NV. Detectamos uma diminuição da quantidade de clorofila de 68,33% e de 55,2% entre a primeira e a segunda medição nos tratamentos NPK e COMP, respectivamente. Enquanto em NV e NVME tiveram uma diminuição da quantidade de clorofila de 23,72% e 9,9%, respectivamente. Os valores de clorofila obtidos em NPK e COMP após 180 dias não diferiram do tratamento CNT (Tabela 2, Figura 6).

A espécie *C. legalis* apresentou maiores quantidades de clorofila após 68 dias em NV e NVME comparado ao COMP, enquanto os tratamentos NPK e CNT apresentaram valores intermediários e não diferiram entre si (Figura 6). Após 180 dias, todos os tratamentos mostraram uma diminuição de 30 a 40% nos índices de clorofila quando comparado com 68 dias, o NPK apresentou uma diminuição de 66%. No entanto, nos tratamentos NVME e NV a quantidade de clorofila se manteve mais alta do que nos demais tratamentos, com valores médios de 28,95 e 26,2, respectivamente. Mesmo após 279 dias, nas plantas cultivadas no NVME o valor de clorofila não diferiu do valor obtido ao tempo de 180 dias. O tratamento NPK apresentou os menores índices de clorofila nos tempos 180 e 279 dias, com valores médios de 11,2 e 10,85 (Tabela 2, Figura 6).

A espécie *C. sylvestris* apresentou as maiores quantidades de clorofila no tempo de 68 dias nos tratamentos NV, NVME e NPK, não havendo diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 2). No tempo de 180 dias, os tratamentos com as maiores



quantidades de clorofila foram NV e NVME (Figura 6). Todos os demais tratamentos mostraram grande diminuição nas quantidades de clorofila, com diminuição de 33,13% em CNT, 51,48% em NPK e 34,08% em COMP, não apresentando diferença entre si (Tabela 2). No entanto, aos 279 dias, os tratamentos CNT e COMP apresentaram um aumento nas quantidades de clorofila, onde CNT retornou ao estado observado aos 68 dias de tratamento, mas ainda assim esses tratamentos não diferiram do tratamento NPK, que permaneceu com baixas quantidades de clorofila. Os tratamentos NV e NVME se mantiveram com altas quantidades de clorofila, não diferindo do observado aos 180 dias (Tabela 2, Figura 6).

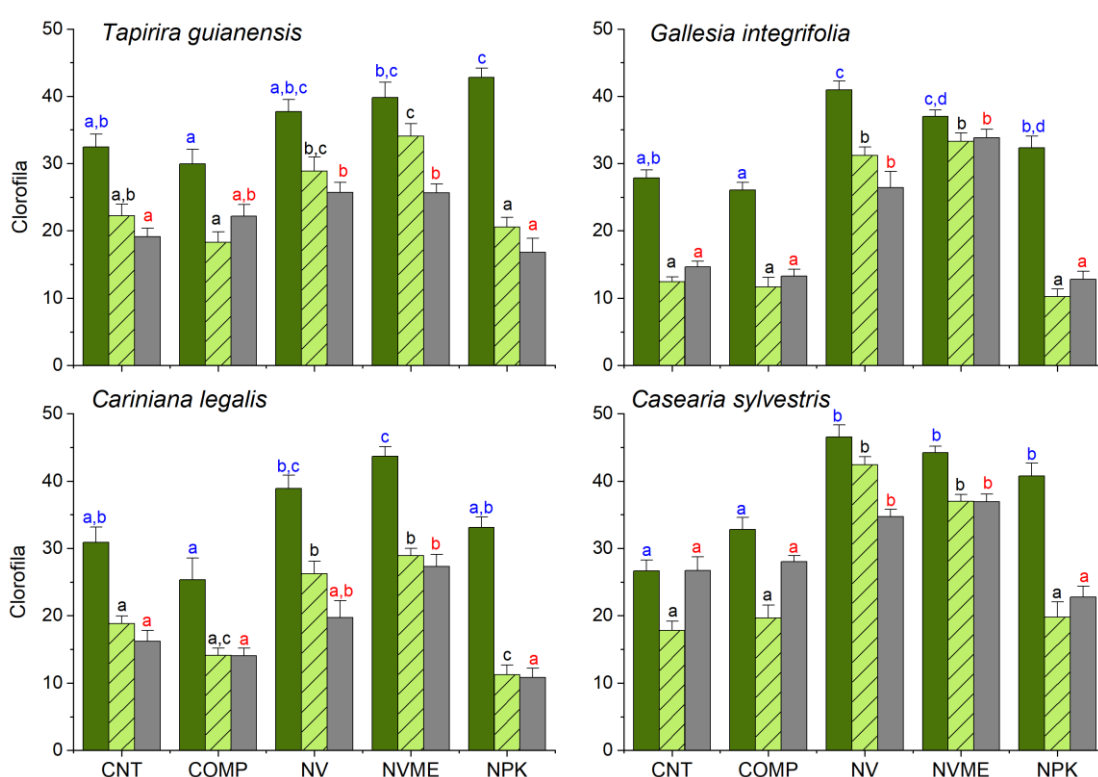


Figura 6: Quantidade média de clorofila de todas as espécies ao longo do tempo nos tratamentos: CNT = controle; COMP = adição de composto orgânico; NPK = adição de nitrogênio, potássio e fósforo (04 – 14 – 08); NV = adição de nitrogênio verde; NVME = adição de nitrogênio verde + adição de microrganismos eficientes. Letras em azul mostra o resultado do teste de Tukey entre tratamentos medidos após 68 dias, letras em preto após 180 dias de tratamento e letras em vermelho após 279 dias a partir do início do experimento. Letras iguais representam diferenças não significativas. As barras representam o erro padrão.



