

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS PARA A SUSTENTABILIDADE (CCTS)  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PLANEJAMENTO E USO DE RECURSOS  
RENOVÁVEIS (PPGPUR)

LUCAS FLORÊNCIO MARIANO

Manejo da fertilidade em solos degradados e seus efeitos sobre as trajetórias iniciais da comunidade e a plasticidade funcional de espécies nativas na restauração florestal por semeadura direta

Sorocaba, SP

2026

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS PARA A SUSTENTABILIDADE (CCTS)  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PLANEJAMENTO E USO DE RECURSOS  
RENOVÁVEIS (PPGPUR)

LUCAS FLORÊNCIO MARIANO

Manejo da fertilidade em solos degradados e seus efeitos sobre as trajetórias iniciais da comunidade e a plasticidade funcional de espécies nativas na restauração florestal por semeadura direta

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Planejamento e Uso dos Recursos Renováveis como requisito para obtenção do título de Doutor em Planejamento e Uso dos Recursos Renováveis da Universidade Federal de São Carlos.

Orientador: Prof. Dr. José Mauro Santana da Silva

Coorientadora: Profa. Dra. Francisca Alcivânia de Melo Silva

Sorocaba, SP

2026

Mariano, Lucas Florêncio

Manejo da fertilidade em solos degradados e seus efeitos sobre as trajetórias iniciais da comunidade e a plasticidade funcional de espécies nativas na restauração florestal por semeadura direta / Lucas Florêncio Mariano -- 2026.  
107f.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba, Sorocaba

Orientador (a): José Mauro Santana da Silva

Banca Examinadora: Fátima Conceição Márquez Piña-Rodrigues, Felipe Bueno Dutra, Kenia Michele de Quadros, Leandro José Grava de Godoy

Bibliografia

1. Restauração ecológica. 2. Fertilidade do solo . 3. Nutrição de plantas.. I. Mariano, Lucas Florêncio. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática (SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Maria Aparecida de Lourdes Mariano -  
CRB/8 6979

## **FOLHA DE APROVAÇÃO**

Presidente titular

---

Dra. Francisca Alcivânia, de Melo Silva.

Universidade Estadual Paulista - UNESP, Campus Registro, Brasil.

Examinador externo

---

Dr. Leandro José Grava de Godoy

Universidade Estadual Paulista - UNESP, Campus Registro, Brasil.

Examinadora externa

---

Dra. Kenia Michele de Quadros Tronco

Universidade Federal de Rondônia, Campus Rolim de Moura, Brasil.

Examinadora interna

---

Dr. Felipe Bueno Dutra

Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Brasil.

Examinadora interna

---

Dra. Fatima Conceição Marquez Piña-Rodrigues

Universidade Federal de São Carlos, Campus Sorocaba, Brasil.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, pela vida, pela força e pela perseverança ao longo desta jornada, especialmente nos momentos mais desafiadores, que exigiram fé, equilíbrio e resiliência.

Agradeço à Universidade Federal de São Carlos (UFSCar, Sorocaba/SP), por meio do Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Uso de Recursos Naturais (PPGPUR), pela oportunidade de realização deste doutorado e pela formação proporcionada ao longo desse período.

Ao Prof. Dr. José Mauro Santana da Silva, meu orientador, expresso meus sinceros agradecimentos pela orientação, confiança, apoio e ao longo deste trabalho. À Profa. Dra. Francisca Alcivania de Melo Silva, minha coorientadora, deixo um agradecimento especial pela proximidade, pelas conversas, pela disponibilidade constante e pelo acompanhamento direto em grande parte desta trajetória. Sua presença foi fundamental para o desenvolvimento deste trabalho. Aos membros das bancas de qualificação e defesa, agradeço pelas contribuições, sugestões e pelo tempo dedicado à avaliação deste estudo.

À Universidade Estadual Paulista (Unesp), campus de Registro, instituição na qual atuo profissionalmente, agradeço pelo suporte institucional, pela estrutura disponibilizada e pela concessão de afastamentos que viabilizaram a realização deste doutorado.

Em especial, agradeço à Profa. Dra. Elza, ao Prof. Leandro, à Profa. Fátima e ao Prof. Dr. João Vicente, pelas conversas, contribuições e apoio ao longo da minha carreira profissional. Aos grupos de pesquisa NEMAS, GEMFLOR e LASEM, agradeço pelo apoio, pelas trocas de conhecimento e pela colaboração ao longo do desenvolvimento do trabalho. Ao Laboratório de Fertilidade do Solo e Nutrição Mineral de Plantas (LAFEN), agradeço pela infraestrutura e suporte às atividades experimentais.

À minha família, expresso minha profunda gratidão. À minha esposa, Renata, pelo apoio incondicional, pela compreensão e por caminhar ao meu lado em todos os momentos. À minha filha, Eloah, que, mesmo sem compreender completamente, foi fonte constante de motivação e sentido. Aos meus pais, Mary e Amauri, pelo exemplo, apoio e valores que sempre me sustentaram. Às minhas irmãs, Maryelle e Amanda, pelo incentivo em sermos melhores continuamente. Ao meu sobrinho Benjamin, pelo alegria que traz à família.

Este trabalho foi construído em meio a um período de intensos desafios pessoais e profissionais. Ao longo desses anos, conciliei as exigências do doutorado com o trabalho, sem afastamento das minhas responsabilidades. Enfrentei momentos delicados, como a cirurgia de minha filha, a condução de experimentos que exigiram dedicação contínua, inclusive em finais de semana, as inúmeras viagens entre Registro e Sorocaba, e, mais recentemente, a saúde de

meu pai. Diante dessas circunstâncias, este trabalho também representa resiliência, esforço contínuo e compromisso.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização desta tese, meu sincero agradecimento.

## RESUMO

A restauração florestal por semeadura direta é uma alternativa de baixo custo para recuperar áreas degradadas, porém frequentemente limitada pelo baixo estabelecimento inicial de plântulas. Esta tese investigou como o manejo da fertilidade do solo, por meio de calagem e aplicação de insumos orgânicos e minerais, influencia o desempenho, a nutrição e a organização de 37 espécies nativas na Mata Atlântica por meio de restauração ecológica por semeadura direta. Foram conduzidos dois experimentos: um em campo, avaliando dois níveis de saturação por bases ( $V\% = 25\%$  e  $50\%$ ) e três tipos de adubação (NPK 4-14-8, adubo orgânico - cama de aves, e controle sem adubo) em solo com histórico de abandono com gramíneas invasoras e outro em casa de vegetação, testando três níveis de saturação por bases ( $V\% = 3\%$ ,  $25\%$  e  $50\%$ ) e os mesmos tipos de adubação explorando a resposta nutricional e a plasticidade de 13 espécies arbóreas sob solo degradado de corte de barranco. Os resultados indicam que o manejo da fertilidade altera significativamente atributos químicos do solo, como pH, alumínio trocável e bases trocáveis, impactando diretamente o crescimento e estabelecimento das espécies. A combinação de calagem com fertilização orgânica e mineral foi mais eficiente do que o uso isolado, promovendo maior crescimento inicial e melhor organização da comunidade. Contudo, as respostas variaram entre espécies, refletindo diferenças em estratégias ecológicas e plasticidade. Conclui-se que estratégias de correção e fertilização do solo, adaptadas à heterogeneidade das espécies, são essenciais para melhorar o sucesso da restauração florestal e favorecer comunidades mais resilientes e funcionais em longo prazo.

Palavras chaves: Restauração ecológica; Semeadura direta; Fertilidade do solo; Nutrição de plantas.

## **ABSTRACT**

Forest restoration through direct seeding is a low-cost alternative for recovering degraded areas; however, it is often limited by poor initial seedling establishment. This thesis investigated how soil fertility management, through liming and the application of organic and mineral fertilizers, influences the performance, nutrition, and organization of 37 native species in the Atlantic Forest under ecological restoration by direct seeding. Two experiments were conducted: a field experiment evaluating two levels of base saturation ( $V\% = 25\%$  and  $50\%$ ) and three fertilization treatments (NPK 4-14-8, organic fertilizer - poultry litter, and a non-fertilized control) in soil previously abandoned and invaded by grasses; and a greenhouse experiment testing three levels of base saturation ( $V\% = 3\%$ ,  $25\%$ , and  $50\%$ ) and the same fertilization treatments, aiming to assess the nutritional response and plasticity of 13 tree species under degraded cut-slope soil conditions. The results showed that fertility management significantly altered soil chemical attributes, such as pH, exchangeable aluminum, and exchangeable bases, directly affecting species growth and establishment. The combination of liming with organic and mineral fertilization was more effective than isolated applications, promoting greater initial growth and improved community organization. However, responses varied among species, reflecting differences in ecological strategies and plasticity. It is concluded that soil correction and fertilization strategies adapted to species heterogeneity are essential to improve forest restoration success and to promote more resilient and functional communities in the long term.

**Keywords:** Ecological restoration; Direct seeding; Soil fertility; Plant nutrition.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1-1 Atributos químicos (macronutrientes e acidez) do solo da área experimental coletado em duas profundidades antes da instalação do experimento. Legenda: pH: potencial hidrogeniônico; M.O.: Matéria orgânica do solo; P: Fósforo extraído por resina; Al <sup>3+</sup> : Alumínio; H+Al: Acidez tampão; K: Potássio; Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; SB: Soma de bases; CTC: Capacidade de troca catiônica; V: Saturação por bases. ....	16
Tabela 1-2 Teores de micronutrientes, enxofre e caracterização física (granulometria) do solo em diferentes camadas na área experimental. S: Enxofre; B: Boro; Cu: Cobre; Fe: Ferro; Mn: Manganês; Zn: Zinco.....	17
Tabela 1-3. Lista de espécies utilizadas no experimento com respectivos: número de sementes Kg <sup>-1</sup> (Sem Kg <sup>-1</sup> ), número de sementes por tratamento (Sem/Trat), tamanho da semente (Tam. Sem.) sendo extremamente pequenas (EP), pequenas (P), médias (M) e grandes (G), grupo ecológico (G.Eco.) sendo pioneira (P) e não pioneiras (NP), porcentagem de sobrevivência fornecida pela Rede de Sementes (% Sobr. Rede). ....	18
Tabela 1-4 Relação dos insumos utilizados, percentual de saturação (V %) e suas respectivas identificações como tratamentos no experimento desenvolvida no campo.....	22
Tabela 1-5 Quantidade de nutrientes nos insumos utilizados por metro linear no experimento. Não informado na embalagem (NI).....	22
Tabela 1-6 Características químicas do solo na profundidade 0-20 cm sob diferentes tratamentos, coletada aos 6 meses após a instalação do experimento Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Sidak ( $p \leq 0,05$ ). ....	26
Tabela 1-7 Características químicas do solo na profundidade 0-20 cm sob diferentes tratamentos coletada com 6 meses de experimento. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Sidak ( $p < 0,05$ ). ....	26
Tabela 1-8 Características químicas do solo na profundidade 20-40 cm sob diferentes tratamentos coletada com 6 meses de experimento. ....	27
Tabela 1-9 Características químicas do solo na profundidade 20-40 cm sob diferentes tratamentos, coletada com 6 meses de experimento. ....	27
Tabela 1-10 Características químicas do solo na profundidade 0-20 cm sob diferentes tratamentos coletada com 12 meses de experimento. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). ....	28

Tabela 1-11 Características químicas do solo na profundidade 0-20 cm sob diferentes tratamentos coletada com 12 meses de experimento. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Sidak ( $p < 0.05$ ). .....	29
Tabela 1-12 Características químicas do solo na profundidade 20-40 cm sob diferentes tratamentos coletada com 12 meses de experimento.....	30
Tabela 1-13 Características químicas do solo na profundidade 20-40 cm sob diferentes tratamentos coletada com 12 meses de experimento.....	30
Tabela 1-14 Resultado da dinâmica da presença e ausência dos indivíduos durante os dias de monitoramento na semeadura direta após a implantação. ....	31
Tabela 1-15 Parâmetros de germinação, sobrevivência, crescimento e atributos funcionais das espécies arbóreas aos 12 meses após a semeadura direta. Ind. = número total de indivíduos estabelecidos; Mort. = mortalidade acumulada; Ger. Lab. = germinação em laboratório sendo RE quando regenerantes; Emergência. = germinabilidade em campo sendo RE quando regenerantes; Alt. 12M = Média das alturas dos indivíduos aos 12 meses; DC 12M = média dos diâmetros do colo aos 12 meses; Tam. Sem. = tamanho da semente (EP = extremamente pequena; P = pequena; M = média; G = grande); G. Eco. = grupo ecológico (P = pioneira; NP = não pioneira; NI = não identificada). ....	33
Tabela 1-16 Tabela fitossociológica geral da área experimental no 12º mês de monitoramento. Ranqueamento organizado para as espécies de maior IVI. DeR = Densidade Relativa; DoR = Dominância Relativa; FrA = Frequência Absoluta; FrR = Frequência Relativa; IVI = Índice de Valor de Importância; VI (%) = Valor de Importância percentual; IVC = Índice de Valor de Cobertura; VC (%) = Valor de Cobertura percentual.....	36
Tabela 1-17 Resultados médios aos 360 dias da estrutura da comunidade vegetal e grupos funcionais ecológicos em função dos níveis de calagem e dos tipos de insumos aplicados. Ind. = número total de indivíduos; Espécies = riqueza de espécies; Emerg. (%) = porcentagem de emergência; Mort. (n) = número de indivíduos mortos; NP = espécies não pioneiras; P = espécies pioneiras; EP = espécies de sementes extremamente pequenas; M = espécies de sementes médias; G = espécies de sementes grandes. Diferenças significativas indicadas pela ANOVA não foram confirmadas nas comparações múltiplas (Sidak, $p > 0,05$ ). ....	38
Tabela 1-18 Valores médios de altura das plantas (cm) em função de diferentes níveis de calagem e fontes de adubação, avaliados em intervalos de 30 a 210 dias após o plantio. ....	39
Tabela 1-19 Valores médios de altura da planta (cm) e diâmetro do colo (mm) em função de diferentes níveis de calagem e fontes de adubação, avaliados em intervalos de 270 e 360 dias após o plantio. Alt.= Altura; DC. = Diâmetro do colo. ....	40

Tabela 2-1 Atributos químicos (macronutrientes e acidez) do solo da unidade experimental antes da instalação do experimento. Legenda: pH: potencial hidrogeniônico; M.O.: Matéria orgânica do solo; P: Fósforo extraído por resina; Al <sup>3+</sup> : Alumínio; H+Al: Acidez tampão; K: Potássio; Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; SB: Soma de bases; CTC: Capacidade de troca catiônica; V: Saturação por bases. Unidades de Al <sup>3+</sup> , H+Al, K, Ca, Mg, SB e CTC expressas em mmol/dm <sup>3</sup> .....	60
Tabela 2-2 Teores de micronutrientes, enxofre e caracterização física (granulometria) do solo da unidade experimental antes da instalação do experimento. S: Enxofre; B: Boro; Cu: Cobre; Fe: Ferro; Mn: Manganês; Zn: Zinco. Teores de micronutrientes e S expressos em mg/dm <sup>3</sup> . Atributos físicos (Areia, Silte e Argila) expressos em %.....	61
Tabela 2-3 Detalhamento das espécies utilizadas no experimento com dados de número de sementes/KG (Sem/Kg), número de sementes por tratamento(Sem/Trat), Tamanho da semente (Tam. Sem.), Grupo ecológico (G.Eco.), % de sobrevivência rede (% Sobr. Rede) e germinação laboratório (% Germ.Lab.). .....	62
Tabela 2-4 Relação dos insumos utilizados, percentual de saturação (V %) e suas respectivas identificações como tratamentos no experimento desenvolvida na casa de vegetação.....	65
Tabela 2-5 Quantidade de nutrientes nos insumos utilizados no experimento.....	66
Tabela 2-6 Características químicas do solo na profundidade 0-20 cm sob diferentes tratamentos coletada com 90 dias após a instalação do experimento. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Sidak (p<0.05).....	70
Tabela 2-7 Características químicas do solo na profundidade 0-20 cm sob diferentes tratamentos coletada com 90 dias do experimento. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Sidak (p<0.05).....	71
Tabela 2-8 Características químicas do solo na profundidade 0-20 cm sob diferentes tratamentos coletada com 180 dias do experimento. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Sidak (p<0.05).....	72
Tabela 2-9 Características químicas do solo na profundidade 0-20 cm sob diferentes tratamentos coletada com 180 dias do experimento. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (p<0.05).....	72
Tabela 2-10 Características químicas do solo na profundidade 0-20 cm sob diferentes tratamentos coletada com 270 dias do experimento. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (p<0.05). .....	73

Tabela 2-11 Características químicas do solo na profundidade 0-20 cm sob diferentes tratamentos coletada com 270 dias do experimento. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ( $p < 0.05$ ) .....	74
Tabela 2-12 Resultado da dinâmica da presença e ausência dos indivíduos durante os dias de monitoramento na casa de vegetação. ....	75
Tabela 2-13 Parâmetros de germinação, sobrevivência, crescimento e atributos funcionais das espécies arbóreas aos após a semeadura direta. Ind. = número total de indivíduos estabelecidos; Mort. = mortalidade acumulada; Ger. Lab. = germinação em laboratório; Emerg. = emergência em casa de vegetação; DC = diâmetros do colo; Tam. Sem. = tamanho da semente (EP = extremamente pequena; P = pequena; M = média; G = grande); G. Eco. = grupo ecológico (P = pioneira; NP = não pioneira; NI = não identificada). ....	76
Tabela 2-14 Resultados médios dos parâmetros de desenvolvimento geral das espécies nos tratamentos na casa de vegetação. Legenda: Altura final (Alt.). Número de indivíduos (Ind.). Número de folhas (Folhas). Diâmetro do colo (DC). Peso fresco (PF). Peso seco (PS). Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente entre si pelo teste de Sidak ( $p < 0,05$ ). ....	77
Tabela 2-15 Número de indivíduos por espécie nos tratamentos em casa de vegetação. Legenda: Annona (ANCA). Araçá (PCAT). Aroeira (SCTE). Capororoca (MYCO). Caquera (SEMU). Guapuruvu (SCPA). Ipê amarelo (HACH). Ipê roxo (HAIM). Jatobá (HYCO). Maricá (MIBI). Pau viola (CIMY). Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente entre si pelo teste de Sidak ( $p < 0,05$ ). ....	78
Tabela 2-16 Desempenho médio da espécie <i>Schizolobium parahyba</i> (guapuruvu) após 90 dias de monitoramento em casa de vegetação. Legenda: peso fresco (PF), peso seco (PS), diâmetro do colo (DC), número de folhas (Folhas) e altura (Alt. cm) nos monitoramentos em 30, 60 e 90 dias. ....	81
Tabela 2-17 Desempenho médio da espécie <i>Mimosa bimucronata</i> (maricá) após 120 dias de monitoramento em casa de vegetação. Legenda: peso fresco (PF), peso seco (PS), diâmetro do colo (DC) e altura (Alt. cm) nos monitoramentos em 30, 60, 90 e 120 dias. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente entre si pelo teste de Sidak ( $p < 0,05$ ). ....	82
Tabela 2-18 Teores de macro e micronutrientes foliares de <i>Mimosa bimucronata</i> (maricá) no quarto mês de monitoramento em casa de vegetação, sob diferentes níveis de calagem e insumos. Unidades de N, P, K, Ca, Mg e S expressas em $g\ kg^{-1}$ ; B, Cu, Fe, Mn e Zn em $mg\ kg^{-1}$ . Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente entre si pelo teste de Sidak ( $p < 0,05$ ). ....	82