Tabela 2: Diferenças nas leituras de SPAD ao longo do tempo nas espécies *T. guianensis*, *G. integrifolia*, *C. legalis* e *C. sylvestris*. A primeira quantificação de clorofila foi realizada aos 68 dias de experimento (S1), a segunda aos 180 dias (S2) e a terceira aos 279 dias (S3). O valor de P é referente ao teste de Tukey, onde valores de  $P \leq 0,05$  indicam que há diferença significativa entre as quantidades de clorofila observada ao longo do tempo em cada tratamento para cada espécie.

<b>Espécies</b>	<b>S1 - S2 (valor de P*)</b>	<b>S2 - S3 (valor de P*)</b>	<b>S1 - S3 (valor de P*)</b>
<i>Tapirira guianensis</i>			
CNT	0,0008	0,3999	0
COMP	0,0005	0,3074	0,0177
NV	0	0,2818	0
NVME	0,0066	0,4468	0,0004
<i>Gallesia integrifolia</i>			
CNT	0	0,2324	0
COMP	0	0,6313	0
NV	0	0,4183	0
NVME	0,0019	0,1432	0
NPK	0,096	0,954	0,163
<i>Cariniana legalis</i>			
CNT	0,0002	0,5476	0
COMP	0,0026	0,9998	0,0025
NV	0	0,9763	0
NVME	0,0012	0,1001	0
NPK	0	0,7155	0
<i>Casearia sylvestris</i>			
CNT	0,0035	0,0033	0,9998
COMP	0	0,0034	0,1088
NV	0	0,543	0
NVME	0,1183	0,0023	0
NPK	0,0003	0,999	0,0002

A Análise de Componentes Principais (ACP) reduziu o número de variáveis do solo em apenas dois eixos (Figura 7). O valor do Eixo 1 explicou 56,06% da variação total dos dados, enquanto o Eixo 2 explica 34,92%. Os dois eixos explicaram 90,98% da variação total dos atributos químicos do solo de todos os tratamentos (Figura 7). Ao final do experimento, a capacidade de troca catiônica (CTC), a saturação de bases (V%) e o

conteúdo de fósforo foram mais correlacionados com o primeiro eixo da ACP, enquanto que o N, a MO e K foram mais correlacionados com o segundo eixo (Figura 7). O solo no tratamento COMP apresentou os maiores valores de CTC, V e P. A maior quantidade de nitrogênio (N) no solo foi encontrada no tratamento NVME (Figura 7). As maiores quantidades de MO foram observadas em NVME, COMP e NV (Figura 7). As variáveis N e MO podem apresentar uma correlação pelos seus vetores apresentarem ângulos agudos. O tratamento NPK teve as menores quantidades de N, MO e CTC ao final do experimento, em contrapartida apresentou maior correlação com o potássio (K), já que este elemento faz parte da formulação do fertilizante mineral NPK (Figura 7).

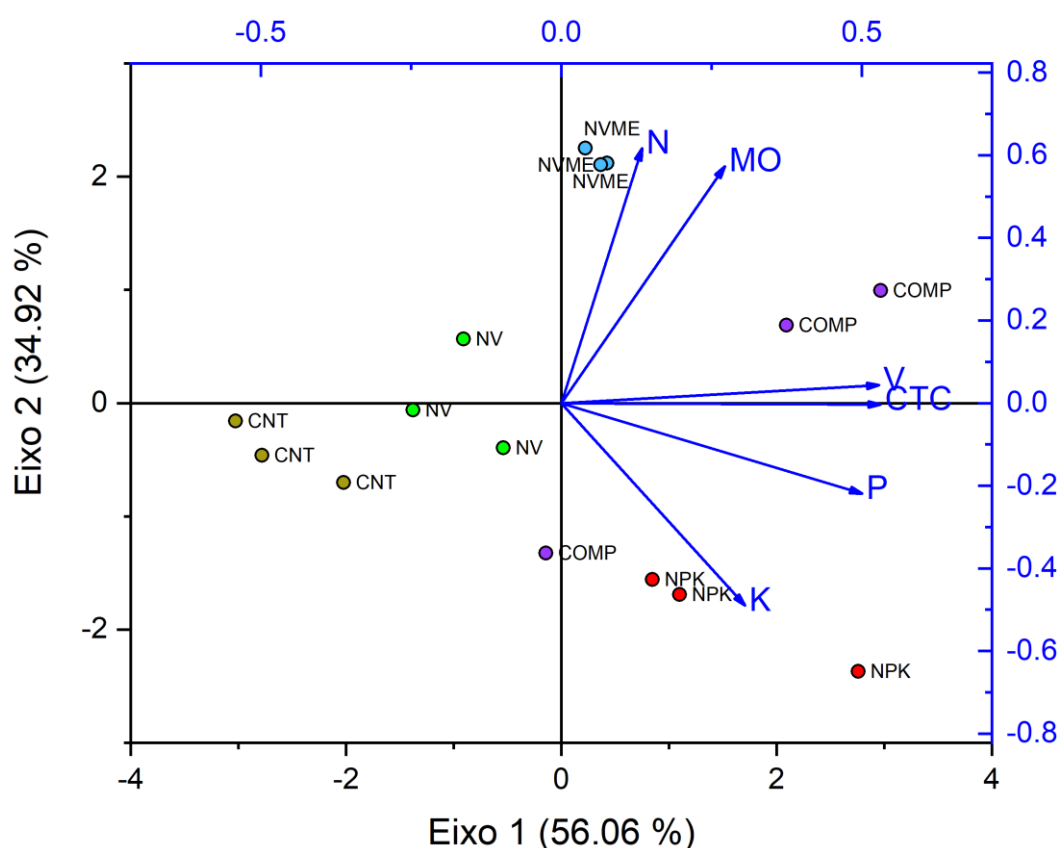


Figura 7: Análise de componentes principais (ACP) sobre os atributos químicos do solo nos diferentes tratamentos: CNT = controle; COMP = adição de composto orgânico; NPK = adição de nitrogênio, potássio e fósforo (04 – 14 – 08); NV = adição de nitrogênio verde; NVME = adição de nitrogênio verde + adição de microrganismos eficientes.

A quantidade de nitrogênio total no solo diferiu entre os tratamentos ( $F = 27,713$ ;  $P < 0,001$ ). O teste de Tukey mostrou que todos os tratamentos, com exceção de NVME, não apresentaram diferenças significativas em relação a quantidade de nitrogênio

disponível no solo ao final do experimento. A quantidade de nitrogênio no tratamento NVME foi maior quando comparado aos demais tratamentos (Figura 8).

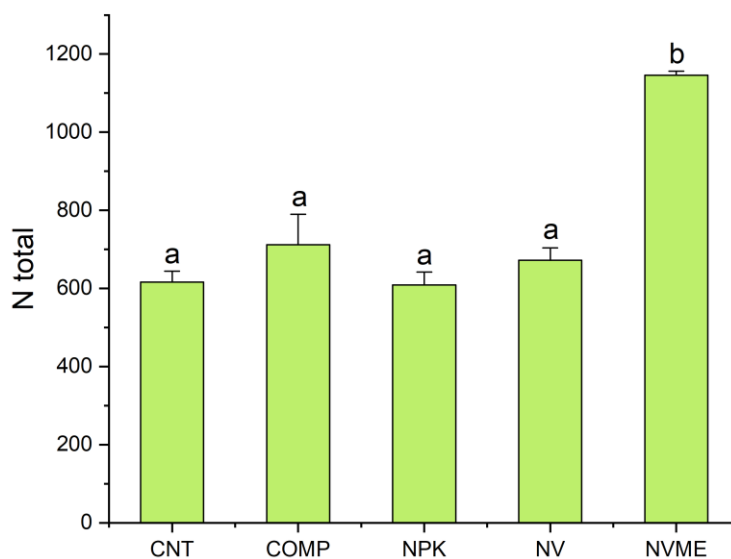


Figura 8: Quantidade média de nitrogênio total no solo de diferentes tratamentos: CNT = controle; COMP = adição de composto orgânico; NPK = adição de nitrogênio, potássio e fósforo (04 – 14 – 08); NV = adição de nitrogênio verde; NVME = adição de nitrogênio verde + adição de microrganismos eficientes. Letras iguais representam diferenças não significativas entre os tratamentos. As barras representam o erro padrão.

A análise biológica de solo avaliou a atividade das enzimas de solo arilsulfatase e  $\beta$ -glicosidase nos diferentes tratamentos apenas na espécie *C. sylvestris* (Figura 9). A atividade da enzima arilsulfatase apresentou diferença entre os tratamentos ( $P = 0,001$ ). O teste de Tukey apresentou diferença significativa para as atividades da enzima arilsulfatase, sendo que as maiores atividades foram observadas nos tratamentos NVME, COMP e NV, sendo este último um intermediário. O tratamento NPK foi igual ao CNT (Figura 9). Já a atividade da enzima  $\beta$ -glicosidase não diferiu significativamente entre os tratamentos, como valor de  $P = 0,083$  (Figura 9).

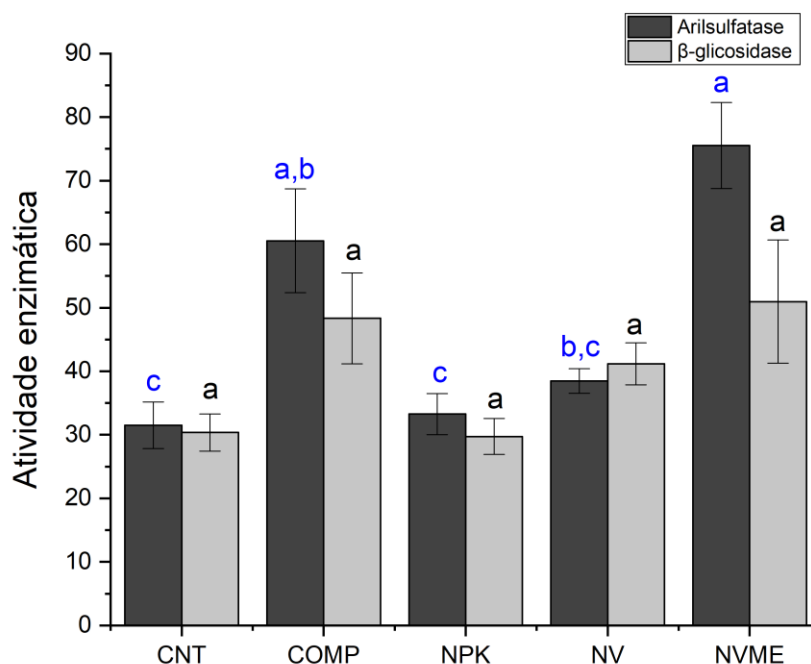


Figura 9: Atividade enzimática média no solo nos tratamentos: CNT = controle; COMP = adição de composto orgânico; NPK = adição de nitrogênio, potássio e fósforo (04 – 14 – 08); NV = adição de nitrogênio verde; NVME = adição de nitrogênio verde + adição de microrganismos eficientes. Letras iguais representam diferenças não significativas entre os tratamentos. As barras representam os erros padrões.

#### 4. DISCUSSÃO

Os índices de crescimento vegetal, como o crescimento em altura e diâmetro do colo, são bons parâmetros morfológicos para indicar a qualidade das mudas (CARNEIRO, 1995; GONÇALVES et al., 2000; HAASE, 2008). Os resultados deste estudo mostraram diferenças no crescimento das plantas em função do tipo de fonte de nitrogênio utilizada nos tratamentos avaliados. Em relação ao crescimento, os tratamentos que se destacaram foram o NPK, NV e NVME. O tratamento NPK apresentou mudas com crescimento mais acentuado no início, seguido de uma diminuição na taxa de crescimento em todas as espécies até sua estabilização (Figura 5). Isso pode ser explicado pelo fato de que o adubo mineral NPK é de rápida liberação, disponibilizando seus nutrientes para as plantas de forma rápida, como apresentado pelo parâmetro  $x_c$  e  $AGR_{max}$  da curva de Gompertz, onde  $x_c$  representa o tempo em que a taxa de crescimento é máxima e  $AGR_{max}$  é o crescimento absoluto na idade de maior crescimento (Tabela 1).