Tabela 2-19 Conteúdo de macro e micronutrientes foliares de <i>Mimosa bimucronata</i> (maricá) aos 120 dias de monitoramento em casa de vegetação sob diferentes níveis de calagem e insumos. O conteúdo foi calculado a partir do produto entre o teor foliar e a massa seca da planta. Macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) expressos em g planta <sup>-1</sup> e micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn) em mg planta <sup>-1</sup> . Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Sidak (p < 0,05). .....	83
Tabela 2-20 Desempenho médio de <i>Senna multijuga</i> (caquera) ao longo de cinco meses de monitoramento em casa de vegetação. PF = peso fresco da parte aérea (g planta <sup>-1</sup> ); PS = peso seco da parte aérea (g planta <sup>-1</sup> ); DC = diâmetro do colo (mm); Folhas = número de folhas por indivíduo; Altura (Alt. cm) nos monitoramentos em 30, 60, 90, 120 e 150 dias após a semeadura. Médias seguidas por letras distintas na mesma coluna diferem entre si pelo teste de Sidak (p < 0,05). .....	84
Tabela 2-21 Desempenho médio do <i>Citharexylum myrianthum</i> (pau-viola) após seis meses de monitoramento em casa de vegetação. Legenda: peso fresco (PF), peso seco (PS), número de folhas (Folhas) e diâmetro do colo (DC). Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente entre si pelo teste de Sidak (p < 0,05). .....	84
Tabela 2-22 Crescimento em altura do pau-viola ( <i>Citharexylum myrianthum</i> ) ao longo dos meses de monitoramento em casa de vegetação. Legenda: altura (Alt cm) nos monitoramentos em 30, 60, 90, 120 e 180 dias. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente entre si pelo teste de Sidak (p < 0,05). .....	85
Tabela 2-23 Teores médios de macro e micronutrientes nas folhas de <i>Citharexylum myrianthum</i> (pau-viola) após seis meses de monitoramento em casa de vegetação, sob diferentes níveis de calagem e insumos. Unidades de N, P, K, Ca, Mg e S expressas em g kg <sup>-1</sup> ; B, Cu, Fe, Mn e Zn em mg kg <sup>-1</sup> . Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente entre si pelo teste de Sidak (p < 0,05). .....	85
Tabela 2-24 Conteúdo de macro e micronutrientes foliares do pau-viola ( <i>Citharexylum myrianthum</i> ), após seis meses de monitoramento em casa de vegetação, sob diferentes níveis de calagem e insumos. Os valores de conteúdo foram obtidos pelo produto entre o teor e a massa da matéria seca foliar. Unidades de N, P, K, Ca, Mg e S expressas em g planta <sup>-1</sup> ; B, Cu, Fe, Mn e Zn em mg planta <sup>-1</sup> . Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente entre si pelo teste de Sidak (p < 0,05). .....	86
Tabela 2-25 Desempenho médio da aroeira ( <i>Schinus terebinthifolia</i> ) após 210 dias de monitoramento em casa de vegetação. Legenda: peso fresco (PF), peso seco (PS), número de folhas (Folhas) e diâmetro do colo (DC). .....	87

Tabela 2-26 Crescimento em altura da aroeira ( <i>Schinus terebinthifolia</i> ) ao longo dos meses de monitoramento em casa de vegetação. Legenda: altura (Alt cm) nos monitoramentos em 30, 60, 90, 120, 180 e 210 dias. ....	87
Tabela 2-27 Desempenho médio do Jatobá ( <i>Hymenaea courbaril</i> ) após oito meses de monitoramento em casa de vegetação. Legenda: peso fresco (PF), peso seco (PS), número de folhas (Folhas) e diâmetro do colo (DC). ....	88
Tabela 2-28 Crescimento em altura do jatobá ( <i>Hymenaea courbaril</i> ) ao longo dos meses de monitoramento em casa de vegetação. Legenda: altura (Alt. cm) nos monitoramentos em 30, 60, 90, 120, 180, 210 e 240 dias. ....	88
Tabela 2-29 Teores médios de macro e micronutrientes nas folhas do jatobá ( <i>Hymenaea courbaril</i> ) após 240 dias de monitoramento em casa de vegetação, sob diferentes níveis de calagem e insumos. Legenda: N, P, K, Ca, Mg e S expressos em g kg <sup>-1</sup> de matéria seca; B, Cu, Fe, Mn e Zn expressos em mg kg <sup>-1</sup> de matéria seca. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente entre si pelo teste de Sidak (p < 0,05). ....	89
Tabela 2-30 Conteúdo de macro e micronutrientes foliares do jatobá ( <i>Hymenaea courbaril</i> ), após oito meses de monitoramento em casa de vegetação, sob diferentes níveis de calagem e insumos. Os valores de conteúdo foram obtidos pelo produto entre o teor e a massa da matéria seca foliar. Unidades de N, P, K, Ca, Mg e S expressas em g planta <sup>-1</sup> ; B, Cu, Fe, Mn e Zn em mg planta <sup>-1</sup> . Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente entre si pelo teste de Sidak (p < 0,05). ....	89
Tabela 2-31 Desempenho médio do araçá ( <i>Psidium cattleianum</i> ) após nove meses de monitoramento em casa de vegetação. Legenda: peso fresco (PF), peso seco (PS), número de folhas (Folhas) e diâmetro do colo (DC). Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente entre si (p < 0,05). ....	90
Tabela 2-32 Crescimento em altura do araçá ( <i>Psidium cattleianum</i> ) ao longo dos meses de monitoramento em casa de vegetação. Legenda: altura (Alt. cm) nos monitoramentos em 30, 60, 90, 120, 180, 210, 240 e 270 dias. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente entre si (p < 0,05). ....	91
Tabela 2-33 Teores médios de macro e micronutrientes nas folhas do araçá ( <i>Psidium cattleianum</i> ) após 270 dias de monitoramento em casa de vegetação, sob diferentes níveis de calagem e insumos. Legenda: N, P, K, Ca, Mg e S expressos em g kg <sup>-1</sup> de matéria seca; B, Cu, Fe, Mn e Zn expressos em mg kg <sup>-1</sup> de matéria seca. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente entre si pelo teste de Sidak (p < 0,05). ....	91

Tabela 2-34 Conteúdo de macro e micronutrientes foliares do araçá ( <i>Psidium cattleianum</i> ) após 270 dias de monitoramento em casa de vegetação, sob diferentes níveis de calagem e insumos. Os valores de conteúdo foram obtidos pelo produto entre o teor e a massa da matéria seca foliar. Unidades de N, P, K, Ca, Mg e S expressas em g planta <sup>-1</sup> ; B, Cu, Fe, Mn e Zn em mg planta <sup>-1</sup> . Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente entre si pelo teste de Sidak (p < 0,05). .....	92
Tabela 2-35 Desempenho médio do ipê-roxo ( <i>Handroanthus impetiginosus</i> ) após 270 dias de monitoramento em casa de vegetação. Legenda: peso fresco (PF), peso seco (PS), diâmetro do colo (DC) e número de folhas (Folhas). Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente entre si (p < 0,05). .....	92
Tabela 2-36 Crescimento em altura do ipê-roxo ( <i>Handroanthus impetiginosus</i> ) ao longo de nove meses de monitoramento em casa de vegetação. Legenda: altura (Alt. cm) nos monitoramentos em 30, 60, 90, 120, 180, 210, 240 e 270 dias. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente entre si (p < 0,05). .....	93
Tabela 2-37 Desempenho médio do ipê-amarelo ( <i>Handroanthus chrysotrichus</i> ) após nove meses de monitoramento em casa de vegetação. Legenda: peso fresco (PF), peso seco (PS), diâmetro do colo (DC) e número de folhas (Folhas). .....	94
Tabela 2-38 Crescimento em altura do ipê-amarelo ( <i>Handroanthus chrysotrichus</i> ) ao longo de nove meses de monitoramento em casa de vegetação. Legenda: altura (Alt. cm) nos monitoramentos em 30, 60, 90, 120, 180, 210, 240 e 270 dias. ....	94
Tabela 2-39 Desempenho médio da capororoca ( <i>Myrsine coriacea</i> ) após nove meses de monitoramento em casa de vegetação (quatro meses após a germinação). Legenda: peso fresco (PF), peso seco (PS), diâmetro do colo (DC) e número de folhas (Folhas). Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente entre si (p < 0,05). .....	94
Tabela 2-40 Crescimento em altura da capororoca ( <i>Myrsine coriacea</i> ) ao longo dos meses de monitoramento em casa de vegetação. Legenda: altura (Alt. cm) nos monitoramentos em 30, 60, 90, 120, 180, 210, 240 e 270 dias. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente entre si (p < 0,05). .....	95

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1-1 Localização geográfica da área de estudo. Mapas do Brasil, Estado de São Paulo com evidência para o município de Registro na região do Vale do Ribeira. Município de Registro e ponto no local do experimento. Destaque em vermelho para a área experimental em semeadura direta e os entornos. Fonte: Elaborado por Giglioti, M.S. (2026). ....	15
Figura 1-2 Caracterização climática mensal da área de estudo no período de março/2024 a março/2025. As colunas representam a precipitação acumulada (mm) e as linhas indicam as variações de temperatura (°C). ....	16
Figura 1-3 Linha do tempo das atividades de manejo, abrangendo o período de novembro de 2023 a novembro de 2024. A sequência detalha o preparo inicial do solo, a calagem e o plantio em março de 2024, seguidos pelas intervenções de manutenção (roçada, capina e controle químico). Fonte: Elaborados pelo autor, (2025).....	17
Figura 1-4 Sementes florestais selecionadas para o semeio direto nas linhas de plantio. Fonte: Elaborado pelo autor, (2025). ....	20
Figura 1-5 Representação esquemática do delineamento experimental e do arranjo espacial das espécies florestais nas parcelas submetidas a diferentes níveis de saturação por bases (V%) e insumos. ....	21
Figura 1-6 Evolução da semeadura direta demonstradas com a imagens de drone. Imagem A realizada em no início do experimento (março de 2024); imagem B realizada com 90 dias de instalação (maio de 2024); imagem C realizada com 360 dias após a instalação (março de 2025). Fonte Elaborado pelo autor, 2025) .....	32
Figura 1-8 Matrizes de correlação de Pearson entre atributos químicos do solo e indicadores de crescimento: altura média (A) e diâmetro médio do colo (B). O gradiente de cores indica a força da associação, evidenciando correlações positivas entre o crescimento e a fertilidade (Ca, SB, MO) e correlações negativas como o alumínio trocável (Al) e ferro (Fe).....	42
Figura 1-9 Coeficientes padronizados dos modelos de regressão múltipla selecionados pelo procedimento stepwise para o crescimento em altura (Média Altura) e para o diâmetro médio do colo (Média DC). Os pontos representam as estimativas dos coeficientes padronizados e as barras horizontais indicam os intervalos de confiança. ....	43
Figura 1-10 Ordenação multivariada por Análise de Componentes Principais (PCA). (A) Distribuição dos tratamentos nos dois primeiros eixos da PCA. (B) Projeção das espécies como variáveis suplementares, indicando sua associação aos gradientes de fertilidade. (C) Vetores	

das variáveis ambientais, funcionais e de desempenho das plantas utilizadas como variáveis ativas na construção dos eixos.....	44
Figura 2-1 Gráfico mostrando a quantidade de irrigação (mm) e as temperaturas máximas e mínimas (°C) durante o período de estudo (março a dezembro).....	59
Figura 2-2 Local de coleta do solo para instalação de experimento em casa de vegetação. (A). Visão geral do local de coleta (B). Foco do corte e horizontes (C). Solo degradado (D). Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.....	60
Figura 2-3 Instalação do experimento, incorporação da calagem, insumos, sementes, sulco de semeadura e início da emergência das sementes em casa de vegetação (Fonte: Elaborado pelo autor, 2024).....	63
Figura 2-4 Croqui do experimento instalado na casa de vegetação. Distribuição dos tratamentos e espaçamento das linhas de sementes e insumos. ....	64
Figura 2-5 Etapas da condução experimental e dos procedimentos de coleta e preparo das amostras vegetais e de solo. (A) Espécies arbóreas ultrapassando a régua de madeira de 1 m. (B) Indivíduos com altura próxima a 1 m. (C) Referência da altura da espécie caquera. (D) Amostra de solo retirada das unidades experimentais para análise química. (E) Biomassa do guapuruvu recém-coletada. (F) Pesagem da biomassa fresca de maricá. (G) Amostras de guapuruvu após secagem e separação da fração foliar destinada às análises químicas do tecido vegetal.....	68
Figura 2-6 Registro fotográfico do desenvolvimento vegetativo das espécies ao longo de 270 dias sob diferentes tratamentos de calagem e aplicação de insumos. As imagens foram obtidas a aproximadamente 60 cm de altura, considerando o indivíduo com maior ápice foliar em cada unidade experimental. As colunas representam os tempos de avaliação (90, 120, 150, 180, 210, 240 e 270 dias após o plantio), enquanto as linhas correspondem aos tratamentos experimentais, combinando diferentes doses de calcário (V3, V25 e V50) com ausência de insumo, fertilização mineral (NPK) ou insumo orgânico (ORG). ....	76
Figura 2-7 Ordenação por PCA das unidades experimentais, integrando atributos do solo e variáveis de crescimento. Setas pretas representam variáveis explicativas e setas azuis indicam a projeção de valores de peso seco das espécies (suplementares). Cores indicam os insumos (NPK, ORG e S_ins) e símbolos os níveis de calagem (V25, V35 e V50). Elipses representam a dispersão dos tratamentos. Legenda: N_spp = número de espécies; Altura = altura; Folhas = número de folhas; DC = diâmetro do colo; PF = massa fresca; PS = massa seca; pH = potencial hidrogeniônico; MO = matéria orgânica; P = fósforo; Al = alumínio; H+Al = acidez potencial;	

K = potássio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; SB = soma de bases; CTC = capacidade de troca catiônica; V = saturação por bases; S = enxofre; B = boro. .... 79

Figura 2-8 Eficiência de uso de nutrientes (EUN; média  $\pm$  desvio-padrão) expressa em g MS  $\text{mg}^{-1}$  para macro e micronutrientes em quatro espécies arbóreas nativas estabelecidas por semeadura direta sob diferentes gradientes de fertilidade do solo. Barras de erro indicam o desvio-padrão entre tratamentos. .... 97

1	Sumário	
1	Sumário .....	1
2	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	3
3	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	7
1	<b>Variação das condições de fertilidade do solo e desempenho inicial de espécies nativas sob semeadura direta em solos degradados.</b> .....	11
1.1	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	11
1.2	<b>OBJETIVO</b> .....	14
1.3	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	15
1.3.1	Área experimental .....	15
1.3.2	Seleção das espécies e implantação da semeadura direta .....	17
1.3.3	Delineamento e tratamentos .....	20
1.3.4	Amostragem e análise do solo .....	23
1.3.5	Monitoramento do desenvolvimento das espécies .....	23
1.3.6	Análise dos dados .....	23
1.4	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	25
1.4.1	Reação do solo após calagem e aplicação de insumos .....	25
1.4.2	Desempenho geral da restauração por semeadura direta .....	31
1.4.3	Desempenho por tratamentos da restauração por semeadura direta .....	37
1.4.4	Análises múltiplas .....	41
1.5	<b>CONSIDERAÇÕES GERAIS</b> .....	46
1.6	<b>CONCLUSÕES</b> .....	48
1.7	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	49
1.8	<b>APÊNDICE</b> .....	54
2	<b>Desempenho e plasticidade funcional de espécies nativas sob semeadura direta em solos degradados ao longo de gradientes de fertilidade (condições controladas).</b> .....	55
2.1	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	55
2.2	<b>OBJETIVO</b> .....	58
2.3	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	59
2.3.1	Área experimental .....	59
2.3.2	Escolha das espécies .....	61
2.3.3	Delineamento e tratamentos .....	63
2.3.4	Análise química do solo .....	66
2.3.5	Análise química do tecido vegetal .....	66
2.3.6	Conteúdo e Eficiência de Uso de Nutrientes (EUN) .....	67
2.3.7	Monitoramento do desenvolvimento das espécies .....	67

2.3.8	Análise dos dados .....	68
<b>2.4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>70</b>
2.4.1	Reação do solo após calagem e aplicação de insumos .....	70
2.3.9	Desempenho total das espécies conduzidas em casa de vegetação .....	75
2.3.10	Desempenho das espécies entre os tratamentos .....	81
2.3.11	Eficiência do uso de nutrientes (EUN).....	96
<b>2.4</b>	<b>CONSIDERAÇÕES GERAIS .....</b>	<b>100</b>
<b>2.5</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>101</b>
<b>2.6</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>102</b>
<b>2.7</b>	<b>APÊNDICE .....</b>	<b>107</b>

## 2 INTRODUÇÃO

A intensificação da degradação ambiental, associada à perda de cobertura vegetal nativa e às mudanças climáticas, ampliou a demanda por estratégias eficazes de restauração florestal. Nesse cenário, o Brasil assumiu o compromisso de restaurar 12 milhões de hectares até 2030 (Brasil, 2017). A restauração ecológica no país tem avançado, especialmente na Mata Atlântica, bioma de alta relevância ecológica e historicamente degradado, com estudos que incorporam critérios de avaliação baseados em atributos físicos, estruturais e funcionais dos ecossistemas em restauração (Oliveira; Engel, 2017), em consonância com compromissos globais de conservação e mitigação das mudanças climáticas (Adams *et al.*, 2021).

Conceitualmente, a restauração ecológica visa restabelecer a composição, a estrutura e as funções de ecossistemas degradados, promovendo sua autorregulação e desenvolvimento autossustentável (Society For Ecological Restoration [SER], 2004), além de ampliar a resiliência ecológica e recuperar funções ecossistêmicas essenciais, como ciclagem de nutrientes, conservação do solo e regulação hidrológica (Wortley; Hero; Howes, 2013).

As técnicas de restauração evoluíram no sentido de seguir os processos naturais de sucessão e promover a recuperação de processos ecológicos (Durigan; Engel, 2012; Klippel *et al.*, 2016; SER, 2004), sendo aplicadas em diferentes modelos, como regeneração natural, plantio de mudas, plantios adensados, semeadura direta, sistemas agroflorestais e nucleação (Rodrigues; Giuliatti; Júnior, 2020). Em conjunto, essas estratégias incorporam princípios voltados ao aumento da riqueza de espécies, à inclusão de diferentes grupos funcionais e à heterogeneidade espacial da vegetação.

Entre essas abordagens, a semeadura direta destaca-se como alternativa de baixo custo operacional e maior eficiência logística em relação ao plantio de mudas, por eliminar etapas de produção em viveiro, transporte e plantio, o que amplia sua viabilidade em projetos de restauração em larga escala (Ceccon; Gonzáles; Martorell, 2016; Guerin *et al.*, 2015; Baskin; Baskin, 2020). Apesar de taxas iniciais de emergência frequentemente baixas, estudos em diferentes formações florestais indicam desempenho compatível ou superior ao de outras abordagens quando a técnica é adequadamente manejada, com registro de densidades elevadas de indivíduos nos primeiros anos, sugerindo trajetórias iniciais de restauração coerentes com os objetivos ecológicos (Isernhagen, 2010; Aguirre *et al.*, 2015; Campos-Filho *et al.*, 2013; Freitas *et al.*, 2019).

No contexto da Mata Atlântica, embora o plantio de mudas ainda predomine (Oliveira; Engel, 2017) e a regeneração natural possa ser limitada em áreas fortemente degradadas,

sobretudo sob histórico agrícola (Filho *et al.*, 2021), a semeadura direta é uma alternativa de baixo custo, capaz de promover maior densidade inicial e cobertura do solo, ainda que o estabelecimento de plântulas permaneça um gargalo relevante (Rodrigues; Giuliatti; Júnior, 2020).

A condição inicial do solo e seu manejo, tem impacto no sucesso da restauração por semeadura direta, uma vez que a supressão da cobertura vegetal e o uso agrícola intensivo comprometem a qualidade edáfica, com redução da fertilidade, alterações químicas e degradação estrutural (Portugal *et al.*, 2010; Freitas *et al.*, 2015). A fase inicial após a semeadura constitui um período crítico para o estabelecimento das espécies e para o sucesso da restauração em médio e longo prazo (Santos *et al.*, 2000; Piotrowski, *et al.* 2023), sendo influenciada pela disponibilidade de nutrientes e pela competição com plantas invasoras.

Nesse contexto, grande parte das áreas destinadas à recuperação florestal corresponde a solos degradados e de baixa aptidão agrícola, estima-se que bilhões de hectares no mundo sejam afetados por diferentes formas de degradação do solo (Dagar; Gupta, 2016). Entre os processos mais severos destaca-se a erosão hídrica associada à formação de ravinas e voçorocas, que removem grandes volumes de solo e alteram profundamente suas propriedades físicas e químicas, frequentemente inviabilizando o estabelecimento da vegetação sem intervenções de recuperação (Poesen *et al.*, 2003). A remoção da camada superficial do solo reduz significativamente a fertilidade e a capacidade de retenção de água, dificultando o estabelecimento das plantas e intensificando os processos de degradação ambiental (Guerra *et al.*, 2017).

Embora a restauração ecológica seja frequentemente associada à recomposição da cobertura florestal, o solo desempenha papel importante nesse processo, suas propriedades físicas, químicas e biológicas regulam a disponibilidade de água e nutrientes, influenciando diretamente o estabelecimento e o crescimento das plantas (Adhikari; Hartemink, 2016). Além disso, solo e vegetação mantêm interações dinâmicas, nas quais as condições edáficas condicionam o desempenho das espécies, enquanto o desenvolvimento da vegetação modifica progressivamente o solo por meio da deposição de serrapilheira, da atividade radicular e do estímulo à atividade microbiana (Van Der Putten *et al.*, 2013).

Apesar dessa importância, o papel do solo ainda é frequentemente subestimado em projetos de restauração, estudos indicam que menos da metade das iniciativas de restauração florestal incluem análises de atributos edáficos em seus programas de monitoramento, evidenciando uma lacuna significativa na compreensão das interações entre solo e vegetação

(Mendes et al., 2019). Nesse contexto, a avaliação da fertilidade em áreas degradadas deve se basear em análises químicas detalhadas, capazes de subsidiar estratégias de correção e adubação (Suzuki et al., 2023; Francisco et al., 2024) e de fornecer indicativos sobre a capacidade do solo de sustentar a vegetação nativa e sua resiliência frente às práticas de manejo (Skorupa et al., 2012).

A fertilidade do solo constitui um determinante central para a sobrevivência e o crescimento das plantas, uma vez que condições químicas favoráveis, como pH adequado e disponibilidade de nutrientes, aumentam a probabilidade de sucesso da regeneração vegetal (Rocha *et al.*, 2018; Tavares *et al.*, 2019). Abordagens multivariadas têm se mostrado úteis para classificar espécies segundo seus requisitos edáficos, evidenciando preferências por determinadas condições físicas e químicas do solo (Tavares et al., 2019).

Em sistemas de semeadura direta, os efeitos da fertilização são ambíguos: embora a adubação possa estimular o crescimento vegetal, o aumento da fertilidade pode favorecer espécies exóticas e plantas daninhas, intensificando a competição e comprometendo o estabelecimento das espécies nativas (Douglas; Dodd; Ian, 2007; Silva et al., 2015). Em áreas com histórico de uso com fertilidade residual pode ser suficiente, tornando, em alguns casos, dispensável a fertilização adicional (Sparling; Schipper, 2004).

A correção do solo e a adubação configuram práticas relevantes no manejo de áreas degradadas, embora suas respostas sejam fortemente dependentes da espécie e do contexto do uso do solo. A calagem, ao elevar o pH e reduzir a atividade de  $Al^{3+}$  na solução do solo, pode promover benefícios indiretos associados ao aumento da disponibilidade de nutrientes (Fonseca *et al.*, 2010; Oliveira *et al.*, 2018), com respostas positivas registradas para diferentes espécies florestais (Freitas *et al.*, 2017; Scheer *et al.*, 2017). A interação entre calagem e adubação tende a potencializar os efeitos sobre o crescimento inicial, sobretudo em solos de baixa fertilidade (Ros *et al.*, 2019; Silva *et al.*, 2011), com evidências de respostas positivas ao uso combinado de insumos orgânicos e minerais em múltiplas espécies (Cunha et al., 2006; Oliveira *et al.*, 2017; Silva et al., 2021; Souza; Peres, 2016).

Aubos orgânicos de liberação gradual e fertilizantes minerais formulados (NPK) promovem alterações nas condições químicas do solo que podem aumentar a eficiência no uso de nutrientes e o desempenho fotossintético, refletindo-se em maiores taxas de crescimento e acúmulo de biomassa (Souza *et al.*, 2006; Jaquetti *et al.*, 2016). Essas respostas são moduladas por diferenças interespecíficas e pela plasticidade funcional, exigindo estratégias de fertilização ajustadas às demandas nutricionais das espécies utilizadas (Fonseca et al., 2010; Scalon *et al.*,

2011). Apesar disso, ainda são escassos os experimentos que avaliam sistematicamente os efeitos da fertilização química e orgânica em espécies florestais estabelecidas por semeadura direta, havendo evidências de ganhos em sobrevivência e biomassa, mas também riscos associados ao manejo nutricional inadequado, o que reforça a necessidade de avaliação prévia das exigências nutricionais das espécies (Ferreira, 2024).

Nesse contexto, a correção do solo, a fertilização e o conhecimento da nutrição mineral, quando integrados a práticas de monitoramento e a métodos não destrutivos, constituem ferramentas estratégicas para a melhoria da saúde do solo, do crescimento inicial e do estabelecimento de florestas nativas ao longo do tempo. Assim, o objetivo foi de investigar a influência da fertilidade do solo no desenvolvimento, no crescimento e na nutrição de espécies florestais em sistemas de restauração por semeadura direta, considerando o manejo edáfico como componente central para o sucesso da técnica.

O Capítulo 1 analisa o desempenho da semeadura direta sob diferentes manejos edáficos em condições de campo avaliando os efeitos da calagem e da aplicação de fertilizantes minerais e orgânicos sobre os atributos químicos do solo, a estrutura da comunidade vegetal e a trajetória inicial de recuperação florestal, expressa pela organização vertical e horizontal da vegetação em solo com histórico de abandono e abundância de gramíneas.

O Capítulo 2 aprofunda o recorte experimental em solo sem matéria orgânica e altamente degradado sob ambiente controlado, avaliando a resposta nutricional e o desempenho de 13 espécies florestais submetidas a diferentes estratégias de manejos da fertilidade, incluindo produção de biomassa, densidade de indivíduos, expressão de traços funcionais aquisitivos e conservativos e respostas na nutrição foliar.

Com isso, a compreensão integrada do papel dos atributos edáficos, do manejo da fertilidade e das respostas silviculturais e funcionais das espécies fornece subsídios para o aprimoramento do manejo da semeadura direta e para o aumento da eficiência ecológica e operacional de projetos de restauração florestal em contextos de degradação edáfica contrastantes.

### 3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adams, C. et al. Governança da restauração florestal da paisagem no Brasil: desafios e oportunidades. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, v. 58, p. 450–473, 2021.

Adhikari, K.; Hartemink, A. E. Linking soils to ecosystem services: a global review. *Geoderma*, v. 262, p. 101–111, 2016.

Aguirre, G. A. et al. Potencial da semeadura direta na restauração florestal de pastagem abandonada no município de Piracaia, SP, Brasil. *Hoehnea*, v. 42, n. 4, p. 629–640, 2015.

Baskin, C. C.; Baskin, J. M. Breaking seed dormancy during dry storage: a useful tool or major problem for successful restoration via direct seeding? *Plants*, v. 9, p. 636, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants9050636>.

Brasil. Decreto nº 8.972, de 23 de janeiro de 2017. Institui a Política Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa e o Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa – PLANAVEG. *Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 24 jan. 2017*. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2015-2018/2017/decreto/d8972.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/decreto/d8972.htm). Acesso em: 10 fev. 2024.

Campos-Filho, E. M. et al. Mechanized direct seeding of native forests in Xingu, Central Brazil. *Journal of Sustainable Forestry*, v. 32, p. 702–727, 2013.

Ceccon, E.; González, E. J.; Martorell, C. Is direct seeding a biologically viable strategy for restoring forest ecosystems? Evidences from a meta-analysis. *Land Degradation & Development*, v. 27, p. 511–520, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1002/ldr.2421>.

Cunha, A. D. M. et al. Efeito de diferentes substratos sobre o desenvolvimento de mudas de *Acacia* sp. *Revista Árvore*, v. 30, p. 207–214, 2006.

Dagar, J. C.; Gupta, S. R. Agroforestry: potentials for rehabilitation of degraded lands, constraints and the way forward. In: DAGAR, J. C.; TEWARI, J. C. (ed.). *Agroforestry research developments*. New York: Nova Science Publishers, 2016. p. 47–97.

Douglas, G. B.; Dodd, M. B.; IAN, L. Potential of direct seeding for establishing native plants into pastoral land in New Zealand. *New Zealand Journal of Ecology*, v. 31, n. 2, p. 143–153, 2007.

Durigan, G.; Engel, V. L. Restauração de ecossistemas no Brasil: onde estamos e para onde podemos ir? In: MARTINS, S. V. (org.). *Restauração ecológica de ecossistemas degradados*. Viçosa: Editora UFV, 2012. p. 1–23.

- Ferreira, M. C. Ecologia de sementes e plântulas aplicada à restauração por semeadura direta no Brasil. 2024. Tese (Doutorado em Ecologia) – Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2024.
- Filho, L. F. S. et al. Natural regeneration or active restoration? Assessing the potential for forest recovery in highly degraded landscapes. *Forest Ecology and Management*, v. 482, p. 118855, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118855>.
- Fonseca, M. B. et al. Crescimento inicial de *Dimorphandra wilsonii* em diferentes condições de fertilidade em solo de cerrado. *Acta Botanica Brasilica*, v. 24, p. 322–327, 2010.
- Francisco, H. et al. Índice de fertilidade natural da camada superficial dos solos do Estado da Paraíba modelado através de geotecnologias. *Revista GeoUECE*, v. 13, n. 24, 2024. DOI: <https://doi.org/10.59040/geouece.2317-028x.v13.n24.e202401>.
- Freitas, L. et al. Atributos químicos de Latossolo Vermelho submetido a diferentes manejos. *Floresta*, v. 45, n. 2, p. 229–240, 2015.
- Freitas, L. et al. Crescimento e qualidade de mudas de *Cassia grandis* em resposta à adubação fosfatada e calagem. *Ciência Florestal*, 2017. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509827732>.
- Freitas, M. G. et al. Evaluating the success of direct seeding for tropical forest restoration for over ten years. *Forest Ecology and Management*, v. 438, p. 224–232, 2019.
- Guerra, A. J. T. et al. *Erosão e degradação dos solos no Brasil*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2017.
- Guerin, N. et al. Avanços e próximos desafios da semeadura direta para restauração ecológica. In: MARTINS, S. V. (org.). *Restauração ecológica de ecossistemas degradados*. 2. ed. Viçosa: Editora UFV, 2015. p. 331–376.
- Isernhagen, I. Uso de semeadura direta de espécies arbóreas nativas para restauração florestal de áreas agrícolas no sudeste do Brasil. 2010. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.
- Jaquetti, R. et al. Ecofunctional traits and biomass production in leguminous tree species under fertilization treatments during forest restoration in Amazonia. *Forests*, v. 7, p. 76, 2016. DOI: <https://doi.org/10.3390/f7040076>.
- Klippel, V. H. et al. Acúmulo de serapilheira e nutrientes em área com diferentes metodologias de restauração florestal. *Comunicata Scientiae*, v. 7, n. 2, p. 241–250, 2016.
- Mendes, M. S. et al. The need to include soil data in Atlantic Forest restoration monitoring. *Restoration Ecology*, v. 27, p. 361–370, 2019.

- Oliveira, E. C. et al. Mudanças de *Tectona grandis* produzidas em diferentes níveis de saturação por bases do solo. *Revista de Agricultura Neotropical*, 2018. DOI: <https://doi.org/10.32404/rean.v5i2.2234>.
- Oliveira, E. C. et al. Taxas de crescimento de mudas de *Erythrina velutina* produzidas em substratos orgânicos-minerais. *Natureza e Conservação*, 2017. DOI: <https://doi.org/10.6008/spc2318-2881.2017.001.0002>.
- Oliveira, R. E.; Engel, V. L. A restauração florestal na Mata Atlântica: três décadas em revisão. *Revista Ciência, Tecnologia & Ambiente*, v. 5, n. 1, p. 40–48, 2017.
- Piotrowski, I. et al. Seeds' early traits as predictors of performance in direct seeding restoration. *Forests*, v. 14, n. 3, p. 547, 2023.
- Poesen, J. et al. Gully erosion and environmental change: importance and research needs. *Catena*, v. 50, p. 91–133, 2003.
- Portugal, A. F. et al. Propriedades físicas e químicas do solo em áreas com sistemas produtivos e mata na região da Zona da Mata mineira. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 34, n. 2, p. 575–585, 2010.
- Rocha, J. C. et al. Atributos de fertilidade dos solos às margens do Rio Paraguai, Pantanal de Cáceres/MT. *Revista Ibero-americana de Ciências Ambientais*, v. 9, n. 4, p. 8–14, 2018. DOI: <https://doi.org/10.6008/cbpc2179-6858.2018.004.0008>.
- Rodrigues, A. B. M.; Giuliatti, N. M.; Júnior, A. P. Aplicação de metodologias de recuperação de áreas degradadas nos biomas brasileiros. *Brazilian Applied Science Review*, v. 4, n. 1, p. 333–369, 2020. DOI: <https://doi.org/10.34115/basrv4n1-021>.
- Ros, C. O. et al. Efeito da calagem e da adubação fosfatada no crescimento inicial e na nutrição das plantas de *Khaya ivorensis*. *Scientia Forestalis*, 2019. DOI: <https://doi.org/10.18671/scifor.v47n123.05>.
- Santos, J. A. et al. Variabilidade espacial do banco de sementes em área de Caatinga no Nordeste do Brasil. *Ciência Florestal*, v. 30, n. 1, p. 39–48, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509840039>.
- Scalon, S. D. P. Q. et al. Germinação e crescimento de *Caesalpinia ferrea* em diferentes substratos. *Revista Árvore*, v. 35, p. 633–639, 2011.
- Scheer, M. B. et al. Crescimento inicial de quatro espécies florestais nativas em área degradada com diferentes níveis de calagem e adubação. *Floresta*, 2017. DOI: <https://doi.org/10.5380/uf.v47i3.41973>.
- Silva, A. R. et al. Calagem e adubação fosfatada para a produção de mudas de *Swietenia macrophylla*. *Floresta*, 2011. DOI: <https://doi.org/10.5380/uf.v41i3.23992>.

- Silva, M. A. et al. Déficits hídricos e doses de adubo orgânico no desenvolvimento de plantas jovens de andiroba. *Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento*, 2021. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i12.20770>.
- Silva, R. R. P. et al. Direct seeding of Brazilian savanna trees: effects of plant cover and fertilization on seedling establishment and growth. *Restoration Ecology*, v. 23, p. 393–401, 2015.
- Society For Ecological Restoration. *The SER primer on ecological restoration. Version 2*. Tucson: SER International, 2004.
- Souza, C. A. M. et al. Crescimento em campo de espécies florestais em diferentes condições de adubações. *Ciência Florestal*, v. 16, n. 3, p. 243–249, 2006.
- Souza, L. R.; PERES, F. S. B. Uso de biofertilizantes à base de aminoácidos na produção de mudas de *Eucalyptus dunnii*. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 2016. DOI: <https://doi.org/10.4336/2016.pfb.36.87.1127>.
- Sparling, G.; Schipper, L. Soil quality monitoring in New Zealand: trends and issues arising from a broad-scale survey. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 104, p. 545–552, 2004.
- Suzuki, M. et al. Variação da fertilidade do solo em diferentes posições de amostragem de um pomar de pessegueiro irrigado. *Desafios: Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins*, 2023. DOI: [https://doi.org/10.20873/v2n1\\_2023\\_3](https://doi.org/10.20873/v2n1_2023_3).
- Tavares, P. D. et al. Análise multivariada de espécies florestais nativas em relação aos atributos químicos e texturais do solo na região de Cotriguaçu – MT. *Ciência Florestal*, v. 29, n. 3, p. 577–588, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5902/198050983577>.
- Wortley, L.; Hero, J.-M.; Howes, M. Evaluating ecological restoration success: a review of the literature. *Restoration Ecology*, v. 21, n. 5, p. 537–543, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1111/rec.12028>. 2013.
- Van Der Putten, W. H. et al. Plant–soil feedbacks: the past, the present and future challenges. *Journal of Ecology*, v. 101, p. 265–276, 2013.

# **1 Variação das condições de fertilidade do solo e desempenho inicial de espécies nativas sob semeadura direta em solos degradados.**

## **1.1 INTRODUÇÃO**

A restauração ecológica na Mata Atlântica consolidou-se nas últimas décadas, impulsionada pela adequação legal e pela urgência em garantir serviços ecossistêmicos, como a proteção de mananciais e do solo. Embora o plantio de mudas permaneça, observa-se uma transição para abordagens mais multidisciplinares, que integram componentes sociais às dimensões ecológicas da restauração (Oliveira; Engel, 2017). Um exemplo dessa integração é a atuação da Rede de Sementes do Vale do Ribeira, coordenada pelo Instituto Socioambiental (ISA) em Eldorado/SP, que articula coletores quilombolas para o fornecimento de sementes nativas, fortalecendo a cadeia produtiva da restauração (Magdalena, 2022).

A seleção de espécies na restauração por semeadura direta ainda é majoritariamente orientada por critérios logísticos, com baixa incorporação de atributos funcionais, pouca frequência de testes de qualidade das sementes e recorrente ausência de rastreabilidade da procedência, o que compromete a diversidade genética e a resiliência dos projetos (Inocente et al., 2025). Nesse contexto, a própria Rede fomentou a avaliação de novas espécies com maior capacidade de estabelecimento em campo, evidenciando a necessidade de testes prévios de aptidão.

A semeadura direta configura-se como alternativa de baixo custo e com potencial para promover maior densidade inicial e cobertura do solo, embora o estabelecimento de plântulas permaneça um gargalo relevante (Rodrigues; Giuliatti; Júnior, 2020). Um fator importante para o sucesso dessa técnica, é o manejo do solo, uma vez que a supressão da cobertura vegetal e o uso agrícola intensivo comprometem a qualidade edáfica, reduzindo a fertilidade e degradando atributos químicos e estruturais (Portugal et al., 2010; Freitas et al., 2015). Assim, a degradação do solo constitui um desafio operacional crítico, frequentemente subestimado em projetos de restauração na Mata Atlântica, e a escassez de dados edáficos detalhados limita a compreensão de como propriedades físicas e químicas modulam o recrutamento vegetal (Mendes et al., 2019).

O sucesso da restauração florestal depende diretamente das condições edáficas presentes nas áreas degradadas, uma vez que as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo determinam a disponibilidade de água e nutrientes e influenciam o estabelecimento inicial das

espécies vegetais (Adhikari; Hartemink, 2016). Em ecossistemas em restauração, o solo pode atuar como um importante filtro ecológico, limitando ou favorecendo o recrutamento das espécies em função de atributos como fertilidade, estrutura, disponibilidade hídrica (Kardol; Wardle, 2010; Van Der Putten et al., 2013).

No Brasil, a restauração de ecossistemas frequentemente envolve a reabilitação de solos degradados pelo uso inadequado da terra, estima-se que existam cerca de 100 milhões de hectares de pastagens degradadas no país, caracterizadas pela redução da capacidade de suporte, da produtividade e da produção de biomassa, geralmente associadas ao manejo inadequado do solo, ausência de fertilização e sobrepastoreio (Feltran-Barbieri; Féres, 2021).

A definição de protocolos de correção e fertilização do solo na restauração florestal permanece heterogênea e, em geral, baseada em conjuntos taxonômicos reduzidos, com predomínio de estudos com plantio de mudas e ampla variação nas doses e tipos de adubos (Souza et al., 2006; Martinotto et al., 2012; Scheer et al., 2017; Campoe et al., 2014; Jaquetti et al., 2016). Em contraste, embora a semeadura direta seja reconhecida como viável para a restauração de savanas brasileiras quando combinada à seleção adequada de espécies e ao manejo nutricional, ainda carece de protocolos edáficos consolidados, especialmente em solos degradados e compactados (Silva et al., 2015).

A meta-análise de Ferreira (2024) evidencia uma lacuna crítica de evidências experimentais sobre fertilização em sistemas de semeadura direta, com poucos estudos disponíveis e forte concentração em formações savânicas. Nesse contexto, Silva et al. (2015) avaliaram seis espécies sob adubação mineral (200 g de NPK por metro linear) e orgânica (2 kg de cama de frango por metro linear), enquanto Pellizzaro et al. (2017) ampliaram a diversidade testada (75 espécies) sob adubação padronizada de 100 kg ha<sup>-1</sup> de NPK.

Os efeitos da fertilização sobre o estabelecimento e o crescimento inicial de espécies nativas são contextuais e, por vezes, ambíguos. Em formações savânicas, a fertilização orgânica pode reduzir o estabelecimento geral em função da intensificação de filtros bióticos, como a maior competição com plantas espontâneas e o aumento da atividade de patógenos em ambientes mais férteis (Martinotto et al., 2012; Silva et al., 2015; Pellizzaro et al., 2017; Ferreira, 2024). Em contrapartida, em contextos de silvicultura intensiva e em solos de baixa fertilidade inicial, predominam respostas positivas à fertilização, com incrementos em sobrevivência e biomassa (Rodrigues et al., 2009; Campoe et al., 2014). A ausência de experimentos pareados que comparem sistematicamente fontes minerais e orgânicas em

semeadura direta com espécies florestais limita, contudo, a generalização desses efeitos para a restauração ecológica (Ferreira, 2024).

Embora a calagem e a adubação sejam práticas consolidadas na agricultura, persistem lacunas quanto às dosagens e combinações mais adequadas para espécies nativas em ambientes degradados, sobretudo em solos de baixa resiliência (Scheer et al., 2017). A resposta diferenciada das espécies a gradientes de fertilidade reforça a necessidade de protocolos específicos para a restauração florestal, capazes de incorporar a heterogeneidade interespecífica e as interações entre fertilização e cobertura do solo no estabelecimento por semeadura direta (Silva et al., 2015; Scheer et al., 2017).

Além dos nutrientes isolados, a matéria orgânica do solo constitui um componente estruturante do gradiente edáfico, pois condiciona pH,  $Al^{3+}$ , CTC e disponibilidade de bases, gerando efeitos persistentes sobre a estrutura e a trajetória de florestas em restauração. Evidências em áreas restauradas indicam que variações iniciais na matéria orgânica e nas bases trocáveis produzem respostas contrastantes na densidade, área basal, estratificação e produção de serapilheira mesmo após uma década de desenvolvimento da vegetação (Silva, 2025).

Nesse contexto, a compreensão de como diferentes estratégias de manejo da fertilidade do solo se traduzem em respostas de desempenho entre espécies e na organização funcional da comunidade, e isso constitui uma lacuna relevante para a restauração por semeadura direta na Mata Atlântica.