Além disso, outra possível explicação se dá pelo fato de o nitrogênio ser um elemento que se perde facilmente no solo. O nitrogênio é um elemento que apresenta características bem dinâmicas no sistema solo-planta-atmosfera, podendo ser perdido do solo por processo de volatilização da amônia, desnitrificação e lixiviação do nitrato, ocasionando uma diminuição da eficiência de fertilização com nitrogênio (CABEZAS et al., 2000; FREIRE et al., 2010; SANTOS et al., 2016). A perda de nitrogênio no solo é refletida pelas quantidades de clorofila apresentadas nas três medições de SPAD, onde há uma diminuição ao longo do tempo nas quantidades de clorofila presente nas folhas das plantas de todas as espécies no tratamento NPK, se igualando ao CNT (Figura 6, Figura 8).

Com exceção de *C. legalis*, espécie secundária tardia, ou seja, de crescimento lento (LORENZI, 1992), todas as demais espécies alcançaram os maiores tamanhos da parte aérea no tratamento com NPK. A fertilização com N-verde, nos tratamentos NV e NVME, promoveu o maior crescimento da parte aérea para a espécie *C. legalis*. Analisando o parâmetro  $x_c$  para *C. legalis* (Tabela 1) e sabendo que esta espécie apresenta um crescimento mais lento que as demais, pode-se entender que o tempo de liberação mais lenta do N-verde, em NV e NVME, tenha sido mais adequado para as demandas nutricionais desta espécie. Além disso, o maior crescimento para *C. legalis* está associado ao maior acúmulo de clorofila nas folhas, encontrado no tratamento NVME, indicando uma relação direta com o N absorvido.

O composto orgânico comercial utilizado no tratamento COMP, quando comparado aos demais tratamentos, só não diferiu do CNT, que não recebeu nenhum tipo de fertilização. A igualdade entre COMP e CNT ocorreu tanto no crescimento das plantas quanto nas quantidades de clorofila das folhas. O parâmetro  $x_c$  para CNT e COMP apresenta números negativos (Tabela 1), com exceção de COMP para *C. legalis*, possivelmente devido ao seu crescimento ser mais lento, indicando que as demais espécies tiveram seu maior crescimento ainda na casa de vegetação, antes de serem transplantadas e serem fertilizadas. Isso mostra que a adição do fertilizante orgânico utilizado não foi favorável ao crescimento de espécies nativas, mesmo contendo 4% de nitrogênio, igual aos demais tratamentos. Caldeira et al. (2008), em estudo de produção de mudas de *Schinus terebinthifolia* Raddi (aroeira-vermelha) em diferentes concentrações de composto orgânico no substrato, tiveram um efeito negativo, apresentando os menores tamanhos em altura e diâmetro do colo nas mudas que receberam o composto puro. Os melhores resultados para altura e diâmetro do colo foram

observados nos tratamentos que receberam 20% de composto misturados ao solo, ou não receberam o composto orgânico.

Uma possível explicação para o nosso resultado se dá pela relação carbono/nitrogênio (C/N) ser alta, onde as proporções de carbono são superiores à de nitrogênio. Considera-se uma relação C/N alta com valores de C acima de 50 (INACIO e MILLER, 2009). Com os valores de C maiores que de N, ocorre uma relação de competição entre microrganismos e plantas, que competem por nutrientes e os microrganismos do solo consomem o N, tornando este elemento indisponível para as plantas. Um exemplo disso é o uso da palha agrícola em cultivos de cana-de-açúcar, onde a palha tem uma relação C/N alta (70/1). Os microrganismos decompõem e consomem todo o C da palha e também o nitrogênio (MATOS et al., 2016). Segundo Primavesi (2016), composto orgânico não é alimento vegetal, mas sim um produto semidecomposto que ainda passará pela decomposição final. Ainda relata, que o nitrogênio adicionado ao solo por composto não possui relação com o nitrogênio do solo, e caso o solo esteja desagregado ou compactado, o nitrogênio é perdido.

Em todas as espécies, a adubação com N-verde se mostrou eficaz para o crescimento das plantas. Enquanto no tratamento com NPK o crescimento já havia estabilizado pela falta de N, as plantas que haviam recebido o N-verde continuavam crescendo, como indica a Figura 5 e os pontos de inflexão das curvas para os tratamentos NV e NVME (Tabela 1), o que pode ser explicado pela lenta liberação de N nestes tratamentos.

Em todas as espécies houve uma diminuição ao longo do tempo nas quantidades de clorofila nas folhas (Tabela 2). Os tratamentos que apresentaram maiores diminuições foram NPK e COMP, se igualando ao CNT. O que também é visto na quantidade média de N total no solo (Figura 6, Figura 8). Nas espécies *T. guianensis*, *C. legalis* e *C. sylvestris*, os fertilizantes NPK e N-verde não mostraram diferença significativa em relação à altura final das plantas, sendo importante ressaltar as plantas dos tratamentos com N-verde ainda estavam em crescimento ao final do experimento.

O tratamento NVME mostrou maior estabilidade nas quantidades de clorofila encontradas nas folhas de todas as espécies ao longo do experimento. Comparado ao nitrogênio encontrado no solo, este foi o único tratamento que manteve os níveis de N mais elevados, sendo possível de ser observada na ACP, onde N é correlacionado com o tratamento NVME (Figura 7), com os níveis de N total no solo alcançando quase o dobro dos demais tratamentos, como apresenta a Figura 8. A resposta para isso pode ser por

causa da aplicação dos ME, que atuam na ciclagem de nutrientes e decomposição da matéria orgânica, disponibilizando N e outros nutrientes para as plantas (PUGAS et al., 2013; DOURADO, 2018; CARGNELUTTI et al., 2021). Os ME podem atuar com estímulos fotossintéticos promovendo o crescimento das plantas e também melhoram os aspectos físicos e químicos do solo (CARGNELUTTI et al., 2021). Em um estudo com plantas submetidas ao estresse em solos salinos, a incorporação de microrganismos no solo reduziu o estresse causado, além de favorecer a biossíntese de clorofila nas plantas, onde se utilizou o SPAD para quantificação de clorofila presente nas folhas das plantas (ROUPHAEL et al., 2020). Li e colaboradores (2024), observaram que a adição de microrganismos aumentou significativamente a biomassa das plantas acima do solo, melhorou as propriedades do solo e aumentou o N disponível, indicando que a utilização de ME seria uma boa prática para restaurar ecossistemas de pradarias degradadas.