## **1.2 OBJETIVO**

Avaliar como o manejo da fertilidade do solo, por meio da calagem e da aplicação de diferentes adubos, influencia o desempenho, a estrutura funcional e a organização inicial da comunidade florestal em um sistema de restauração por semeadura direta.

### **Objetivos específicos**

- a) Avaliar a resposta dos atributos químicos do solo ao manejo da fertilidade.
- b) Quantificar o efeito do manejo do solo sobre o crescimento inicial das plantas.
- c) Identificar os principais atributos do solo associados ao desempenho vegetal.

## 1.3 MATERIAL E MÉTODOS

### 1.3.1 Área experimental

O experimento foi conduzido na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão (FEPE) da Faculdade de Ciências Agrárias do Vale do Ribeira (FCAVR - Unesp), Campus de Registro (SP) situada a  $24^{\circ}32'07.28''\text{S}$  e  $47^{\circ}51'58.76''\text{O}$ , com 30 m de altitude (Figura 1-1). A fisionomia da vegetação é de Floresta Ombrófila Densa (Ibge, 2012). De acordo com Alvares et al. (2013), utilizando a classificação climática de Köppen, o clima do Vale do Ribeira é classificado como Cfa que corresponde a um clima subtropical úmido.

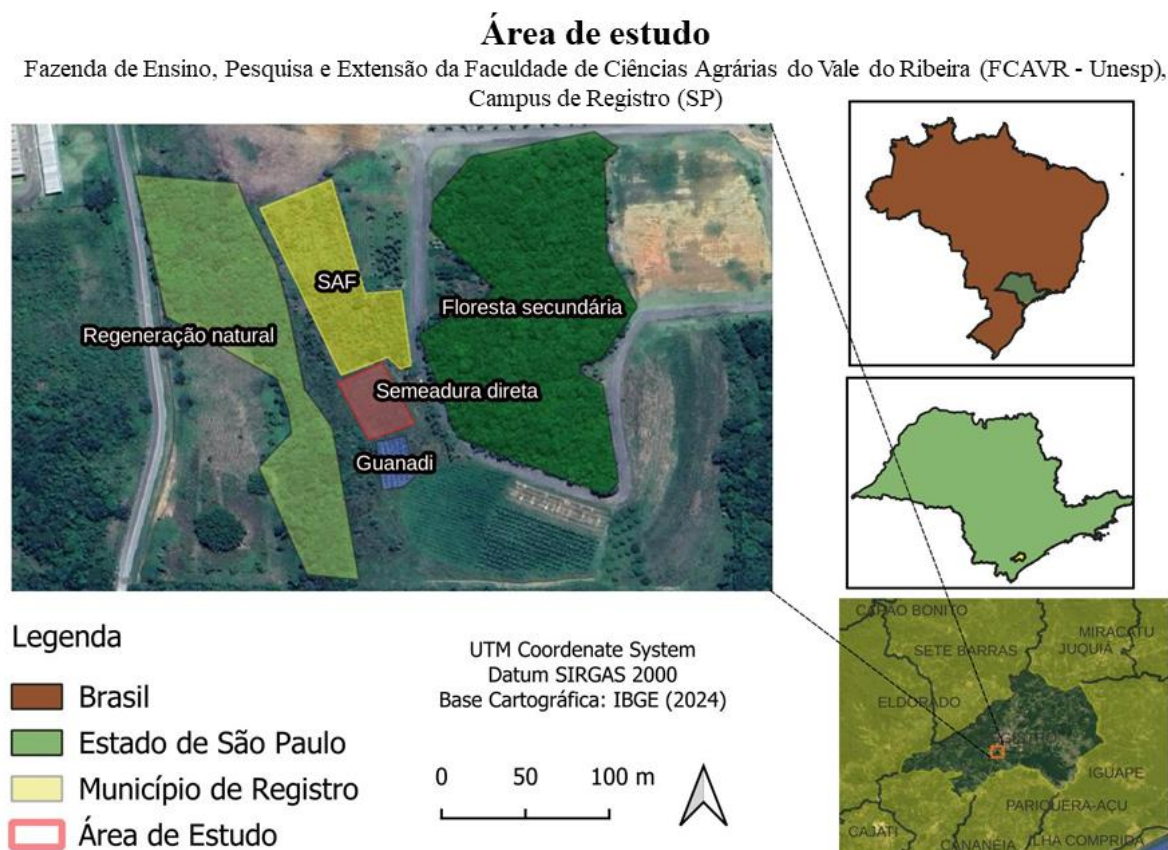


Figura 1-1 Localização geográfica da área de estudo. Mapas do Brasil, Estado de São Paulo com evidência para o município de Registro na região do Vale do Ribeira. Município de Registro e ponto no local do experimento. Destaque em vermelho para a área experimental em sementeira direta e os entornos. Fonte: Elaborado por Giglioti, M.S. (2026).

A área do experimento passou por diferentes fases de ocupação nas últimas duas décadas. Em 2003, com o início das atividades da Fazenda da Unesp, a cultura do chá (*Camelia sinensis*) (predominante) foi retirada e a área deixada em abandono. A área foi então colonizada por gramíneas como do gênero *Braquiaria*. As áreas do entorno eram compostas por Áreas de Preservação Permanentes (APPs), Reservas Legais (RLs) e Sistema Agroflorestal (SAF). Ao longo desse período, o local do foi mantido alternando entre o crescimento de capim e roçadas

regulares. No início do experimento (2024), o local estava inserido em um ambiente cercado por quatro tipos diferentes de vegetação: uma floresta madura (cerca de 40 anos), uma área de regeneração natural (~12 anos), o plantio de Guanandi (~4 anos) e o SAF (~3 anos).

O preparo para plantio iniciou-se em novembro de 2023 com roçada e enxada rotativa (0-20 cm) na linha e roçada na entrelinha. Uma nova roçada com roçadeira costal foi realizada dia 3 de março. O experimento foi iniciado em 11 de março de 2024 e conduzido durante os meses até completar 360 dias. A figura 1-2 caracteriza as condições climáticas mensais durante o período do experimento com as temperaturas médias ficaram em torno de 20,9 °C e precipitação em 1188 mm (Ciiagro, 2025).

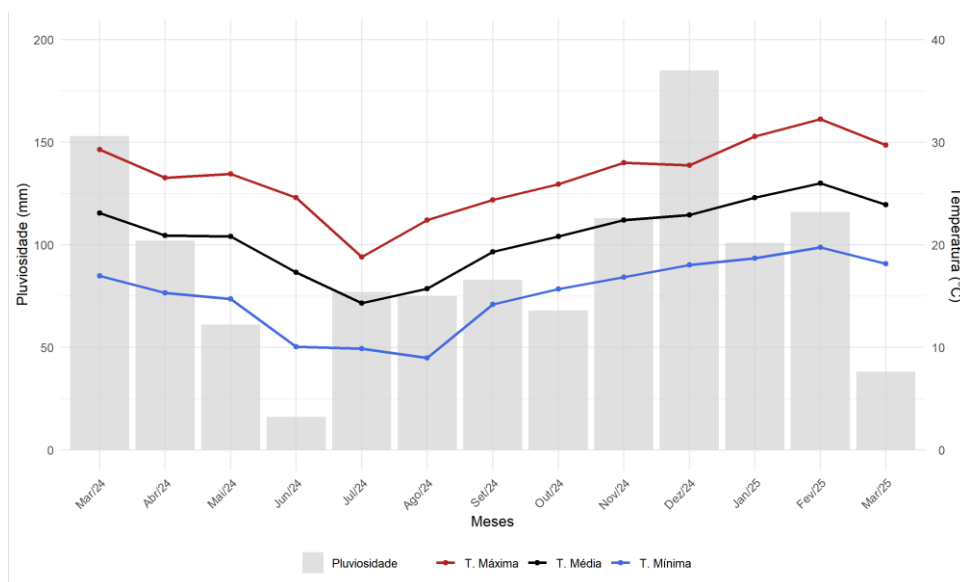


Figura 1-2 Caracterização climática mensal da área de estudo no período de março/2024 a março/2025. As colunas representam a precipitação acumulada (mm) e as linhas indicam as variações de temperatura (°C).

O solo do local de estudo foi classificado como Argissolo vermelho amarelo (Embrapa, 2018) com as características químicas por meio de análises (Raij et al., 2001) e granulométrica (Embrapa,1997) (Tabela 1-1 e tabela 1-2). A textura do solo é Franco-arenoso.

Tabela 1-1 Atributos químicos (macronutrientes e acidez) do solo da área experimental coletado em duas profundidades antes da instalação do experimento. Legenda: pH: potencial hidrogeniônico; M.O.: Matéria orgânica do solo; P: Fósforo extraído por resina; Al<sup>3+</sup>: Alumínio; H+Al: Acidez tampão; K: Potássio; Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; SB: Soma de bases; CTC: Capacidade de troca catiônica; V: Saturação por bases.

Identificação	Camada (cm)	pH	M.O.	P	Al <sup>3+</sup>	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V
		CaCl <sub>2</sub>	g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>							%
Campo	0-20	4,20	21	4,00	8,0	43	1,1	10	4,0	14,8	57,6	26
Campo	20-40	3,90	14	2,00	15	57	0,3	2,0	1,0	3,3	57,3	6,0

Tabela 1-2 Teores de micronutrientes, enxofre e caracterização física (granulometria) do solo em diferentes camadas na área experimental. S: Enxofre; B: Boro; Cu: Cobre; Fe: Ferro; Mn: Manganês; Zn: Zinco.

Identificação	Camada (cm)	S	Boro	Cobre	Ferro	Manganês	Zinco	Areia	Silte	Argila
		mg dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	----- g kg <sup>-1</sup> -----		
Campo	0-20	6,0	0,06	0,2	162	3,0	0,1	618	196	185
Campo	20-40	7,0	0,20	0,2	166	0,7	0,2	583	218	200

As etapas de implantação e manejo do experimento estão dispostas em linha do tempo (Figura 1-3). O preparo do solo foi realizada em novem de 2023. Em 2024 foi realizada a limpeza pré plantio com roçada em 03 de março, a calagem (1,91 t/ha) em 8 de março e a semeadura em 11 de março. Para o plantio foi separado grupos de pessoas para abertura das valas (2 cm), outro grupo para semeio e outro grupo com os insumos. As sementes foram alocadas em sulcos de 2 cm bem distribuídas a fim de evitar possível competição e recobertas com uma camada de solo. Após o plantio foi realizada roçada e capina em abril, maio, julho e setembro, em novembro foi realizada intervenção com a roçada mais aplicação do herbicida pós-emergente haloxifope-P-metílico na dosagem equivalente a 0,5 L ha<sup>-1</sup>, utilizando-se um volume de calda de 200 L ha<sup>-1</sup>.



Figura 1-3 Linha do tempo das atividades de manejo, abrangendo o período de novembro de 2023 a novembro de 2024. A sequência detalha o preparo inicial do solo, a calagem e o plantio em março de 2024, seguidos pelas intervenções de manutenção (roçada, capina e controle químico). Fonte: Elaborados pelo autor, (2025)

### 1.3.2 Seleção das espécies e implantação da semeadura direta.

As espécies nativas florestais escolhidas para o experimento foram selecionadas a partir da disponibilidade de sementes da Rede de Sementes do Vale do Ribeira. Foram utilizados os seguintes critérios para escolha das espécies: presença das mesmas no entorno da área do

experimento, pertencer a diferentes grupos ecológicos (Sma, 2008) e diversidade de tamanho de sementes (Piotrowski, 2023). As espécies *Citharexylum myrianthum* Cham. e *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos foram coletados pelo autor nas adjacências do experimento.

A quantidade de sementes para a semeadura foi fixada em 50 sementes por metro linear (e.q. 250.000 sementes ha<sup>-1</sup>, sendo 1 ha com 5.000 metros lineares), levando em consideração o histórico do percentual de sobrevivência das espécies pela rede de sementes do vale da ribeira (dados não publicados). Os tamanhos das sementes foram classificados com base no número de sementes por quilograma, conforme proposto por Piotrowski et al. (2023) sendo consideradas extremamente pequenas (>100.000 sementes kg<sup>-1</sup>), pequenas (10.000–100.000 sementes kg<sup>-1</sup>), médias (1.000–10.000 sementes kg<sup>-1</sup>) e grandes (<1.000 sementes kg<sup>-1</sup>). A características das espécies escolhidas (n=37) e quantidades utilizadas são descritas na tabela 1-3.

Tabela 1-3. Lista de espécies utilizadas no experimento com respectivos: número de sementes Kg<sup>-1</sup> (Sem Kg<sup>-1</sup>), número de sementes por tratamento (Sem/Trat), tamanho da semente (Tam. Sem.) sendo extremamente pequenas (EP), pequenas (P), médias (M) e grandes (G), grupo ecológico (G.Eco.) sendo pioneira (P) e não pioneiras (NP), porcentagem de sobrevivência fornecida pela Rede de Sementes (% Sobr. Rede).

Nome científico	Nome popular	Acrônimo	Sem Kg <sup>-1</sup>	Sem/Trat	Tam. Sem.	G. Eco.	% Sobr. Rede
<i>Iochroma arborescens</i> (L.) J.M.H. Shaw	Tomate de galinha	ACAR	1476559	48	EP	P	1
<i>Aegiphila integrifolia</i> (Jacq.) Moldenke	Tamanqueiro	AESE	28502	102	P	P	1
<i>Annona.cacans</i> Warm.	Ariticum cagão	ANCA	4830	2	M	NP	3
<i>Annona</i> sp.	Ariticum miúdo	ANSP	22693	48	P	NP	1
<i>Aspidosperma parvifolium</i> A.DC.	Guatambu	ASPA	4681	6	M	NP	5
<i>Boehmeria caudata</i> Sw.	Urtiga mansa	BOCA	6240249	48	EP	P	1
<i>Cariniana estrellensis</i> (Raddi) Kuntze	Jequitiba branco	CAES	11224	6	P	NP	1
<i>Cassia ferruginea</i> (Schrad.) Schrad. ex DC.	Caviuna	CAFE	10716	8	P	NP	8
<i>Cecropia hololeuca</i> Miq.	Embauba branca	CEHO	793965	48	EP	P	1
<i>Citharexylum myrianthum</i> Cham.	Pau-viola	CIMY	5762	36	M	P	3
<i>Croton floribundus</i> Spreng.	Capixingui	CRFL	29726	36	P	P	3
<i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong	Tamboril	ENCO	5372	6	M	P	20
<i>Garcinia gardneriana</i>	Bacupari	GAGA	1010	6	M	NP	20

Nome científico	Nome popular	Acrônimo	Sem Kg <sup>-1</sup>	Sem/Tra t	Tam. Sem.	G. Eco.	% Sobr. Rede
(Planch. & Triana) Zappi							
<i>Handroanthus chrysotrichus</i> (Mart. ex DC.) Mattos	Ipê-amarelo	HACH	97914	36	P	NP	4
<i>Handroanthus impetiginosus</i> (Mart. ex DC.) Mattos	Ipê roxo	HAIM	30075	36	P	NP	3
<i>Heliocarpus popayanensis</i> Kunth	Algodoeiro	HEPO	168208	48	EP	P	1
<i>Hyeronima alchorneoides</i> Allemão	Licurana	HYAL	72051	36	P	P	3
<i>Hymenaea courbaril</i> L.	Jatobá	HYCO	278	6	G	NP	40
<i>Machaerium nycitans</i> (Vell.) Benth.	Asa de grilo	MANY	3.400	8	M	NP	3
<i>Maclura tinctoria</i> (L.) D.Don ex Steud.	Taiuva	MATI	271223	48	EP	P	1
<i>Miconia</i> sp.	Pixiricão	MISP	451467	48	EP	P	1
<i>Mimosa bimucronata</i> (DC.) K.Schum.	Maricá	MIBI	113830	36	EP	P	2
<i>Myrsine coriacea</i> (Sw.) R.Br. ex Roem. & Schult.	Capororoca	MYCO	67039	36	P	P	3
<i>Ormosia arborea</i> (Vell.) Harms	Olho de cabra	ORAR	1013	6	M	NP	15
<i>Piper. aduncum</i> L.	Nhagarandi	PIAD	4889975	48	EP	-	1
<i>Posoqueria acutifolia</i> (Ruiz & Pav.) Schult.	Laranja de macaco	POAC	1612	6	M	NP	3
<i>Pseudobombax grandiflorum</i> (Cav.) A.Robyns	Embiruçú	PSGR	12319	8	P	NP	6
<i>Psidium cattleyanum</i> Sabine	Araçá amarelo	PCAT	66028	36	P	NP	2
<i>Psidium cattleyanum</i> var. <i>purpureum</i> (Mart. ex Nied.) Mattos	Araçá-roxo	PCPU	26716	18	P	NP	5
<i>Schinus terebinthifolia</i> Raddi	Aroeira-pimenteira	SCTE	71607	102	P	P	1
<i>Schizolobium parahyba</i> (Vell.) Blake	Guapuruvu	SCPA	532	2	G	P	35
<i>Senna multijuga</i> (Rich.) H.S.Irwin & Barneby	Caquera	SEMU	94831	36	P	P	2.5
<i>Solanum delicatulum</i> Sendtn.	Joá amarelo	SODE	438837	36	EP	P	3
<i>Syagrus romanzoffiana</i> (Cham.) Glassman	Jerivá	SYRO	319	18	G	NP	17
<i>Trema micranthum</i> (L.) Blume	Crindiuva	TRMI	135000	48	EP	P	1

Nome científico	Nome popular	Acrônimo	Sem Kg <sup>-1</sup>	Sem/Tra t	Tam. Sem.	G. Eco.	% Sobr. Rede
<i>Vernonanthura polyanthes</i> (Spreng.) H.Rob.	Assapeixe	VEPO	2936857	48	EP	P	1
<i>Zanthoxylum rhoifolium</i> Lam.	Mamica de porca	ZARO	86531	48	P	NP	1

Os testes de germinação em laboratório foram realizados após o plantio, com o objetivo de caracterizar o potencial germinativo das espécies utilizadas, e não como critério de exclusão prévia. Os testes foram realizados utilizando metodologia proposta na Instrução para Análise de Sementes de Espécies Florestais (Brasil, 2013) e Regras para Análises de Sementes (Brasil, 2009). Não foi feita superação de dormência nas sementes para o plantio no campo. A composição da mistura de sementes utilizada na semeadura direta, bem como o aspecto das amostras padronizadas para a aplicação em todos os tratamentos (Figura 1-4.)



Figura 1-4 Sementes florestais selecionadas para o semeio direto nas linhas de plantio. Fonte: Elaborado pelo autor, (2025).

### 1.3.3 Delineamento e tratamentos

Cada unidade experimental possuía 24 m × 1 m, com espaçamento entre linhas de 0,8 m, sobra lateral de 1,5 m e parte inferior e superior aberta não utilizada na área. Um corredor de 3 m foi utilizado para separar os tratamentos de saturação por bases, totalizando uma área de 1.180,8 m<sup>2</sup>. Na linha de plantio, foram instaladas duas aberturas de sulcos com 2 cm, uma para sementes florestais nativas e outra para adubação verde (*Canavalia ensiformis*, *Curcubita*

*sp* e *Crotalaria ochroleuca*). A distribuição dos tratamentos (n=8) foi em blocos casualizados com três repetições (n=24) conforme o detalhamento do croqui do experimento (Figura 1-5).

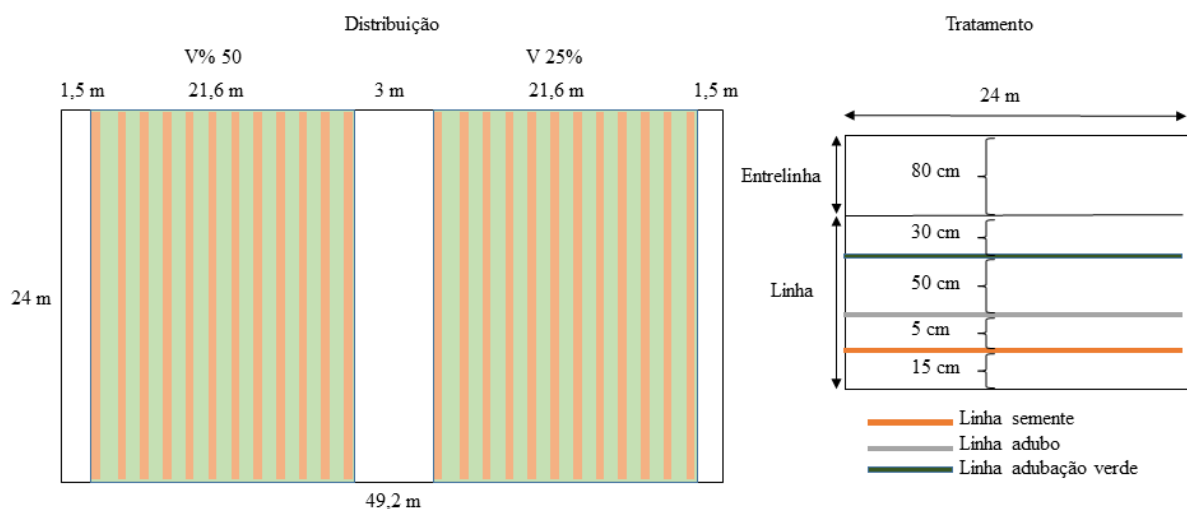


Figura 1-5 Representação esquemática do delineamento experimental e do arranjo espacial das espécies florestais nas parcelas submetidas a diferentes níveis de saturação por bases (V%) e insumos.

Os tratamentos utilizados foram saturações de base e tipos de insumos (Tabela 1-4). Os tratamentos de calagem foram com saturação de base (V%) em 25% segundo análise química do solo e outro tratamento com aumento da saturação de base (V%) para 50% considerando a camada de 0 a 20 centímetros, sendo a quantidade utilizada para 576 m<sup>2</sup> foi 110 Kg de calcário, equivalente a 1,91 toneladas por hectare. A aplicação do calcário foi a lanço. A equação utilizada:

$$NC \left( \frac{t}{ha} \right) = (v2 - v1) * CTC/PRNT$$

Em que: NC= Necessidade de calagem; V1= Saturação inicial; V2= Saturação de base desejada; CTC= Capacidade de troca de cátions (cmol<sub>c</sub> dm<sup>3</sup>); PRNT= Poder relativo de neutralização total.

A quantidade insumo do tratamento NPK 4-14-8 foi de 30 g m<sup>-1</sup>, de insumo orgânico 1,5 Kg m<sup>-1</sup> e combinado 790 g m<sup>-1</sup> de Orgânico (0,75 Kg m<sup>-1</sup>) com NPK (15 g m<sup>-1</sup>) (Tabela 1-4). As quantidades estabelecidas não visaram a equivalência nutricional, mas sim testar diferentes concentrações e tipos de insumos no desempenho das espécies. O NPK atua como um comparativo de baixo aporte em relação ao controle; o NPK+Orgânico como tratamento intermediário; e o orgânico como o de maior oferta nutricional e de matéria orgânica.

Tabela 1-4 Relação dos insumos utilizados, percentual de saturação (V %) e suas respectivas identificações como tratamentos no experimento desenvolvida no campo.

V %	Insumos	Quantidade de adubos	Identificação
25	Sem insumo	0 g m <sup>-1</sup>	25T1
	NPK	30 g m <sup>-1</sup>	25T2
	ORG	1500 g m <sup>-1</sup>	25T3
	NPK+ORG	765 g m <sup>-1</sup>	25T4
50	Sem insumo	0 g m <sup>-1</sup>	50T1
	NPK	30 g m <sup>-1</sup>	50T2
	ORG	1500 g m <sup>-1</sup>	50T3
	NPK+ORG	765 g m <sup>-1</sup>	50T4

O calcário utilizado na forma de pó, matéria prima de rocha calcária com os seguintes constituintes: 28% de Óxido de cálcio (CaO); 18,5% de Óxido de magnésio; 96% de Poder de neutralização (PN); 2% de Umidade e 75,2% de PRNT.

O fertilizante orgânico simples classe “A” (Esterco e cama de aves) contém as seguintes garantias: 2% de Nitrogênio total ; 3,4% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> solúvel em CNA+água; 2,5% de K<sub>2</sub>O solúvel em água; 22% de Carbono orgânico total; 25% de Umidade; 8,3 de pH; 19 de CTC/C; 430 em mmol C/Kg de CTC.

O fertilizante mineral misto 4-14-8 possui garantias de N total 4%; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> sol. CNA + água 14%; K<sub>2</sub>O solúvel em água 8%; B 0,3 % + CA 9,8%+S 10,6%; Zn 0,3%+ Componentes do produto: Fosfato monoamônico; FMC 3S 6B 6Zn; Superfosfato simples; Cloreto de potássio; Sulfato de amônio.

A recomendação utilizada para espécies florestais foi calculada segundo o boletim 100 do IAC (Raij *et al.*, 1997), considerando os resultados de análises químicas do solo e as faixas indicadoras da tabela de adubação: Matéria orgânica de 0-15 g/dm<sup>3</sup>, fósforo (P-Resina) entre 0-5 mg/dm<sup>3</sup>, e potássio trocável (K) de 0-0,7 mmolc/dm<sup>3</sup>, utilize 60 kg/ha de nitrogênio (N), 40 kg/ha de fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e 20 kg/ha de potássio (K<sub>2</sub>O), respectivamente. A quantidade de nutriente, considerando 110% da mineralização do adubo orgânico por metro linear dimensionada para os tratamentos (Tabela 1-5).

Tabela 1-5 Quantidade de nutrientes nos insumos utilizados por metro linear no experimento. Não informado na embalagem (NI)

Nutriente	1,5 kg Ins. Org.	30 g NPK	15 g NPK + 750 g Org.
Nitrogênio (N)	30 g	1,2 g	15,6 g
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	51 g	4,2 g	27,6 g
K <sub>2</sub> O	37,5 g	2,4 g	19,9 g
Carbono Orgânico	330 g	0 g	165 g
Boro (B)	NI	0,09 g	0,04 g
Zinco (Zn)	NI	0,09 g	0,04 g

#### 1.3.4 Amostragem e análise do solo.

A amostragem de solo foi realizada aos 180 e 360 dias após a instalação do experimento. Na camada de 0–20 cm, adotou-se um delineamento com três repetições por tratamento ( $n = 24$ ). Já na camada de 20–40 cm, optou-se por amostras compostas por tratamento ( $n = 8$ ), visando identificar tendências gerais de resposta ao manejo, dada a menor variabilidade esperada em profundidade. Em cada parcela, foram coletadas com trado holandês, três amostras simples de forma sistemática, sendo posteriormente homogeneizadas para a obtenção de uma amostra composta (representativa da unidade experimental).

Na análise química do solo foram determinados os principais atributos de fertilidade, de acordo com a metodologia proposta por Raij et al. (2001): pH em  $\text{CaCl}_2$ , matéria orgânica pelo método de Walkley–Black, fósforo disponível e cátions trocáveis ( $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ ) por resina trocadora de íons, alumínio trocável ( $\text{Al}^{3+}$ ) extraído com cloreto de potássio, enxofre (S), extraído com cloreto de bário, acidez potencial ( $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ ) estimada pelo método SMP, soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC) e saturação por bases (V%). Foram determinados os micronutrientes, boro (B) pelo método da água quente, e cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) por extração com DTPA.

Os resultados foram expressos nas seguintes unidades:  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , SB e CTC em  $\text{mmolc dm}^{-3}$ ; V em %; matéria orgânica em  $\text{g dm}^{-3}$ ; e P-resina, S e B em  $\text{mg dm}^{-3}$ .

#### 1.3.5 Monitoramento do desenvolvimento das espécies.

O monitoramento foi realizado a partir dos 30 dias (abril), 60 dias (maio), 90 dias (junho), 150 dias (agosto), 210 dias (outubro), 270 dias (dezembro) e 360 dias (março de 2025) após a instalação do experimento. Foram considerados para o monitoramento todos os indivíduos arbóreos emergidos e identificáveis, provenientes da semeadura direta e da regeneração natural, em cada avaliação, os indivíduos emergidos foram identificados ao nível de espécie e tiveram sua altura (cm) medida do nível do solo até o ápice do meristema apical. As medições do diâmetro do colo (DC) das mudas foram realizadas aos 210 e 360 dias utilizando paquímetro digital.

#### 1.3.6 Análise dos dados

##### 1.3.6.1 Estrutura da comunidade e desempenho silvicultural.

A estrutura da comunidade foi caracterizada por análise fitossociológica, com o cálculo da densidade relativa (DeR), dominância relativa (DoR), frequência relativa (FrR) e frequência absoluta (FrA). O Índice de Valor de Importância (IVI) e o Valor de Cobertura (VC) foram

utilizados para sintetizar a contribuição estrutural das espécies (De Souza; Soares, Soares, 2013).

As características das espécies foram definidas com base no grupo ecológico (pioneiras e não pioneiras) e no tamanho das sementes, classificadas de extremamente pequenas (EP), pequenas (P), médias (M) e grandes (G).

#### 1.3.6.2 Modelagem estatística e relações solo–planta.

Os efeitos da calagem, dos insumos e de sua interação sobre os atributos químicos do solo, o desempenho das plantas e as características funcionais foram avaliados por análise de variância fatorial (ANOVA), após verificação dos pressupostos de normalidade dos resíduos (teste de Shapiro–Wilk) e homogeneidade de variâncias (teste de Levene). Variáveis com forte assimetria ou presença de valores nulos foram analisados por modelos lineares generalizados (GLM), com distribuição compatível com a natureza da variável resposta. As médias marginais estimadas (EMMs) das variáveis significativas ( $p < 0.05$ ) foram comparadas pela correção de Šidák. A preferência sobre o teste de Tukey visou acomodar as distribuições não normais dos GLMs e focar rigorosamente nos efeitos principais simples das interações fatoriais.

As relações entre os atributos químicos do solo e o crescimento das plantas foram investigadas inicialmente por meio de correlação de Pearson. Em seguida, foram ajustados modelos de regressão múltipla, com seleção de variáveis pelo procedimento stepwise baseado no critério de informação de Akaike (AIC). Para esse caso, variáveis derivadas, como soma de bases (SB) e capacidade de troca catiônica (CTC), foram excluídas para evitar multicolinearidade.

#### 1.3.6.3 Ordenação multivariada.

A ordenação multivariada foi realizada por Análise de Componentes Principais (PCA), considerando como variáveis ativas atributos de crescimento das plantas, características funcionais da comunidade e atributos químicos do solo com relevância ecológica e diferença estatística entre tratamentos. As espécies foram incluídas como variáveis suplementares, sendo projetadas a posteriori nos eixos principais. As análises foram conduzidas no software R (R CORE TEAM, 2024) utilizando os pacotes emmeans, FactoMineR, factoextra e Vegan.

## 1.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 1.4.1 Reação do solo após calagem e aplicação de insumos

O solo da área experimental, classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo, tem baixa fertilidade natural em ambas as profundidades avaliadas, caracterizando-se por elevada acidez, alta acidez potencial, baixa saturação por bases e presença expressiva de alumínio trocável, com incremento em profundidade, especialmente entre 20–40 cm. Quanto à composição granulométrica, o solo é franco-arenoso, onde predominou a fração areia, condição que favorece a drenagem, porém limita a retenção de água e nutrientes. A disponibilidade de macronutrientes (Tabela 1-1) foi baixa, com teores reduzidos de P-resina, K e Mg. Em relação aos micronutrientes (Tabela 1-2), observaram-se deficiências de boro e zinco na camada superficial, enquanto os teores de ferro foram elevados.

Esse conjunto de características químicas é típico de solos da Mata Atlântica submetidos a intenso intemperismo (Mendes et al., 2018; Teixeira et al., 2020). Esses atributos são reconhecidos como fatores limitantes ao estabelecimento dos indivíduos na comunidade, especialmente nas fases iniciais de germinação, emergência e sobrevivência de plântulas, quando a sensibilidade ao estresse químico do solo é mais acentuada (Pinho et al., 2017; Fujii, 2014; Mendes et al., 2018). Esse padrão reforça a importância dos resultados químicos do solo, que constitui um eixo estruturante ainda pouco utilizado na restauração florestal, frequentemente subordinado a métricas de vegetação e biodiversidade (Allek; Crouzeilles, 2021).

Os resultados das análises químicas do solo discutidas nesse trabalho representam o efeito do manejo da calagem e insumos sobre a reação e acidez do solo (pH,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{H}^+\text{Al}$ ), complexos de troca e retenção (MO, SB, CTC, V%), macronutrientes (P-resina,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , S) e micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn, Zn).

Aos 6 meses a calagem exerceu efeito significativo sobre a maioria dos atributos químicos do solo (Tabela 1-6). O pH foi influenciado pela calagem ( $p = 0,001$ ), independentemente do tipo de insumo aplicado. De forma semelhante, observaram-se reduções significativas nos teores de  $\text{Al}^{3+}$  ( $p = 0,006$ ) e aumentos nos teores de P ( $p = 0,01$ ), Ca ( $p = 0,005$ ), Mg ( $p = 0,002$ ), soma de bases ( $p = 0,001$ ), capacidade de troca catiônica ( $p = >0,0001$ ) e saturação por bases ( $p = 0,02$ ), refletindo a melhoria geral da condição química do solo promovida pela calagem. O teor de K no solo foi afetado pelos insumos, indicado pelo modelo linear generalizado ( $p < 0,001$ ). Os resultados da tabela 6 evidencia o papel central da calagem

na correção da acidez e no aumento da fertilidade química do solo atingindo o objetivo proposto de elevação da saturação de bases aos 6 meses na camada superficial.

Tabela 1-6 Características químicas do solo na profundidade 0-20 cm sob diferentes tratamentos, coletada aos 6 meses após a instalação do experimento Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Sidak ( $p \leq 0,05$ ).

Calagem	Insumos	pH	M.O.	Presina	Al <sup>3+</sup>	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V
		CaCl <sub>2</sub>	g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	-----mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----							
V25	Sem insumo	4,20 <sup>b</sup>	27 <sup>a</sup>	7,00 <sup>b</sup>	9,0 <sup>a</sup>	48 <sup>a</sup>	0,6 <sup>c</sup>	10 <sup>b</sup>	5,0 <sup>b</sup>	16 <sup>b</sup>	64 <sup>b</sup>	25 <sup>b</sup>
V25	NPK	4,10 <sup>b</sup>	25 <sup>a</sup>	8,00 <sup>b</sup>	10 <sup>a</sup>	49 <sup>a</sup>	0,8 <sup>c</sup>	11 <sup>b</sup>	5,0 <sup>b</sup>	16 <sup>b</sup>	65 <sup>b</sup>	25 <sup>b</sup>
V25	NPK+ORG	4,30 <sup>b</sup>	28 <sup>a</sup>	12 <sup>b</sup>	7,0 <sup>a</sup>	49 <sup>a</sup>	1,9 <sup>b</sup>	11 <sup>b</sup>	6,0 <sup>b</sup>	19 <sup>b</sup>	68 <sup>b</sup>	28 <sup>b</sup>
V25	ORG	4,20 <sup>b</sup>	29 <sup>a</sup>	19 <sup>b</sup>	5,0 <sup>a</sup>	47 <sup>a</sup>	4,4 <sup>a</sup>	14 <sup>b</sup>	8,0 <sup>b</sup>	26 <sup>b</sup>	73 <sup>b</sup>	35 <sup>b</sup>
V50	Sem insumo	4,70 <sup>a</sup>	32 <sup>a</sup>	23 <sup>a</sup>	2,0 <sup>b</sup>	41 <sup>a</sup>	0,9 <sup>c</sup>	28 <sup>a</sup>	12 <sup>a</sup>	40 <sup>a</sup>	81 <sup>a</sup>	49 <sup>a</sup>
V50	NPK	4,60 <sup>a</sup>	26 <sup>a</sup>	13 <sup>a</sup>	2,0 <sup>b</sup>	39 <sup>a</sup>	0,8 <sup>c</sup>	24 <sup>a</sup>	8,0 <sup>a</sup>	34 <sup>a</sup>	73 <sup>a</sup>	46 <sup>a</sup>
V50	NPK+ORG	4,80 <sup>a</sup>	27 <sup>a</sup>	17 <sup>a</sup>	1,0 <sup>b</sup>	31 <sup>a</sup>	2,1 <sup>b</sup>	28 <sup>a</sup>	12 <sup>a</sup>	42 <sup>a</sup>	73 <sup>a</sup>	57 <sup>a</sup>
V50	ORG	4,70 <sup>a</sup>	32 <sup>a</sup>	23 <sup>a</sup>	1,0 <sup>b</sup>	33 <sup>a</sup>	4,4 <sup>a</sup>	31 <sup>a</sup>	15 <sup>a</sup>	50 <sup>a</sup>	83 <sup>a</sup>	61 <sup>a</sup>

Aos 6 meses após a implantação do experimento, o efeito dos insumos foi observado nos teores de enxofre, que diferiram significativamente ( $p = 0,04$ ), e no teor de cobre ( $p = 0,03$ ), com maiores teores nos tratamentos com somente insumo orgânico. O manganês apresentou diferenças significativas em função da interação entre esses fatores ( $p < 0,001$ ), sendo os maiores teores observados nos tratamentos sem calagem (V25), com redução consistente nos tratamentos com maior saturação por bases (V50). O boro, ferro e zinco não diferiram estatisticamente significativas em função da calagem, dos insumos ou de sua interação (Tabela 1-7).

Tabela 1-7 Características químicas do solo na profundidade 0-20 cm sob diferentes tratamentos coletada com 6 meses de experimento. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Sidak ( $p < 0,05$ ).

Calagem	Insumos	S	Boro	Cobre	Ferro	Manganês	Zinco
		mg dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>
V25	Sem insumo	4,0 <sup>b</sup>	0,16 <sup>a</sup>	0,3 <sup>a</sup>	109 <sup>a</sup>	2,6 <sup>a</sup>	1,0 <sup>a</sup>
V25	NPK	5,0 <sup>ab</sup>	0,20 <sup>a</sup>	0,5 <sup>a</sup>	108 <sup>a</sup>	1,7 <sup>d</sup>	1,2 <sup>a</sup>
V25	NPK+ORG	6,0 <sup>ab</sup>	0,23 <sup>a</sup>	0,4 <sup>a</sup>	105 <sup>a</sup>	2,0 <sup>c</sup>	1,1 <sup>a</sup>
V25	ORG	9,0 <sup>a</sup>	0,21 <sup>a</sup>	1,0 <sup>b</sup>	121 <sup>a</sup>	2,3 <sup>b</sup>	1,7 <sup>a</sup>
V50	Sem insumo	4,0 <sup>b</sup>	0,17 <sup>a</sup>	0,3 <sup>a</sup>	96 <sup>a</sup>	1,8 <sup>d</sup>	1,0 <sup>a</sup>
V50	NPK	6,0 <sup>ab</sup>	0,28 <sup>a</sup>	0,3 <sup>a</sup>	98 <sup>a</sup>	1,7 <sup>d</sup>	0,9 <sup>a</sup>
V50	NPK+ORG	6,0 <sup>ab</sup>	0,23 <sup>a</sup>	0,5 <sup>a</sup>	79 <sup>a</sup>	1,7 <sup>d</sup>	0,7 <sup>a</sup>
V50	ORG	8,0 <sup>a</sup>	0,23 <sup>a</sup>	1,0 <sup>b</sup>	103 <sup>a</sup>	1,7 <sup>d</sup>	1,2 <sup>a</sup>

As análises químicas na profundidade de 20-40 cm foram realizadas de forma composta representando uma análise por tratamento e por isso não foram realizadas análises estatísticas e os resultados representados de forma de descritiva.

Na profundidade 20-40cm, aos 6 meses, (Tabela 1-8), os valores de pH variaram de 3,7 a 4,3, com tendência a valores mais elevados nos tratamentos com maior saturação por bases (V50), independentemente do tipo de insumo. Os teores de alumínio trocável (Al<sup>3+</sup>) e de acidez potencial (H+Al) mantiveram-se elevados em todos os tratamentos, com variações entre

combinações de calagem e insumos. A saturação por bases (V%) exibiu valores baixos nos tratamentos sem calagem (V25), variando entre 7 e 14%, enquanto nos tratamentos com V50 os valores foram superiores, situando-se entre 22 e 27%. Os teores de cálcio e magnésio foram mais elevados nos tratamentos com calagem, refletindo maior soma de bases (SB) e capacidade de troca catiônica (CTC) nessa condição. O potássio teve baixos valores em todos os tratamentos, com ligeiro aumento nos tratamentos que receberam insumos orgânicos. A matéria orgânica do solo variou entre 10 e 23 g dm<sup>-3</sup>, sem um padrão consistente associado à calagem ou aos insumos.

Tabela 1-8 Características químicas do solo na profundidade 20-40 cm sob diferentes tratamentos coletada com 6 meses de experimento.

Calagem	Insumos	pH CaCl <sub>2</sub>	M.O. g dm <sup>-3</sup>	Presina mg dm <sup>-3</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V %
		-----mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----										
V25	Sem insumo	3,80	19	3,00	14	52	0,3	4,0	1,0	5,0	57	9,0
V25	NPK	3,80	10	2,00	15	55	0,3	2,0	2,0	4,0	59	7,0
V25	NPK+ORG	3,70	18	7,00	11	50	0,9	2,0	2,0	5,0	54	9,0
V25	ORG	3,90	13	10	11	54	2,4	4,0	3,0	9,0	63	14
V50	Sem insumo	4,30	16	11	14	52	0,6	13	6,0	19	71	27
V50	NPK	4,10	16	8,00	15	50	0,5	13	5,0	18	68	27
V50	NPK+ORG	4,20	15	8,00	8,0	47	1,8	10	6,0	17	63	27
V50	ORG	4,10	23	5,00	11	47	0,8	8,0	4,0	13	60	22

Os teores de enxofre na camada de 20–40 cm variaram amplamente entre os tratamentos, com altos valores observados nos tratamentos que receberam insumos orgânicos (Tabela 1-9), tanto sob V25 quanto sob V50. O boro teve valores relativamente próximos, com variação e ausência de um valor associado aos tratamentos. Os teores de cobre foram baixos na maioria dos tratamentos, com valor elevado no tratamento com V25 e insumo orgânico. O ferro apresentou concentrações elevadas em todos os tratamentos, com variação entre 102 e 137 mg dm<sup>-3</sup> eo manganês com baixos teores na camada subsuperficial, com valores variando entre 0,6 e 1,3 mg dm<sup>-3</sup>, enquanto o zinco apresentou concentrações reduzidas, com discreto aumento nos tratamentos com maior aporte orgânico.