As análises biológicas realizadas com o solo na região da rizosfera da espécie *C. sylvestris* avaliaram as atividades enzimáticas nessa região através das atividades das enzimas arilsulfatase e  $\beta$ -glicosidase. Essas enzimas são parâmetros integradores relacionados ao componente biológico e a outros atributos microbiológicos do solo, como o carbono da biomassa microbiana, a respiração basal e a celulase (MENDES et al., 2020). A maior atividade biológica aconteceu nos tratamentos NVME e COMP, apresentando as maiores médias para a atividade da enzima arilsulfatase (Figura 9). Essa enzima está relacionada ao ciclo do enxofre, que é essencial para desenvolvimento dos organismos vivos, atuando na síntese de vitaminas, aminoácidos e hormônios (LOPEZ et al., 2016; MENDES et al., 2020). A atividade da arilsulfatase está relacionada com o teor de MO, sendo que a sua atividade diminui com a redução de MO no solo (NOGUERIA e MELO, 2003). Como apresentado na Figura 7, a maior média de N total foi encontrada no tratamento NVME, assim como a correlação entre o tratamento NVME e o N e a MO do solo (Figura 8), o que corrobora para maior atividade da enzima arilsulfatase. O tratamento NVME era composto pela adição 4% de N-verde e a adição de ME. Os microrganismos se alimentam de N aumentando a comunidade microbiana do solo, levando a uma rápida absorção de todas as formas de N do solo pelos microrganismos. Porém, o curto ciclo de vida dos microrganismos presentes na rizosfera faz com que as raízes absorvam o N da biomassa microbiana. Além disso, a absorção de N pelos microrganismos evita com que o N seja lixiviado do solo (KUZYAKOV e XU, 2013), o que também nos permite entender o fato do NVME ter a maior quantidade de N total encontrado no solo (Figura 8).

Em COMP, também foi observado as maiores atividades enzimáticas para arilsulfatase (Figura 9). O tratamento COMP, por possuir uma alta relação C/N, contribui para o aumento da atividade e o crescimento de microrganismos, o que favorece, em um primeiro momento, o esgotamento dos nutrientes (ZAK et al., 2000; OGER et al., 2004; BLAGODATSKAYA et al., 2009), no caso, o nitrogênio disponível para as plantas. Isso explica o fato de haver atividade enzimática similar ao tratamento NVME, mas no que diz respeito ao crescimento das plantas esse tratamento não ter diferença do CNT. O tratamento NV foi um intermediário entre COMP e os tratamentos NPK e CNT, que tiveram as menores atividades da enzima arilsulfatase.

Em relação a atividade da enzima  $\beta$ -glicosidase, apesar dos tratamentos NVME e COMP apresentarem as maiores atividades, não foi possível notar diferença significativa entre os tratamentos (Figura 9). A enzima  $\beta$ -glicosidase é relacionada ao ciclo do carbono, o que nos permite inferir que a  $\beta$ -glicosidase possa estar associada com o sequestro de C no solo. Hu e colaboradores (2017), em um longo estudo sobre o sequestro de C e N do solo e o crescimento de culturas de milho e trigo, observaram que a adição de ME proporcionou os maiores níveis de N e de sequestro de C do solo após 11 anos de experimento, melhorando a qualidade do solo, gerando maiores rendimentos na cultura de milho.

A utilização de ME está ganhando espaço na produção agrícola pelos seus benefícios no solo, no desenvolvimento e produtividade das plantas (SILVA et al., 2020; SOUZA et al., 2020). Os ME favorecem processos como a formação de agregados do solo e a redução da perda de nutrientes (SZYMANEK et al., 2020), restauram as propriedades físico, químicas e microbiológicas do solo (BONFIM et al., 2011), aumentam o C orgânico do solo e os níveis de N total do solo (HU et al., 2017), favorecem o aumento da fixação de N e a liberação de nutrientes (MARES GUIA, 2018) e também podem produzir hormônios vegetais, antibióticos e polissacarídeos que podem atuar no desenvolvimento vegetal direta ou indiretamente (AVILA et al., 2021).

No entanto, na área florestal seja para a produção de mudas de espécies nativas ou para aplicação em campo em projetos de restauração ecológica há uma escassez de estudos. Como observado a partir dos resultados deste estudo, o uso de uma fonte orgânica de nitrogênio (N-verde) juntamente com a inoculação de microrganismos eficientes apresentou os melhores resultados tanto para o crescimento de espécies arbóreas nativas quanto na concentração N total no solo. Vale ressaltar que ainda é necessário entender sobre as possibilidades de seu uso em campo em uma área de



restauração ecológica, uma vez que é preciso entender sobre custos e mão de obra. Segundo Bonfim e colaboradores (2011), além dos inúmeros benefícios no solo e plantas, afirmam que os ME são uma tecnologia natural, de fácil aplicação e econômica. Portanto, se faz necessário compreender a melhor forma de utilização de ME, seus custos e para comprovar seus benefícios no solo e em espécies arbóreas nativas, devido ao grande potencial de uso e implementação em ações de restauração ecológica.