Tabela 1-9 Características químicas do solo na profundidade 20-40 cm sob diferentes tratamentos, coletada com 6 meses de experimento.

Calagem	Insumos	S mg dm <sup>-3</sup>	Boro mg dm <sup>-3</sup>	Cobre mg dm <sup>-3</sup>	Ferro mg dm <sup>-3</sup>	Manganês mg dm <sup>-3</sup>	Zinco mg dm <sup>-3</sup>
V25	Sem insumo	7,0	0,22	0,2	131	0,9	0,2
V25	NPK	11	0,29	0,1	102	0,6	0,2
V25	NPK+ORG	7,0	0,28	0,2	120	1,1	0,3
V25	ORG	18	0,29	0,6	113	0,9	0,6
V50	Sem insumo	7,0	0,26	0,1	117	0,7	0,2
V50	NPK	7,0	0,35	0,1	137	0,7	0,2
V50	NPK+ORG	19	0,25	0,2	114	1,3	0,6
V50	ORG	16	0,25	0,2	128	0,9	0,2

Os resultados aos 12 meses (Tabela 1-10) permitem avaliar a consolidação temporal dos efeitos da calagem e dos insumos sobre a qualidade química do solo e suas implicações para o desempenho das espécies em restauração por semeadura direta.

Tabela 1-10 Características químicas do solo na profundidade 0-20 cm sob diferentes tratamentos coletada com 12 meses de experimento. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ( $p < 0.05$ ).

Calagem	Insumos	pH	M,O,	Presina	Al <sup>3+</sup>	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V
		CaCl <sub>2</sub>	g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	-----mmolc dm <sup>-3</sup> -----							
V25	Sem insumo	4,10 <sup>b</sup>	24 <sup>a</sup>	9,00 <sup>c</sup>	10 <sup>ab</sup>	67 <sup>a</sup>	0,6 <sup>a</sup>	11 <sup>d</sup>	6,0 <sup>c</sup>	18 <sup>cb</sup>	84 <sup>a</sup>	21 <sup>b</sup>
V25	NPK	3,90 <sup>b</sup>	23 <sup>a</sup>	9,00 <sup>c</sup>	11 <sup>a</sup>	65 <sup>a</sup>	0,7 <sup>a</sup>	10 <sup>d</sup>	6,0 <sup>c</sup>	16 <sup>c</sup>	81 <sup>a</sup>	20 <sup>b</sup>
V25	NPK+ORG	4,30 <sup>b</sup>	25 <sup>a</sup>	15 <sup>ab</sup>	7,0 <sup>abc</sup>	47 <sup>a</sup>	0,9 <sup>a</sup>	15 <sup>dc</sup>	8,0 <sup>c</sup>	24 <sup>abc</sup>	70 <sup>a</sup>	33 <sup>ab</sup>
V25	ORG	4,50 <sup>b</sup>	30 <sup>a</sup>	37 <sup>a</sup>	1,0 <sup>c</sup>	42 <sup>a</sup>	1,7 <sup>a</sup>	26 <sup>ab</sup>	16 <sup>a</sup>	43 <sup>bc</sup>	85 <sup>a</sup>	52 <sup>a</sup>
V50	Sem insumo	4,50 <sup>a</sup>	26 <sup>a</sup>	9,00 <sup>c</sup>	3,0 <sup>cb</sup>	40 <sup>b</sup>	0,5 <sup>a</sup>	22 <sup>d</sup>	10 <sup>abc</sup>	33 <sup>abc</sup>	73 <sup>a</sup>	45 <sup>ab</sup>
V50	NPK	4,60 <sup>a</sup>	28 <sup>a</sup>	12 <sup>c</sup>	3,0 <sup>cb</sup>	46 <sup>b</sup>	0,5 <sup>a</sup>	25 <sup>d</sup>	10 <sup>abc</sup>	36 <sup>abc</sup>	82 <sup>a</sup>	43 <sup>ab</sup>
V50	NPK+ORG	4,70 <sup>a</sup>	28 <sup>a</sup>	13 <sup>ab</sup>	1,0 <sup>c</sup>	36 <sup>b</sup>	0,8 <sup>a</sup>	30 <sup>ab</sup>	14 <sup>ab</sup>	45 <sup>a</sup>	81 <sup>a</sup>	55 <sup>a</sup>
V50	ORG	4,60 <sup>a</sup>	29 <sup>a</sup>	21 <sup>b</sup>	1,0 <sup>c</sup>	37 <sup>b</sup>	2,1 <sup>a</sup>	27 <sup>a</sup>	15 <sup>a</sup>	44 <sup>a</sup>	80 <sup>a</sup>	55 <sup>a</sup>

Aos 12 meses, o pH do solo evidenciou efeito significativo da calagem ( $p = 0.04$ ). O fósforo disponível (P-resina) apresentou interação significativa entre calagem e insumos ( $p \Rightarrow 0,001$ ), com maiores teores associados à aplicação de ORG e NPK+ORG. Os teores de alumínio trocável (Al<sup>3+</sup>) foram significativamente reduzidos pela calagem ( $p \Rightarrow 0.001$ ) e pelos insumos ( $p \Rightarrow 0.001$ ), com menores valores observados nos tratamentos sob V50, sobretudo quando associados a insumos orgânicos. A acidez potencial (H+Al), teve efeito significativo da calagem ( $p = 0.008$ ), com menores valores médios nos tratamentos com maior saturação por bases. Para o cálcio (Ca), não foram observadas diferenças associadas à calagem, enquanto os insumos promoveram variação significativa ( $p = 0.002$ ), com maiores valores nos tratamentos ORG e NPK+ORG. O magnésio (Mg) foi influenciado pela interação entre fatores ( $p = 0.04$ ), com maiores teores sob V50 e em tratamentos com insumos orgânicos.

A matéria orgânica (M.O.), a capacidade de troca catiônica (CTC) e o potássio (K) não teve diferenças estatísticas entre os tratamentos. A soma de bases (SB) respondeu significativamente à calagem ( $p = 0.04$ ) e aos insumos ( $p = 0.004$ ), com maiores valores observados nos tratamentos V50 associados a ORG e NPK+ORG. Por fim, a saturação por bases (V%) foi significativamente influenciada pela calagem ( $p = 0.003$ ) e pelos insumos ( $p \Rightarrow 0.001$ ), com maiores valores registrados nos tratamentos com V50 e insumos orgânicos, evidenciando melhor decisão de manejo para elevação e manutenção de saturação de base ao longo do tempo. Em contraste, o tratamento sem calagem e sem insumos teve redução da saturação por bases em relação à condição inicial e aos resultados de 6 meses, evidenciando um processo de reacidificação do solo.

Aos 12 meses, os teores de enxofre (S), boro (B), ferro (Fe) e manganês (Mn) não apresentaram diferenças estatísticas em função da calagem, dos insumos ou da interação entre ambos (Tabela 1-11). O teor de cobre (Cu) foi significativamente influenciado pelos insumos ( $p=0.005$ ), com maiores teores observados nos tratamentos que receberam insumos orgânicos (ORG e NPK+ORG), independentemente do nível de calagem. O teor de zinco (Zn) teve efeito significativo dos insumos ( $p=0.001$ ), com maiores concentrações nos tratamentos que incluíram insumos orgânicos, especialmente ORG.

Tabela 1-11 Características químicas do solo na profundidade 0-20 cm sob diferentes tratamentos coletada com 12 meses de experimento. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Sidak ( $p<0.05$ ).

Calagem	Insumos	S mg dm <sup>-3</sup>	Boro mg dm <sup>-3</sup>	Cobre mg dm <sup>-3</sup>	Ferro mg dm <sup>-3</sup>	Manganês mg dm <sup>-3</sup>	Zinco mg dm <sup>-3</sup>
V25	Sem insumo	4,0 <sup>a</sup>	0,15 <sup>a</sup>	0,3 <sup>b</sup>	146 <sup>a</sup>	2,3 <sup>a</sup>	0,5 <sup>b</sup>
V25	NPK	5,0 <sup>a</sup>	0,21 <sup>a</sup>	0,3 <sup>b</sup>	153 <sup>a</sup>	2,6 <sup>a</sup>	0,6 <sup>b</sup>
V25	NPK+ORG	7,0 <sup>a</sup>	0,23 <sup>a</sup>	0,7 <sup>b</sup>	138 <sup>a</sup>	2,2 <sup>a</sup>	1,1 <sup>b</sup>
V25	ORG	5,0 <sup>a</sup>	0,22 <sup>a</sup>	2,1 <sup>a</sup>	135 <sup>a</sup>	4,3 <sup>a</sup>	3,6 <sup>a</sup>
V50	Sem insumo	3,0 <sup>a</sup>	0,12 <sup>a</sup>	0,3 <sup>b</sup>	144 <sup>a</sup>	1,8 <sup>a</sup>	0,4 <sup>b</sup>
V50	NPK	3,0 <sup>a</sup>	0,21 <sup>a</sup>	0,3 <sup>b</sup>	138 <sup>a</sup>	1,8 <sup>a</sup>	0,6 <sup>b</sup>
V50	NPK+ORG	4,0 <sup>a</sup>	0,12 <sup>a</sup>	0,5 <sup>b</sup>	122 <sup>a</sup>	1,6 <sup>a</sup>	0,7 <sup>b</sup>
V50	ORG	4,0 <sup>a</sup>	0,13 <sup>a</sup>	2,2 <sup>a</sup>	138 <sup>a</sup>	4,0 <sup>a</sup>	3,2 <sup>a</sup>

Na profundidade de 20–40 cm, os valores de pH permaneceram baixos e com variação restrita entre os tratamentos, oscilando entre 3,8 e 4,0. Os teores de matéria orgânica oscilou de forma moderada, com valores mais elevados nos tratamentos com NPK+ORG, independentemente da calagem. O fósforo disponível (Presina) manteve-se em baixos teores em todos os tratamentos, sem padrão claro associado à calagem ou aos insumos.

Os teores de Al<sup>3+</sup> e H+Al foram elevados em todos os tratamentos, indicando elevada acidez potencial nessa camada do sol. Os teores de potássio (K) permaneceram baixos, com discreto aumento nos tratamentos com ORG sob V50. Para cálcio (Ca) e magnésio (Mg), observou-se incremento nos tratamentos com calagem V50, refletindo-se em altos valores de soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC) e saturação por bases (V%), embora os valores de V% tenham permanecido inferiores a 12% em todos os tratamentos (Tabela 1-12).

Tabela 1-12 Características químicas do solo na profundidade 20-40 cm sob diferentes tratamentos coletada com 12 meses de experimento.

Calagem	Insumos	pH	M,O,	Presina	Al <sup>3+</sup>	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V
		CaCl <sub>2</sub>	g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	-----mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----							%
V25	Sem insumo	3,8	19	4,0	17	75	0,3	1,0	1,0	3,0	78	3,0
V25	NPK	3,9	10	2,0	15	70	0,2	3,0	1,0	4,0	74	6,0
V25	NPK+ORG	3,8	21	5,0	13	60	0,4	2,0	2,0	4,0	64	6,0
V25	ORG	3,8	15	5,0	13	57	0,3	3,0	2,0	5,0	62	8,0
V50	Sem insumo	3,9	18	3,0	14	54	0,4	2,0	2,0	5,0	59	8,0
V50	NPK	4,0	13	7,0	16	57	0,4	5,0	2,0	8,0	65	12
V50	NPK+ORG	3,8	20	4,0	18	57	0,4	3,0	2,0	5,0	62	8,0
V50	ORG	3,9	15	3,0	17	60	0,7	4,0	3,0	7,0	67	10

Os teores de enxofre (S) oscilou entre os tratamentos. O boro (B) mostrou variação entre tratamentos com NPK, independentemente do nível de calagem. Os teores de cobre (Cu) permaneceram constantes entre os tratamentos, com valores uniformes em toda a profundidade avaliada. O ferro (Fe) teve ampla variação nos tratamentos sob V25, enquanto o manganês (Mn) manteve baixos teores em todos os tratamentos. O zinco (Zn) apresentou pequena variação nos tratamentos com ORG e NPK+ORG (Tabela 1-13).

Tabela 1-13 Características químicas do solo na profundidade 20-40 cm sob diferentes tratamentos coletada com 12 meses de experimento

Calagem	Insumos	S	Boro	Cobre	Ferro	Manganês	Zinco
		mg dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>
V25	Sem insumo	4,0	0,25	0,2	159	1,1	0,8
V25	NPK	4,0	0,36	0,2	123	0,5	0,6
V25	NPK+ORG	6,0	0,34	0,2	149	0,9	0,8
V25	ORG	6,0	0,23	0,2	149	0,7	0,9
V50	Sem insumo	7,0	0,23	0,2	137	0,7	0,2
V50	NPK	6,0	0,39	0,2	119	0,8	0,5
V50	NPK+ORG	6,0	0,33	0,2	135	0,7	0,8
V50	ORG	9,0	0,22	0,2	111	0,6	0,8

A aplicação de calagem e de diferentes fontes de insumos promoveu alterações significativas nos atributos químicos do solo, evidenciando que o manejo da fertilidade condicionou contrastes relevantes na área experimental.

Os tratamentos com maior saturação por bases elevaram o pH, aumentaram a disponibilidade de Ca e Mg e reduziram o Al<sup>3+</sup> trocável na camada de 0 a 20 cm, criando condições químicas menos restritivas ao desenvolvimento radicular e à absorção de nutrientes. Esses efeitos são amplamente descritos para solos tropicais, nos quais a correção da acidez reduz a toxicidade por alumínio e amplia o espectro de espécies capazes de se estabelecer e crescer (Bojórquez-Quintal et al., 2017; Wright et al., 2018; Silva et al., 2013), embora doses excessivas de corretivos possam comprometer a nutrição de mudas florestais (Silva et al., 2007). Em estudos, a aplicação de 250 g de calcário por cova foi suficiente para elevar a sobrevivência e o crescimento inicial, não sendo observados ganhos significativos com a duplicação dessa dosagem para as espécies estudadas (Scheer, 2017).

Além da calagem, a aplicação de adubos orgânicos e reorganizou a disponibilidade de Ca, Mg, P, K, Cu, e Zn, sobretudo na camada superficial (0–20 cm), coerente com a natureza multifatorial do solo. Em restauração por semeadura direta, atributos como fósforo disponível e saturação por bases atuam como aceleradores do crescimento e da acumulação de biomassa, sem eliminar os obstáculos iniciais que as plântulas enfrentam (Freitas et al., 2019). Assim, o uso da calagem e adubo orgânico estabelece a base sobre as quais os efeitos da fertilidade passam a exercer nos estágios subsequentes a emergências das espécies.

Em florestas tropicais em regeneração, a fertilidade do solo tende a favorecer espécies e indivíduos com maior capacidade de resposta aos nutrientes disponíveis, promovendo uma reorganização funcional da comunidade mais do que um incremento homogêneo de desempenho (Pinho et al., 2017; Teixeira et al., 2020). De forma complementar, solos ácidos e pobres em nutrientes impõem uma seleção precoce de espécies mais tolerantes, reduzindo o contingente inicial de plântulas e influenciando a trajetória sucessional desde os primeiros meses após o estabelecimento (Breugel et al., 2011; Estrada-Villegas et al., 2019).

No contexto da semeadura direta, os resultados indicam que o solo pode atuar como um filtro ambiental às espécies, independentemente do manejo adotado, impondo restrições iniciais típicas de ambientes florestais tropicais degradados, o que corrobora a fertilidade e a acidez do solo como condicionantes do sucesso da técnica (Grossnickle; South, 2017). Essa melhoria das condições químicas do solo estabelece o contexto para interpretar, no próximo capítulo, como a heterogeneidade nessas condições se traduziu em padrões de emergência, crescimento e estrutura funcional da comunidade em restauração por semeadura direta.

#### 1.4.2 Desempenho geral da restauração por semeadura direta

Os resultados a seguir referem-se ao comportamento dos indivíduos provenientes da semeadura direta e da regeneração natural após 12 meses de monitoramento (Tabela 1-14).

Tabela 1-14 Resultado da dinâmica da presença e ausência dos indivíduos durante os dias de monitoramento na semeadura direta após a implantação.

	30 dias	60 dias	90 dias	150 dias	210 dias	270 dias	360 dias
Indivíduos da regeneração natural	27	34	16	18	30	7	4
Plântulas emergidas	727	128	83	158	61	19	19
Nº de espécies	23	9	1	5	1	0	0
Mortalidade	0	12	2	40	72	53	79

Das 37 espécies semeadas, 25 espécies tiveram emergência e 12 não germinaram. Foram levantadas 14 espécies oriundas da regeneração natural. O número total foi de 39 espécies e 1331 indivíduos, entre plantados e regeneração natural aos 360 dias.

Para a semeadura foram utilizadas 28.800 sementes no total. Desconsideradas aquelas que não germinaram em laboratório, foram utilizadas aproximadamente 19.632 de sementes viáveis. Após 360 dias, foram identificados 1.195 indivíduos provenientes da semeadura direta, resultando em 4,1% de estabelecimento, valores baixos e compatíveis com taxas para semeadura direta em áreas degradadas (SOUZA; ENGEL, 2023; PIOTROWSKI et al., 2023). A mortalidade acumulada ao longo do período contribuiu para a redução progressiva do número de indivíduos estabelecidos até o 12º mês de avaliação.

Os resultados de revisão em semeadura direta aponta baixas taxas de conversão de sementes em plântulas em média (13%), refletindo a atuação simultânea de filtros abióticos e bióticos na fase de emergência, entre os principais fatores limitantes, a dessecação pré e pós-emergência, temperaturas extremas, predação de sementes e o abafamento por gramíneas exóticas, que competem intensamente por luz e nutrientes (Ferreira, 2024; Souza; Engel, 2023). A figura 1-6 registra a evolução do crescimento das espécies florestais na área durante o experimento, com 30, 90 e 360 dias após a implantação.



Figura 1-6 Evolução da semeadura direta demonstradas com a imagens de drone. Imagem A realizada em no início do experimento (março de 2024); imagem B realizada com 90 dias de instalação (maio de 2024); imagem C realizada com 360 dias após a instalação (março de 2025). Fonte Elaborado pelo autor, 2025)

Considerando as 39 espécies com identificação botânica (apêndice A), observou-se predominância da família Fabaceae, que concentrou 26,3% do total (10 espécies), seguida pelas famílias Myrtaceae, Malvaceae, Solanaceae e Euphorbiaceae, com 7,9% cada (3 espécies por família), as famílias Bignoniaceae e Lamiaceae contribuíram com 5,3% cada (2 espécies por família). As demais famílias Moraceae, Asteraceae, Arecaceae, Araliaceae, Cannabaceae, Anacardiaceae, Primulaceae, Verbenaceae, Annonaceae, Lecythidaceae, Urticaceae e Lauraceae foram representadas por apenas uma espécie cada, correspondendo individualmente a 2,6% do total. A predominância de Fabaceae é frequentemente observada em áreas em restauração inicial por semeadura direta, em função da elevada capacidade de estabelecimento e crescimento inicial (Chazdon, 2014; Souza; Engel, 2023).

Os parâmetros de emergência, sobrevivência e crescimento das espécies arbóreas apresentaram ampla variação entre as espécies avaliadas, esses resultados são descritos na tabela 1-15.

Tabela 1-15 Parâmetros de germinação, sobrevivência, crescimento e atributos funcionais das espécies arbóreas aos 12 meses após a semeadura direta. Ind. = número total de indivíduos estabelecidos; Mort. = mortalidade acumulada; Ger. Lab. = germinação em laboratório sendo RE quando regenerantes; Emergência. = germinabilidade em campo sendo RE quando regenerantes; Alt. 12M = Média das alturas dos indivíduos aos 12 meses; DC 12M = média dos diâmetros do colo aos 12 meses; Tam. Sem. = tamanho da semente (EP = extremamente pequena; P = pequena; M = média; G = grande); G. Eco. = grupo ecológico (P = pioneira; NP = não pioneira; NI = não identificada).