## 5. CONCLUSÃO

A fertilização com NPK na proporção de 4% de nitrogênio, 14% de fósforo e 8% de potássio é indicada para plantas de crescimento rápido somente para o início do crescimento. A fertilização com o composto orgânico (COMP) não teve influência no crescimento das espécies avaliadas, mas pode representar uma boa estratégia se utilizada com outra fonte de nutrientes, uma vez que acarretou em aumento da CTC do solo. As fertilizações com N-verde, em NV e NVME, se mostraram eficazes tanto para o crescimento quanto para a quantidade de clorofila presente nas folhas das mudas. O uso conjunto de ME com NV apresentou os melhores resultados para o crescimento das plantas, o acúmulo de clorofila presente nas folhas e no solo, mostrando que, mesmo ao final do experimento, os níveis de nitrogênio no solo ainda eram altos, possibilitando a continuidade no crescimento das plantas. A adição de ME propiciou maior atividade enzimática no solo do tratamento NVME, o que contribuiu para a manutenção do N no solo. Porém, o mesmo não foi observado em COMP, que mesmo com alta atividade enzimática, não diferiu do CNT em crescimento das plantas, quantidade de clorofila presente nas folhas e N no solo.

Para melhor compreensão sobre a utilização do fertilizante N-verde e da adição de ME, e para comprovar sua eficácia em relação às taxas de crescimento inicial e no melhoramento de solos degradados, estudos devem ser realizados, especialmente em espécies arbóreas nativas, testando seus efeitos em campo. Isso poderia resultar em maiores taxas de sobrevivência e crescimento de espécies arbóreas nativas nas ações de restauração florestal. A literatura para a nutrição de espécies nativas e sobre o uso de ME em espécies arbóreas e seu impacto no solo de restauros florestais ainda é escassa.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AVILA, G. M. A.; GABARDO, G.; CLOCK, D. C.; JUNIOR, O. S. L. Use of efficient microorganisms in agriculture. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 8, p. 1-13, 2021.

AMORIM, P. K.; BATALHA, A. Soil characteristics of a hyperseasonal cerrado compared to a seasonal cerrado and a floodplain grassland: implications for plant community structure. *Brazilian Journal of Biology*, v. 66, n. 2b, p. 661-670, 2006.

BALTZER, J. L.; THOMAS, S. C. Determinants of whole-plant light requirements in Bornean rain forest tree saplings. *Journal of Ecology*, v. 95, n. 6, p. 1208-1221, 2007.

BARALOTO, C.; FORGET, P. M.; GOLDBERG, D. E. Seed mass, seedling size and Neotropical tree seedling establishment. *Journal of Ecology*, v. 93, n. 6, p. 1156-1166, 2005.

BLAGODATSKAYA, E. V.; BLAGODATSKY, S. A.; ANDERSON, T. H.; KUZYAKOV, Y. Contrasting effects of glucose, living roots and maize straw on microbial growth kinetics and substrate availability in soil. *European Journal of Soil Science*, v. 60, p. 186–197, 2009.

BONFIM, F. P. G.; HONÓRIO, I. C. G.; REIS, I. L.; PEREIRA, A. J.; SOUZA, D. B. Caderno dos microrganismos eficientes (EM): instruções práticas sobre uso ecológico e social do EM. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Fitotecnia, 32 p., 2011.

CALDEIRA, M. V. W.; ROSA, G. N.; FENILLI, T. A. B.; HARBS, R. M. P. Composto orgânico na produção de mudas de aroeira-vermelha. *Scientia Agraria, Curitiba*, v. 9, n. 1, p. 27-33, jan./abr. 2008.

CARVALHO, P. E. R. Espécies arbóreas brasileiras. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, v. 1, p. 631-636, 2003.

CARVALHO, P. E. R. Espécies arbóreas brasileiras. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, v. 1, p. 737-742, 2003.

CARVALHO, P. E. R. Espécies arbóreas brasileiras. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, v. 2, p. 117-124, 2006.

CARVALHO, P. E. R. Espécies arbóreas brasileiras. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, v. 2, p. 189-198, 2006.

CARGNELUTTI, D. et al. Soluções tecnológicas emergentes para uma agricultura sustentável: microrganismos eficientes. In: GARCÍA, L. M. H. *Agroecologia: princípios e fundamentos ecológicos aplicados na busca de uma produção sustentável*. Canoas: Mérida Publishers, p. 31-62, 2021.

CARNEIRO, J. G. A. Produção e controle de qualidade de mudas florestais. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 1995. 451 p.

CATENACCI, F. S.; RIBEIRO, M.; SMITH, N. P.; CABELLO, N. B. Cariniana in Flora e Funga do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB8543>. Acesso em: 20 ago. 2024.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Elementos requeridos à nutrição de plantas. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVEZ, J. C. L. (Eds.). Fertilidade de solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 91-132.

DIAS, A. C. F. Transformações do nitrogênio no solo. In: CARDOSO, E. J. B. N.; ANDREOTE, F. D. (Eds.). Microbiologia do solo, 2. ed. Piracicaba: Esalq, 2016. p. 99-109.

DOURADO, E. R. Microrganismos eficientes (EM) no tratamento de sementes de milho. 2018. 62 p. Dissertação (Mestrado em Agroecologia) – Universidade Federal de Viçosa. EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-noticias-embrapa/busca-de-noticias/-/noticia/37485979/pesquisa-desenvolve-fertilizante-organico-a-partir-da-biomassa-de-plantas>. Acesso em: mar. de 2023.

ENGEL, V. L.; PARROTA, J. A. Definindo a restauração ecológica: tendências e perspectivas mundiais. In: KAGEYAMA, P. Y.; OLIVEIRA, R. E.; MORAES, L. F. D.; ENGEL, V. L.; GANDARA, F. B. (Org.). Restauração ecológica de ecossistemas naturais. Botucatu: Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas Florestais, p. 1-26, 2008.

GARCÍA-ORTH, X.; MARTÍNEZ-RAMOS, M. Isolated Trees and Grass Removal Improve Performance of Transplanted *Trema micranta* (L.) Blume (Ulmaceae) Saplings in Tropical Pastures. *Restoration Ecology*, v. 19, p. 24-34, 2011.