Acrônimo	Espécie	G. Eco.	Tam. Sem.	Ind.	Mort. (n)	Ger. Lab. (%)	Emerg. (%)	Alt. 12M (cm)	DC 12M (mm)
ACAR	<i>Actinus arborescens</i>	P	EP	24	11	14	2	74	12
AESE	<i>Aegiphila sellowiana</i>	P	P	32	6	0	1	44	10
ALNI	<i>Pseudalbizzia niopoides</i> ( <i>Spruce ex Benth.</i> ) <i>E.J.M.Koenen &amp; Duno</i> <i>var. niopoides</i>	NP	M	18	1	RE	RE	172	21
ALGL	<i>Alchornea glandulosa</i> <i>Poepp. &amp; Endl.</i>	P	P	15	1	RE	RE	103	16
ALTR	<i>Alchornea triplinervia</i> ( <i>Spreng.</i> ) <i>Müll.Arg.</i>	P	P	1	0	RE	RE	55	8
ANCA	<i>Annona cacans</i>	NP	M	7	0	1	15	15	2
CAES	<i>Cariniana estrellensis</i>	NP	P	37	13	37	26	25	6
CAFE	<i>Cassia ferruginea</i>	NP	P	5	0	5	3	64	8
CEPA	<i>Cecropia pachystachya</i> <i>Trécul</i> <i>Citharexylum</i>	P	EP	23	9	RE	RE	57	8
CIMY	<i>Myrianthum</i>	P	M	119	29	10	14	50	7
CRFL	<i>Croton floribundus</i> <i>Enterolobium</i>	P	P	102	2	7	12	154	17
ENCO	<i>contortisiliquum</i> <i>Erythrina speciosa</i>	P	M	21	0	25	15	181	32
ERSP	<i>Andrews</i> <i>Handroanthus</i>	P	M	1	0	RE	RE	102	33
HACH	<i>chrysotrichus</i> <i>Handroanthus</i>	NP	P	11	0	10	1	31	5
HAIM	<i>impetiginosus</i>	NP	P	7	0	0	1	21	5

Acrônimo	Espécie	G. Eco.	Tam. Sem.	Ind.	Mort. (n)	Ger. Lab. (%)	Emerg. (%)	Alt. 12M (cm)	DC 12M (mm)
	<i>Heliocarpus</i>								
HEPO	<i>popayanensis</i>	P	EP	9	0	11	1	161	22
HYCO	<i>Hymenaea courbaril</i>	NP	G	1	0	72	1	27	3
LUHD	<i>Luhea divaricata</i> Mart.	NP	EP	3	0	RE	RE	290	37
MATI	<i>Maclura tinctoria</i>	P	EP	4	0	8	1	106	7
MIBI	<i>Mimosa bimucronata</i>	P	EP	278	10	41	32	240	30
MYSP	<i>Myrcia spp.</i>	NP	P	8	0	RE	RE	30	5
MYCO	<i>Myrsine coriacea</i>	P	P	43	17	3	5	19	3
NI	<i>Não identificada</i>	NI	NI	32	28	RE	RE	151	27
	<i>Nectandra oppositifolia</i>								
NEOP	<i>Nees &amp; Mart.</i>	NP	M	2	1	RE	RE	20	3
ORAR	<i>Ormosia arborea</i>	NP	M	7	3	15	5	10	3
	<i>Pseudobombax</i>								
PSGR	<i>grandiflorum</i>	NP	P	15	1	6	8	40	12
PCAT	<i>Psidium cattleyanum</i>	NP	P	116	22	33	13	10	1
PSGU	<i>Psidium guajava</i> L.	P	P	25	0	RE	RE	91	9
SCTE	<i>Schinus terebinthifolia</i>	P	P	91	7	3	4	111	11
SCPA	<i>Schizolobium parahyba</i>	P	G	34	2	53	71	124	32
SEMU	<i>Senna multijuga</i>	P	P	107	9	15	12	174	19
	<i>Sesbania virgata</i> (Cav.)								
SEVI	<i>Poir.</i>	P	EP	1	0	RE	RE	251	14
SODE	<i>Solanum delicatulum</i>	P	EP	98	27	11	11	101	18
	<i>Solanum mauritianum</i>								
SOMA	<i>Scop.</i>	P	EP	2	0	RE	RE	94	8
SOPA	<i>Solanum paniculatum</i> L.	P	EP	9	2	RE	RE	119	19
SYRO	<i>Syagrus romanzoffiana</i>	NP	G	3	1	0	1	15	3
TRMI	<i>Trema micrantha</i>	P	EP	18	2	2	2	66	6
	<i>Vernonanthura</i>								
VEPO	<i>polyanthes</i>	P	EP	1	0	1	1	135	27
	<i>Vitex megapotamica</i>								
VIME	<i>(Spreng.) Moldenke</i>	NP	M	1	0	RE	RE	192	24

Os maiores índices de abundância foram registrados para *Mimosa bimucronata* (278 indivíduos), *Citharexylum myrianthum* (119) e *Psidium cattleyanum* (116). Em contraste, diversas espécies ocorreram de forma reduzida, com até três indivíduos estabelecidos, como *Hymenaea courbaril*, *Syagrus romanzoffiana* e *Vitex megapotamica*.

A mortalidade acumulada também variou entre as espécies, com valores nulos e máximos de 29 indivíduos em *Citharexylum myrianthum*. Espécies com maior número de indivíduos estabelecidos exibiu, maiores valores de mortalidade, enquanto espécies com baixa densidade inicial tiveram mortalidade reduzida ou ausente.

Os resultados demonstram variabilidade na germinação em laboratório, com maiores percentuais em *Hymenaea courbaril* (72%) e *Schizolobium parahyba* (53%), enquanto espécies como *Syagrus romanzoffiana*, *Handroanthus impetiginosus* e *Aegiphila sellowiana* não germinaram. Em campo, por outro lado, destacaram-se *Schizolobium parahyba* (71%), *Mimosa bimucronata* (32%) e *Cariniana estrellensis* (26%). Esse resultado evidencia diferenças entre a germinação em condições controladas e o estabelecimento efetivo no ambiente restaurado.

Esse padrão sugere a atuação de filtros ambientais, como elevada radiação solar e flutuações térmicas, que podem limitar o estabelecimento e favorecer espécies mais tolerantes ao estresse, influenciando a estrutura inicial da comunidade (Norden et al., 2012; Lohbeck et al., 2014).

Quanto ao crescimento médio individual (Tabela 1-15), expresso pela altura aos 12 meses, os menores valores médios foram observados em *Nectandra oppositifolia* e *Psidium cattleianum*, com indivíduos de pequeno porte ao final do primeiro ano, enquanto os maiores valores médios ocorreram em espécies pioneiras de rápido crescimento, com destaque para *Mimosa bimucronata*, *Schizolobium parahyba*, *Senna multijuga* e *Croton floribundus*, que teve os maiores incrementos médios em altura. Espécies como *Schinus terebinthifolia* e *Solanum delicatulum* também se destacaram com crescimento médio intermediário a elevado, refletindo maior desempenho inicial sob as condições de semeadura direta. Esse padrão é consistente com o desempenho superior de estratégias aquisitivas em ambientes abertos e recém restaurados, (Norden et al., 2012; Lohbeck et al., 2014). A capacidade de captura de recursos e ocupação do dossel é provavelmente associada a dominância, permitindo que essas espécies pioneiras superem as condições e iniciem o fechamento do dossel, preparando o ambiente para a sucessão de espécies tardias menos tolerantes ao estresse inicial causada pela incidência solar.

Resultados experimentais (Scheer et al., 2017) indicam que o incremento de fertilizante NPK (5-20-10) pode induzir respostas de crescimento em espécies como *Schinus terebinthifolius* e *Luehea divaricata*, evidenciando elevada dependência nutricional dessas espécies em solos degradados. Aos dois anos de plantio, *Schinus terebinthifolia* apresentou o melhor desempenho silvicultural, consolidando-se como espécie adaptável e indicada para o recobrimento rápido de áreas degradadas, atributo à maior eficiência no uso de nutrientes e à capacidade de suportar estresse hídrico comum em ambientes com baixa cobertura do solo (Scheer et al., 2017).

Em relação ao diâmetro do colo (DC) médio aos 12 meses, observou-se padrão semelhante ao da altura, com menores valores médios em espécies de crescimento mais lento e estabelecimento tardio, como *Hymenaea courbaril* e *Nectandra oppositifolia*, e maiores valores médios em espécies pioneiras de rápido crescimento, especialmente *Mimosa bimucronata*, *Schizolobium parahyba*, *Senna multijuga* e *Croton floribundus*, indicando maior alocação em estrutura lenhosa.

Quanto aos grupos sucessionais predominou o estabelecimento de espécies pioneiras, associadas principalmente a sementes extremamente pequenas a pequenas. Espécies não pioneiras ocorreram em menor número de indivíduos estabelecidos e, em geral, apresentaram

menores valores médios de altura e diâmetro ao coleto (DC) aos 360 dias, distribuindo-se entre classes de sementes pequenas a grandes. A predominância de espécies pioneiras no estabelecimento inicial é consistente com o esperado para ambientes abertos, nos quais filtros ambientais, como elevada radiação solar e maior variabilidade microclimática, favorecem espécies com estratégias de rápido estabelecimento e crescimento (Norden et al., 2012; Lohbeck et al., 2014).

Para compreender a dinâmica e a estrutura geral da comunidade vegetal após 12 meses, realizou-se a análise fitossociológica da área experimental (Tabela 1-16). O resultado geral da área, agrupando todos os tratamentos, com o intuito de caracterizar as espécies dominantes refletindo o comportamento da vegetação sob a influência dos diferentes gradientes de fertilidade.

Tabela 1-16 Tabela fitossociológica geral da área experimental no 12º mês de monitoramento. Ranqueamento organizado para as espécies de maior IVI. DeR = Densidade Relativa; DoR = Dominância Relativa; FrA = Frequência Absoluta; FrR = Frequência Relativa; IVI = Índice de Valor de Importância; VI (%) = Valor de Importância percentual; IVC = Índice de Valor de Cobertura; VC (%) = Valor de Cobertura percentual.

Especie	DeR	DoR	FrA	FrR	IVI	VI (%)	IVC	VC (%)
<i>Mimosa bimucronata</i>	23,8	51,88	1,0	6,27	81,95	27,32	75,68	37,84
<i>Solanum delicatulum</i>	6,31	12,93	0,88	5,48	24,71	8,24	19,23	9,62
<i>Senna multijuga</i>	8,61	7,1	1,0	6,27	21,98	7,33	15,72	7,86
<i>Croton floribundus</i>	8,88	6,02	1,0	6,27	21,17	7,06	14,9	7,45
<i>Citharexylum myrianthum</i>	7,99	0,81	1,0	6,27	15,07	5,02	8,81	4,4
<i>Schinus terebinthifolia</i>	7,46	1,81	0,92	5,74	15,02	5,01	9,27	4,64
<i>Psidium cattleianum</i>	8,35	0,04	0,92	5,74	14,13	4,71	8,39	4,19
<i>Schizolobium parahyba</i>	2,84	5,89	0,83	5,22	13,96	4,65	8,73	4,37
<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	1,87	4,45	0,58	3,66	9,97	3,32	6,32	3,16
<i>Aegiphila sellowiana</i>	2,31	1,26	0,67	4,18	7,75	2,58	3,57	1,79
<i>Cariniana estrellensis</i>	2,13	0,35	0,67	4,18	6,66	2,22	2,49	1,24
<i>Albizia niopoides</i>	1,51	1,89	0,46	2,87	6,27	2,09	3,4	1,7
<i>Myrsine coriacea</i>	2,31	0,03	0,62	3,92	6,26	2,09	2,34	1,17
<i>Psidium guajava</i>	2,22	0,41	0,46	2,87	5,5	1,83	2,63	1,31
<i>Alchornea grandulosa</i>	1,24	0,77	0,46	2,87	4,88	1,63	2,01	1,0
<i>Pseudobombam grandiflorum</i>	1,24	0,41	0,5	3,13	4,78	1,59	1,65	0,82
<i>Trema micrantha</i>	1,42	0,1	0,5	3,13	4,65	1,55	1,52	0,76
<i>Cecropia pachystachya</i>	1,24	0,15	0,46	2,87	4,27	1,42	1,39	0,7
<i>Actinus arboreus</i>	1,15	0,37	0,42	2,61	4,13	1,38	1,52	0,76
<i>Heliocarpus popayanensis</i>	0,8	0,8	0,29	1,83	3,43	1,14	1,6	0,8
<i>Handroanthus chrysotrichus</i>	0,98	0,05	0,33	2,09	3,12	1,04	1,03	0,52
<i>Handroanthus impetiginosus</i>	0,62	0,03	0,29	1,83	2,48	0,83	0,65	0,33
<i>Solanum paniculatum</i>	0,62	0,46	0,21	1,31	2,39	0,8	1,08	0,54
N.I.	0,36	0,81	0,17	1,04	2,21	0,74	1,17	0,58
<i>Annona cacans</i>	0,62	0,01	0,25	1,57	2,19	0,73	0,63	0,31
<i>Myrcia spp</i>	0,71	0,03	0,17	1,04	1,78	0,59	0,74	0,37
<i>Cassia ferruginea</i>	0,44	0,06	0,17	1,04	1,55	0,52	0,5	0,25
<i>Ormosia arborea</i>	0,36	0	0,17	1,04	1,4	0,47	0,36	0,18
<i>Luhea divaricata</i>	0,27	0,63	0,04	0,26	1,16	0,39	0,89	0,45
<i>Maclura tinctoria</i>	0,36	0,04	0,08	0,52	0,91	0,3	0,39	0,2
<i>Solanum mauritanium</i>	0,18	0,02	0,08	0,52	0,72	0,24	0,2	0,1
<i>Syagrus romanzifolia</i>	0,18	0	0,08	0,52	0,7	0,23	0,18	0,09
<i>Erythrina speciosa</i>	0,09	0,16	0,04	0,26	0,51	0,17	0,25	0,13
<i>Vernonia polyanthes</i>	0,09	0,1	0,04	0,26	0,45	0,15	0,19	0,1
<i>Vitex megapotamica</i>	0,09	0,08	0,04	0,26	0,43	0,14	0,17	0,09

Especie	DeR	DoR	FrA	FrR	IVI	VI (%)	IVC	VC (%)
<i>Sesbania virgata</i>	0,09	0,03	0,04	0,26	0,38	0,13	0,12	0,06
<i>Alchornea triplinervia</i>	0,09	0,01	0,04	0,26	0,36	0,12	0,1	0,05
<i>Nectandra oppositifolia</i>	0,09	0	0,04	0,26	0,35	0,12	0,09	0,04
<i>Hymenea courbaril</i>	0,09	0	0,04	0,26	0,35	0,12	0,09	0,05

O Maricá obteve o maior Índice de Valor de Importância (IVI), principalmente em função de sua elevada dominância relativa, associada à maior contribuição em área basal. Em seguida, Joá, Caquera e Capixingui com IVI intermediários, com diferentes combinações entre densidade e dominância relativas. As demais espécies tiveram menores valores de IVI. Esse padrão de dominância inicial é recorrente em estágios iniciais de sucessão, nos quais pequenas vantagens iniciais de estabelecimento e crescimento se acumulam e se traduzem em dominância estrutural precoce (Putten et al., 2000; Lohbeck et al., 2014; Norden et al., 2012).

As espécies com maior IVI também apresentaram alta frequência relativa, indicando ampla distribuição entre as unidades amostrais. *Mimosa bimucronata*, *Croton floribundus*, *Citharexylum myrianthum* e *Senna multijuga* ocorreram de forma consistente nos blocos e tratamentos avaliados, evidenciando sua contribuição simultânea para a estrutura espacial e para a organização da comunidade no período analisado, com potencial de modificação do ambiente e da disponibilidade de recursos para espécies de ordem secundária (Chazdon, 2014; Wilfahrt; Halliday; Heckman, 2020).

A análise fitossociológica aos 12 meses evidencia que, apesar da riqueza de espécies, a organização estrutural da comunidade em restauração por semeadura direta foi fortemente determinada por um conjunto restrito de espécies dominantes e amplamente distribuídas, padrão típico de sistemas em estágios iniciais de sucessão sob filtros ambientais e efeito de prioridade temporal (Lohbeck et al., 2014; Fu et al., 2023).

As assimetrias estruturais estabelecidas nos primeiros meses tendem a exercer efeitos persistentes sobre a dinâmica da comunidade, influenciando processos de facilitação, competição e recrutamento (Chazdon, 2014; Lohbeck et al., 2014, Silva, 2025). A predominância inicial de estratégias mais aquisitivas pode reduzir limitações microclimáticas e favorecer o estabelecimento de espécies funcionalmente distintas, atuando como mecanismo de facilitação em sistemas restaurados por semeadura direta (Norden et al., 2014; Fu et al., 2023).

#### 1.4.3 Desempenho por tratamentos da restauração por semeadura direta

A avaliação do desempenho da restauração por semeadura direta sob diferentes combinações de calagem e insumos permite investigar como o manejo da fertilidade do solo

influencia a composição, a distribuição e o estabelecimento das espécies no primeiro ano (Tabela 1-17).

Tabela 1-17 Resultados médios aos 360 dias da estrutura da comunidade vegetal e grupos funcionais ecológicos em função dos níveis de calagem e dos tipos de insumos aplicados. Ind. = número total de indivíduos; Espécies = riqueza de espécies; Emerg. (%) = porcentagem de emergência; Mort. (n) = número de indivíduos mortos; NP = espécies não pioneiras; P = espécies pioneiras; EP = espécies de sementes extremamente pequenas; M = espécies de sementes médias; G = espécies de sementes grandes. Diferenças significativas indicadas pela ANOVA não foram confirmadas nas comparações múltiplas (Sidak,  $p > 0,05$ ).

Calagem	Insumos	Ind.	Espécies	Emerg. (%)	Mort. (n)	NP	P	EP	P	M	G
V25	Sem insumo	48	16	3	7	11	37	15	21	9	2
V25	NPK	55	19	4	7	11	43	20	26	7	2
V25	NPK+ORG	58	18	4	9	11	47	20	30	7	2
V25	ORG	59	16	5	11	6	53	22	28	7	1
V50	Sem insumo	60	18	4	12	10	50	22	27	10	2
V50	NPK	57	18	4	7	9	48	21	28	7	1
V50	NPK+ORG	54	20	4	8	17	37	19	23	10	1
V50	ORG	43	16	3	6	6	37	18	17	6	2

A composição funcional da comunidade foi caracterizada pelo predomínio de espécies pioneiras (79%), seguidas por não pioneiras (18%) e não identificadas (2%). Quanto ao tamanho das sementes, sementes pequenas representaram 45% das espécies estabelecidas, seguidas por sementes extremamente pequenas (35%), médias (14%), grandes (3%) e não identificadas (2%). Em relação às espécies de sementes extremamente pequenas (EP), foi observado efeito significativo da calagem ( $F = 5,33$ ;  $p = 0,037$ ), enquanto os insumos e a interação entre os tratamentos não apresentaram efeito.

Para o grupo de espécies pioneiras (P), a ANOVA indicou efeito marginal ( $p = 0,053$ ) entre a interação de calagem e insumos. Os demais atributos da comunidade, incluindo número total de indivíduos, riqueza de espécies, porcentagem de emergência, mortalidade, abundância de espécies não pioneiras e os grupos definidos pelo tamanho das sementes (pequenas, médias e grandes), não tiveram diferenças estatisticamente significativas em resposta aos níveis de calagem, aos insumos ou à interação entre esses fatores.

A baixa emergência e a mortalidade inicial observadas pode ser dado a atuação conjunta de fatores bióticos e abióticos inerentes à técnica de semeadura direta, como predação de sementes, variações hídricas, competição inicial com a vegetação espontânea e estresses químicos do solo, padrão recorrente em áreas em restauração por sementes (Breugel et al., 2011; Varma; Iyengar; Sankaran, 2016; Larson et al., 2023). Em conjunto, os resultados indicam que, no período avaliado, a comunidade foi funcionalmente dominada por espécies pioneiras e de sementes pequenas, com essas respostas iniciais limitadas e pouco consistentes aos fatores de manejo.

Nos estágios iniciais de avaliação (30, 60 e 90 dias após o plantio), não foram observadas diferenças estatisticamente consistentes entre os níveis de calagem e as fontes de adubação para a altura das plantas (Tabela 1-18), indicando crescimento inicial semelhante entre os tratamentos.

Tabela 1-18 Valores médios de altura das plantas (cm) em função de diferentes níveis de calagem e fontes de adubação, avaliados em intervalos de 30 a 210 dias após o plantio.

Calagem	Insumos	30 dias	60 dias	90 dias	150 dias	210 dias
V25	Sem insumo	2.7	5.7	8.7	12.9 <sup>b</sup>	26.5 <sup>b</sup>
V25	NPK	2.7	5.9	8.1	12.0 <sup>b</sup>	26.4 <sup>b</sup>
V25	NPK+ORG	3.5	7.0	10.8	16.6 <sup>b</sup>	39.6 <sup>ab</sup>
V25	ORG	2.7	7.0	11.0	18.7 <sup>b</sup>	40.8 <sup>ab</sup>
V50	Sem insumo	2.6	6.3	11.2	17.4 <sup>a</sup>	40.1 <sup>ab</sup>
V50	NPK	2.0	5.8	10.5	18.0 <sup>a</sup>	39.6 <sup>ab</sup>
V50	NPK+ORG	2.7	7.5	13.4	22.1 <sup>a</sup>	49.6 <sup>a</sup>
V50	ORG	2.4	7.3	13.6	24.5 <sup>a</sup>	51.4 <sup>a</sup>

A partir de 150 dias após o plantio, os tratamentos com saturação de base (V) 50% apresentaram diferenças estatísticas ( $p = 0,039$ ) e os maiores valores médios de altura. Esse intervalo temporal coincide com o período em que os atributos químicos do solo passaram a responder de forma mais consistente à calagem (Tabela 1-6), indicando concomitância temporal entre a melhoria das condições edáficas e o aumento do crescimento médio das plantas (Silva et al., 2013; Wright et al., 2018).