GOMES, J. M.; PAIVA, H. N. Produção de mudas de eucalipto por sementes. *Informe Agropecuário*, v. 29, n. 242, p. 14-22, 2008.

GOMES, J. P. A.; MOULIN, M. M.; SOUZA, M. N.; SANTOS JÚNIOR, A. C. Uso de microrganismos eficientes como alternativa para agricultura sustentável: um referencial teórico. *Agroecologia: Métodos e Técnicas para uma Agricultura Sustentável - Volume 5*, [S.L.], v. 5, n. 1, p. 340-355, fev. 2021. Editora Científica Digital. doi: <http://dx.doi.org/10.37885/210604968>.

GONÇALVES, J. L. M. et al. Produção de mudas de espécies nativas: substrato, nutrição, sombreamento e fertilização. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETI, V. (Eds.). *Nutrição e fertilização florestal*. Piracicaba: IPEF, 2000. p. 309-350.

GONÇALVES, J. L. M.; NOGUEIRA JR., L. R.; DUCATTI, F. Recuperação de solos degradados. In: KAGEYAMA, P. Y.; OLIVEIRA, R. E.; MORAES, L. F. D.; ENGEL, V. L.; GANDARA, F. B. (Org.). *Restauração ecológica de ecossistemas naturais*. Botucatu: Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas Florestais, 2008. p. 111-164.

HAASE, D. Understanding forest seedling quality: measurements and interpretation. *Tree Planter's Notes*, v. 52, n. 2, p. 24-30, 2008.

HIGA, T.; PARR, J. F. Beneficial and effective microorganisms for a sustainable agriculture and environment. Atami: International Nature Farming Research Center, 1994.

HERLIHY, M.; McCARTHY, J. Association of soil-test phosphorus with phosphorus fractions and adsorption characteristics. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v. 75, p. 79-90, 2006.

HU, C.; XIA, X.; CHEN, Y.; HAN, X. Soil carbon and nitrogen sequestration and crop growth as influenced by long-term application of effective microorganism compost. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 78, p. 13–22, 2017. doi: <https://doi.org/10.4067/S0718-58392018000100013>.

INACIO, C. de T.; MILLER, P. R. M. *Compostagem: ciência e prática para a gestão de resíduos orgânicos*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 156 p., 2009.

KOHYAMA, T. A functional model describing sapling growth under a tropical forest canopy. *Functional Ecology*, v. 5, p. 83–90, 1991.

KOMINOSKI, J. S.; SHAH, J. J. F.; CANHOTO, C.; FISCHER, D. G. Forecasting functional implications of global changes in riparian plant communities. *Frontiers in Ecology and the Environment*, v. 11, p. 423-432, 2013.

KONONOVA, M. M. *Soil organic matter: its nature, its role in soil formation and in soil fertility*. Oxford: Pergamon Press, 2013.

KUZYAKOV, Y.; XU, X. Competition between roots and microorganisms for nitrogen: mechanisms and ecological relevance. *New Phytologist*, v. 198, p. 656-669, 2013.

LI, J.; WEI, J.; SHAO, X.; YAN, X.; LIU, K. Effective microorganisms input efficiently improves the vegetation and microbial community of degraded alpine grassland. *Frontiers in Microbiology*, v. 14, p. 1330149, 2024. doi: [10.3389/fmicb.2023.1330149](https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1330149).

LEGENDRE, P.; LEGENDRE, L. *Numerical Ecology*. 3. ed. Amsterdam: Elsevier, 1006 p., 2012.

LOIOLA, P. P.; SCHERER-LORENZEN, M.; BATALHA, M. A. The role of environmental filters and functional traits in predicting the root biomass and productivity in savannas and tropical seasonal forests. *Forest Ecology and Management*, v. 342, p. 49-55, 2015.

LONGO, R. M.; RIBEIRO, A. I.; MELO, W. J. D. Recuperação de solos degradados na exploração mineral de cassiterita: biomassa microbiana e atividade da desidrogenase. *Bragantia*, v. 70, n. 1, p. 132-138, 2011.

LOPEZ, M. V.; BINI, D.; LOURENÇO, M. V. M. Transformações do enxofre. In: CARDOSO, E. J. B. N.; ANDREOTE, F. D. (Eds.). *Microbiologia do solo*, 2. ed. Piracicaba: Esalq, p. 167-178, 2016.

LORENZI, H. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa: Plantarum, 352 p., 1992.

MANUAL DE MÉTODOS DE ANÁLISE DE SOLO, EMBRAPA. 3. ed. revista e ampliada, 2017.

MARCHIORETTO, M. S. Phytolaccaceae in Flora e Funga do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB12578>. Acesso em: 20 ago. 2024.

MARES GUIA, A. P. O. Produtividade de milho verde cultivado em sucessão a adubação verde com aplicação de microrganismos eficientes, nas condições de Matias Barbosa, MG. 2018. 63 p. Dissertação (Mestrado em Agricultura Orgânica) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2018.

MARQUETE, R.; MEDEIROS, E. V. S. S. Salicaceae in Flora e Funga do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB14384>. Acesso em: 20 ago. 2024.

MATOS, E. R.; DURRER, A.; ANDREOTE, F. D. Ecologia microbiana. In: CARDOSO, E. J. B. N.; ANDREOTE, F. D. (Eds.). Microbiologia do solo, 2. ed. Piracicaba: Esalq, p. 37-46, 2016.

MAY, R. A.; STEVENSON, K. J. Software Review of Origin 8. Journal of the American Chemical Society, Washington, v. 131, n. 2, p. 872-872, jan. 2009.

MENDES, I. C. et al. Bioanálise de Solo: a mais nova aliada para a Sustentabilidade Agrícola. Informações Agronômicas Npct, n. 8, p. 1–11, 2020.

MILLARD, P.; GRELET, G. A. Nitrogen storage and remobilization by trees: ecophysiological relevance in a changing world. Tree Physiology, v. 30, p. 1083–1095, 2010.

MINOLTA, K. Chlorophyll meter SPAD-502. Instruction manual. Minolta Co., Ltd., Radiometric Instruments Operations, Osaka, Japan, 1989.

NOGUEIRA, M. A.; MELO, W. J. Enxofre disponível para a soja e atividade de arilsulfatase em solo tratado com gesso agrícola. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 27, p. 655-663, 2003.

OGER, P. M.; MANSOURI, H.; NESME, X.; DESSAUX, Y. Engineering root exudation of Lotus toward the production of two novel carbon compounds leads to the selection of distinct microbial populations in the rhizosphere. Microbial Ecology, v. 47, p. 96–103, 2004.

OLIET, J.; SEGURA, M. L.; DOMINGUEZ, F. M.; BLANCO, E.; SERRADA, R.; ARIAS, M. L. et al. Fertilizantes de liberación controlada lenta aplicados a la producción de planta forestal de vivero. Efecto de dosis y formulaciones sobre la calidad de Pinus halepensis mil. Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales, v. 8, n. 1, p. 207-228, 1999.

ORGANIZAÇÃO PARA A PROTEÇÃO AMBIENTAL (OPA). Biodiversidade brasileira, rica e ameaçada: Iniciativas de conservação na atual situação ambiental brasileira. In: Manejo ambiental e restauração de áreas degradadas. São Paulo: Fundação Cargill, 2010. 2. ed. p. 13-27.

PAINE, C. T.; MARTHEWS, T. R.; VOGT, D. R.; PURVES, D.; REES, M.; HECTOR, A.; TURNBULL, L. A. How to fit nonlinear plant growth models and calculate growth rates: an update for ecologists. *Methods in Ecology and Evolution*, v. 3, n. 2, p. 245-256, 2012.

PADILLA, F. M.; PUGNAIRE, F. I. Rooting depth and soil moisture control mediterranean woody seedling survival during drought. *Functional Ecology*, v. 21, n. 3, p. 489-495, 2007.

PALMER, M. A.; HONDULA, K. L.; KOCH, B. J. Ecological Restoration of Streams and Rivers: Shifting Strategies and Shifting Goals. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, v. 45, p. 247-269, 2014.

PAUL, E. (Ed.). *Soil microbiology, ecology and biochemistry*. Academic Press, 2014.  
POORTER, H. et al. Biomass allocation to leaves, stems and roots: meta-analyses of interspecific variation and environmental control. *New Phytologist*, v. 193, n. 1, p. 30-50, 2012.

PRIMAVESI, A. *Manual do solo vivo: solo sadio, planta sadia, ser humano sadio*. São Paulo: Expressão Popular, 2016.

PUGAS, A. S. et al. Efeito dos Microrganismos Eficientes na taxa de germinação e no crescimento da Abobrinha (*Cucurbita pepo* L.). *Cadernos de Agroecologia*, v. 8, p. 1-5, 2013.

RAIJ, B. V.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. (Eds.). *Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais*. Campinas: Instituto Agrônômico, 285 p., 2001.

REES, M.; OSBORNE, C. P.; WOODWARD, F. I.; HULME, S. P.; TURNBULL, L. A.; TAYLOR, S. H. Partitioning the components of relative growth rate: how important is plant size variation? *The American Naturalist*, v. 176, n. 6, p. E152-E161, 2010.

ROUPHAEL, Y. et al. Endophytic fungi induce salt stress tolerance in greenhouse-grown basil. *Acta Horticulturae*, v. 1268, p. 125-131, 2020.

SILVA, J. et al. Produção de pimentão em ambiente protegido sob diferentes concentrações de microrganismos eficientes. *Enciclopédia Biosfera*, v. 17, n. 34, 2020.

SILVA-LUZ, C. L.; PIRANI, J. R.; PELL, S. K.; MITCHELL, J. D. *Anacardiaceae in Flora e Funga do Brasil*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB4408>. Acesso em: 20 ago. 2024.

SOARES, J. J.; SILVA, D. W.; LIMA, M. I. S. Current state and projection of the probable original vegetation of the São Carlos region of São Paulo state, Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, v. 63, p. 527-536, 2003.

SORREANO, M. C. M.; MALAVOLTA, E.; SILVA, D. H.; CABRAL, C. P.; RODRIGUES, R. R. Deficiência de micronutrientes em mudas de Sangra D'água (*Croton urucurana*, Baill.). *Cerne*, Lavras, v. 14, n. 2, p. 126-132, 2008.

SWEENEY, B. W.; CZAPKA, S. J.; YERKES, T. Riparian forest restoration: Increasing success by reducing plant competition and herbivory. *Restoration Ecology*, v. 10, p. 392-400, 2002.

SYSTAT FOR WINDOWS VERSION 13.0. San Jose, California: Systat Software, Inc., 2012.

SZYMANEK, M. et al. The influence of red light (RL) and effective microorganism (EM) application on soil properties, yield, and quality in wheat cultivation. *Agronomy*, v. 10, p. 1201, 2020.

TABATABAI, M. A. Soil enzymes. In: WEAVER, R. W. et al. (Eds.). *Methods of soil analysis. Part 2. Microbiological and biochemical properties. SSSA Book Ser. 5. SSSA*, p. 778-833, 1994.

TJØRVE, K. M.; TJØRVE, E. The use of Gompertz models in growth analyses, and new Gompertz-model approach: An addition to the Unified-Richards family. *PloS One*, v. 12, n. 6, e0178691, 2017.

TOLENTINO, M. *Estudo crítico sobre o clima da região de São Carlos*. São Carlos: Prefeitura Municipal, 1967. 78 p.

ZAK, D. R.; PREGITZER, K. S.; KING, J. S.; HOLMES, W. E. Elevated atmospheric CO<sub>2</sub>, fine roots and the response of soil microorganisms: a review and hypothesis. *New Phytologist*, v. 147, p. 201-222, 2000.