Aos 210 dias, os efeitos da calagem ( $p = 0,045$ ) e do uso de insumo ( $p = 0,030$ ) mantiveram-se evidentes, com maiores valores médios de altura para o insumo ORG e NPK+ORG, em comparação aos tratamentos sem adubação ou com NPK isolado, particularmente sob calagem de 25%. Esse padrão coincide com o período em que os resultados químicos do solo passam a evidenciar maior diferenciação associada ao tipo de insumo aos 360 dias (Tabela 1-10), com destaque para os tratamentos com insumo orgânico, indicando concomitância temporal entre a resposta da fertilidade do solo e o aumento do crescimento médio das plantas.

Aos 270 dias (Tabela 1-19), os maiores valores médios de altura foram observados nos tratamentos com calagem associados às fontes orgânicas e organominerais (ORG e NPK+ORG), com efeito significativo dos insumos ( $p = 0,010$ ) e não significativo da calagem ( $p = 0,090$ ). Para o diâmetro do colo, verificaram-se efeitos significativos da calagem ( $p = 0,044$ ) e dos insumos ( $p = 0,0006$ ), com maiores valores nos tratamentos com ORG e NPK+ORG.

Tabela 1-19 Valores médios de altura da planta (cm) e diâmetro do colo (mm) em função de diferentes níveis de calagem e fontes de adubação, avaliados em intervalos de 270 e 360 dias após o plantio. Alt.= Altura; DC. = Diâmetro do colo.

Calagem	Insumos	270 dias Alt.	270 dias DC.	360 dias Alt.	360 dias DC.
V25	Sem insumo	39.5 <sup>b</sup>	7.8 <sup>b</sup>	97.6 <sup>b</sup>	10.6 <sup>b</sup>
V25	NPK	39.0 <sup>b</sup>	8.0 <sup>b</sup>	87.5 <sup>b</sup>	12.3 <sup>b</sup>
V25	NPK+ORG	58.7 <sup>ab</sup>	13.9 <sup>a</sup>	118.3 <sup>ab</sup>	16.6 <sup>b</sup>
V25	ORG	63.1 <sup>ab</sup>	12.2 <sup>a</sup>	126.6 <sup>ab</sup>	17.3 <sup>ab</sup>
V50	Sem insumo	66.4 <sup>ab</sup>	10.2 <sup>b</sup>	140.1 <sup>ab</sup>	18.0 <sup>ab</sup>
V50	NPK	63.7 <sup>ab</sup>	11.0 <sup>b</sup>	137.3 <sup>ab</sup>	16.4 <sup>b</sup>
V50	NPK+ORG	87.5 <sup>a</sup>	15.0 <sup>a</sup>	168.0 <sup>a</sup>	22.5 <sup>a</sup>
V50	ORG	80.0 <sup>a</sup>	17.1 <sup>a</sup>	153.1 <sup>a</sup>	20.3 <sup>ab</sup>

Aos 360 dias, a altura foi influenciada significativamente pela calagem ( $p = 0,0006$ ) e pelos insumos ( $p = 0,009$ ), com maiores valores médios nos tratamentos com calagem a 50% associados às fontes orgânica e NPK+ORG. Para o diâmetro do colo, observou-se efeito significativo apenas dos insumos ( $F = 3,7$ ;  $p = 0,030$ ), com maiores valores médios nos tratamentos que incluíram fontes orgânicas.

De forma consistente, entre 210 até 360 dias, os tratamentos com fontes orgânicas, isoladas ou combinadas ao NPK, apresentaram os maiores incrementos em altura e diâmetro do colo, especialmente quando associados ao maior nível de calagem. Esse padrão temporal acompanha a maior diferenciação dos atributos químicos do solo observada aos 360 dias (Tabela 10), indicando que os efeitos do manejo da fertilidade no solo sobre o crescimento se expressaram de forma progressiva ao longo do tempo, conforme descrito para solos tropicais ácidos submetidos à correção e ao aporte de matéria orgânica (Silva et al., 2013; Wright et al., 2018).

Em ambientes com correção da acidez e maior disponibilidade de nutrientes, observou-se maior crescimento das espécies com elevado potencial, refletindo uma reorganização das espécies associada à redução do estresse químico do solo (Silva et al., 2013; Wright et al., 2018). Em contraste, tratamentos com menor intervenção mantiveram filtros edáficos mais severos e isso limitou o crescimento das espécies resultando em comunidades estruturalmente mais simplificadas, conforme descrito para sistemas em restauração sob filtros ambientais (Lohbeck et al., 2014; Pinho et al., 2017).

Resultados experimentais indicam que a fertilização, tanto mineral (NPK) quanto orgânica (cama de frango), promove incremento significativo na biomassa total e no crescimento em altura de plântulas em comparação ao controle não fertilizado, com desempenho frequentemente superior da adubação orgânica, em função da liberação gradual de nutrientes e da melhoria das condições físicas do solo no sulco de plantio (Silva et al., 2015).

O aporte de matéria orgânica ao solo, associado ao aumento da CTC, das bases trocáveis e da disponibilidade de N e P, tem sido positivamente relacionado ao crescimento em diâmetro (área basal) e à complexidade estrutural de florestas restauradas, com variação espacial consistente ao longo de gradientes de fertilidade (Kobal et al., 2015; estrada-Villegas et al., 2019; Silva, 2025). Esse padrão sustenta a interpretação de que insumos orgânicos são capazes de reconfigurar a fertilidade do solo de forma mais persistente do que fontes exclusivamente minerais, com implicações para a estrutura inicial da comunidade.

Por fim, os resultados corroboram evidências experimentais de que a adição de nutrientes exerce influência mais consistente sobre o crescimento após 150 dias do que sobre os processos iniciais de emergência, especialmente em solos ácidos e bem drenados (Fujii, 2014; Tandalla et al., 2024). Em longos períodos, áreas com maiores teores iniciais de matéria orgânica e nutrientes apresentam maior velocidade de recuperação da estrutura florestal, resultando em comunidades mais densas, estratificadas e com maior área basal ao longo do tempo (Silva, 2025).

#### 1.4.4 Análises múltiplas

As matrizes de correlação (Figura 1-8) evidenciaram forte integração entre os atributos químicos do solo e o desenvolvimento das plantas, com padrões altamente consistentes entre a altura média e o diâmetro médio do colo aos 360 dias após início do experimento. Ambos os indicadores de crescimento demonstraram correlações positivas com atributos associados à fertilidade básica do solo, como cálcio e saturação por bases. Em contraste, o alumínio trocável e acidez potencial demonstrou correlação negativa acentuada com as duas variáveis de crescimento, indicando restrição do desenvolvimento vegetal sob maior acidez e toxicidade química, padrão recorrente em solos tropicais ácidos (Bojórquez-Quintal et al., 2017; Silva et

al., 2013; Wright et al., 2018). Observou-se ainda elevada correlação entre os próprios atributos químicos do solo, refletindo a natureza integrada do sistema edáfico.

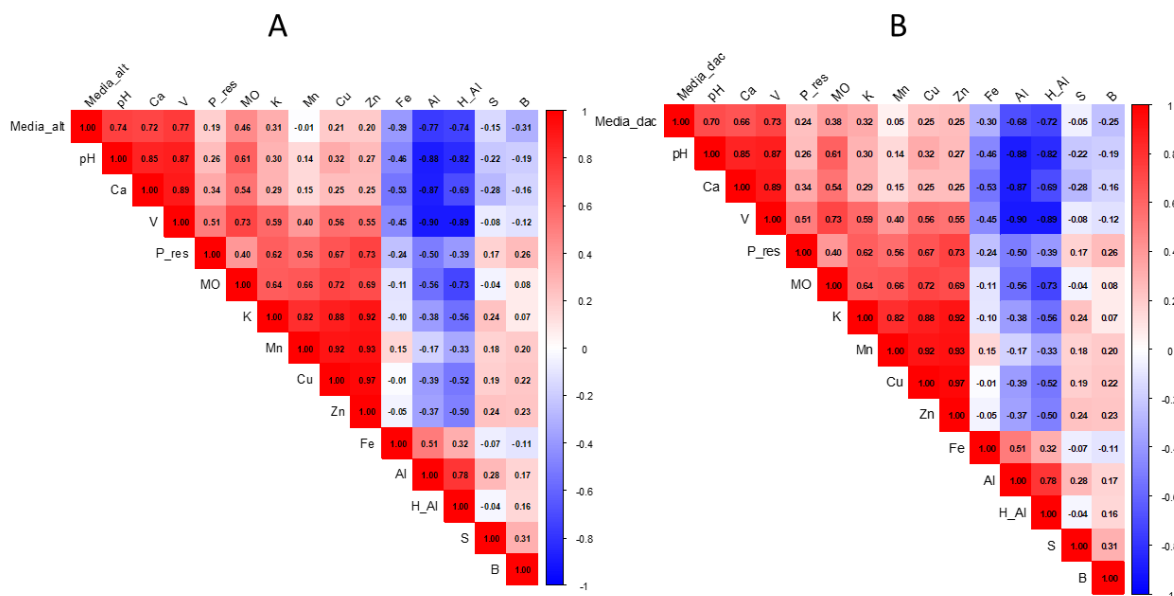


Figura 1-7 Matrizes de correlação de Pearson entre atributos químicos do solo e indicadores de crescimento: altura média (A) e diâmetro médio do colo (B). O gradiente de cores indica a força da associação, evidenciando correlações positivas entre o crescimento e a fertilidade (Ca, SB, MO) e correlações negativas como o alumínio trocável (Al) e ferro (Fe).

A regressão múltipla com seleção automática de variáveis pelo critério de informação de Akaike (AIC), utilizando o procedimento stepwise, identificou subconjuntos de atributos químicos do solo com maior poder explicativo estatístico para o crescimento das plantas. Para a altura média, o modelo selecionado incluiu fósforo disponível, cálcio, manganês, zinco, boro e ferro, com poder explicativo de  $R^2 = 0,75$  ( $p < 0,001$ ). Para o diâmetro médio do colo, o modelo selecionado incluiu zinco, alumínio, cálcio, magnésio, pH, ferro, boro, fosforo, matéria orgânica, potássio e manganês, com poder explicativo de  $R^2 = 0,61$  ( $p < 0,01$ ).

A seleção recorrente de atributos associados à fertilidade básica, à disponibilidade de nutrientes e à toxicidade química reflete a forte colinearidade entre os atributos do solo e indica que o crescimento respondeu a atributos químicos multielementares, e não a fatores isolados (Bojórquez-Quintal et al., 2017; Silva et al., 2013).

A comparação entre os coeficientes padronizados dos modelos stepwise para altura e diâmetro do colo (Figura 1-9) evidenciou diferenças na contribuição relativa dos atributos químicos. Enquanto o crescimento em altura apresentou maior sensibilidade relativa a micronutrientes, o crescimento em diâmetro refletiu de forma mais equilibrada o balanço entre

fertilidade básica e disponibilidade de nutrientes, indicando respostas complementares dos dois atributos de crescimento a mesma fertilidade química do solo (Poorter et al., 2012; Pinho et al., 2017).

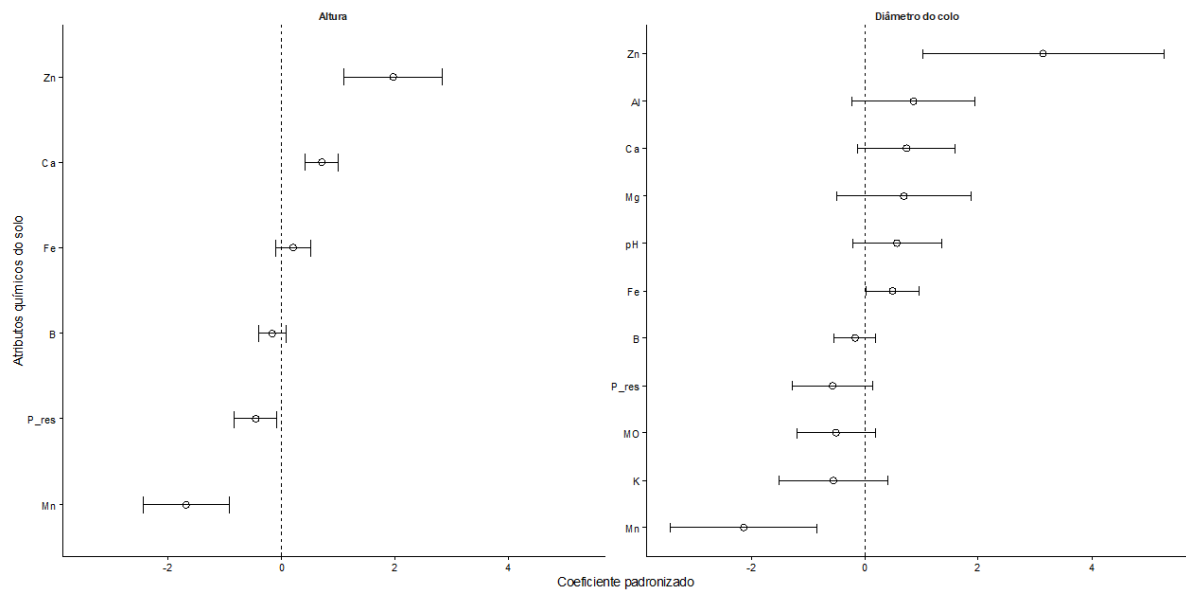


Figura 1-8 Coeficientes padronizados dos modelos de regressão múltipla selecionados pelo procedimento stepwise para o crescimento em altura (Média Altura) e para o diâmetro médio do colo (Média DC). Os pontos representam as estimativas dos coeficientes padronizados e as barras horizontais indicam os intervalos de confiança.

A Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada às médias dos tratamentos (Figura 1-10) evidenciou forte estruturação multivariada dos dados, com os dois primeiros eixos explicando 73,4% da variação total (Dimensão 1 = 48,1%; Dimensão 2 = 25,4%). A Dimensão 1 representou um gradiente associado ao desempenho das plantas e às condições edáficas, com valores positivos para altura, diâmetro do colo, volume, P\_resina, Zn e grupo ecológico de não pioneiras, e carga negativa para Al e Mn. Nesse eixo, os tratamentos 50\_ORG, 25\_ORG e 50\_NPK\_ORG posicionaram-se no extremo positivo, enquanto 25\_NPK, 25\_SEMINS e 50\_SEMINS agruparam-se no extremo negativo. A Dimensão 2 esteve associada a atributos funcionais de estabelecimento inicial, destacando-se grupo ecológico de pioneiras, sementes extremamente pequenas e emergência, refletindo um gradiente funcional de colonização inicial.

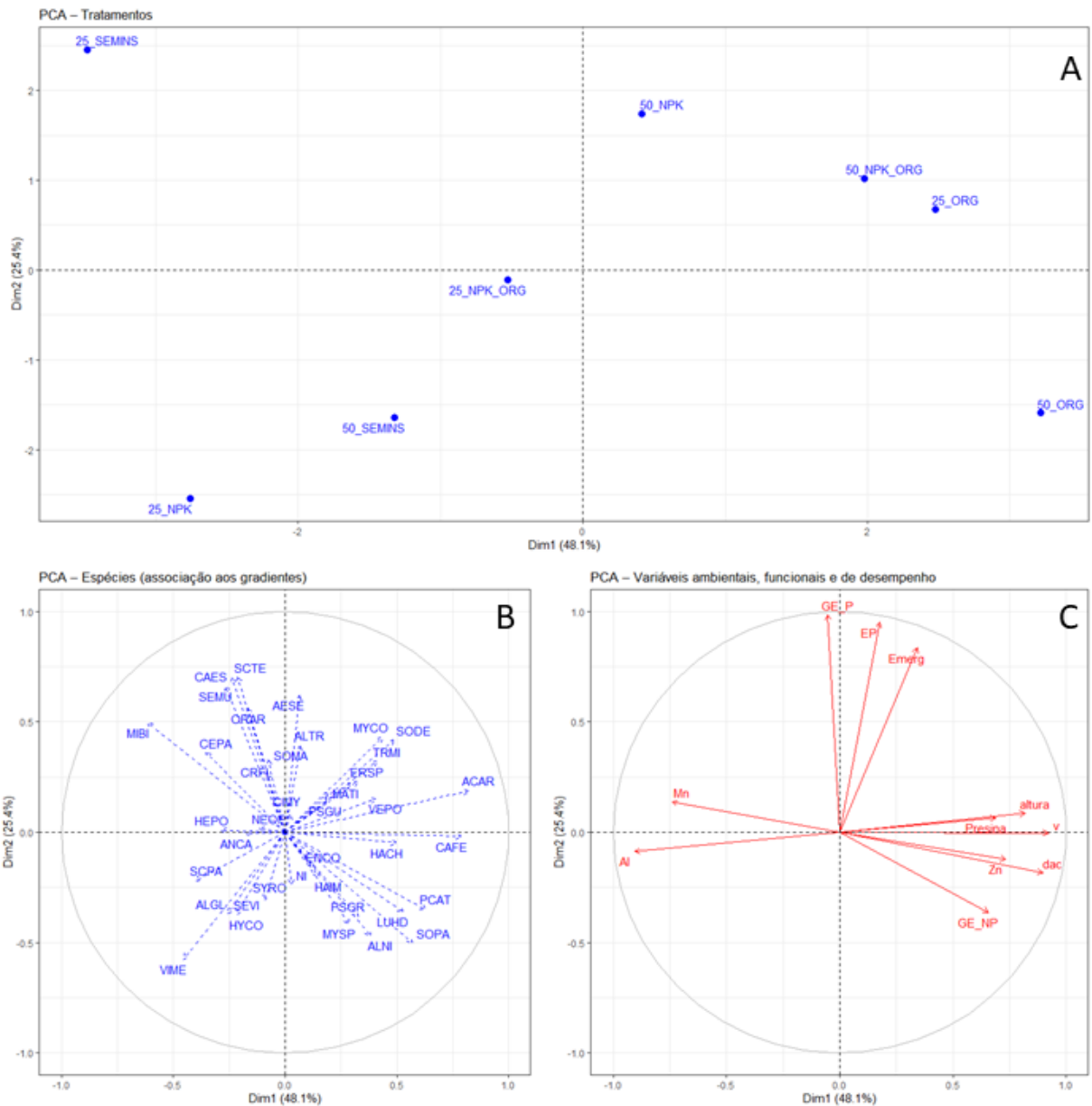


Figura 1-9 Ordenação multivariada por Análise de Componentes Principais (PCA). (A) Distribuição dos tratamentos nos dois primeiros eixos da PCA. (B) Projeção das espécies como variáveis suplementares, indicando sua associação aos gradientes de fertilidade. (C) Vetores das variáveis ambientais, funcionais e de desempenho das plantas utilizadas como variáveis ativas na construção dos eixos.

A projeção das espécies como variáveis suplementares indicou associações coerentes com os gradientes definidos pelos dois primeiros eixos. Espécies posicionadas no quadrante positivo da Dimensão 1 estiveram associadas a ambientes com maior crescimento e menor toxicidade por alumínio, enquanto espécies associadas a valores elevados da Dimensão 2 demonstrou afinidade com estratégias de rápida colonização, típicas de comunidades dominadas por pioneiras (Breugel et al., 2011; Wright et al., 2018; Fujii et al., 2017).

De forma convergente, as análises de correlação, regressão múltipla e ordenação multivariada indicaram que o crescimento inicial da comunidade florestal respondeu a diferenças químicas no solo multielementares estruturados pelo manejo.

Altura média e diâmetro do colo apresentaram relações positivas com atributos vinculados à fertilidade básica e ao aporte de insumos orgânicos (Ca, SB, P disponível, MO e micronutrientes metálicos), enquanto o alumínio trocável teve associação negativa. Esse padrão reforça que o crescimento inicial não respondeu à ação isolada de nutrientes específicos, mas à reorganização integrada das condições químicas do solo, conforme descrito para florestas tropicais em ambientes edáficos limitantes (Breugel et al., 2011; Wright et al., 2018; Fujii et al., 2017).

A PCA sintetizou essas relações ao evidenciar que os maiores valores de altura e diâmetro do colo se concentraram em ambientes caracterizados por maior saturação por bases, menor toxicidade por alumínio e maior disponibilidade de nutrientes, confirmando que o solo atuou como mediador das respostas iniciais em sistemas de restauração por semeadura direta (Pinho et al., 2017; Teixeira et al., 2020).

Resultados em floresta ripária restaurada indicam que gradientes iniciais de fertilidade do solo, explicam grande parte da variação espacial da estrutura florestal mais de uma década após a implantação da restauração, com ganhos em área basal, densidade de indivíduos, estratificação vertical e produção de serapilheira (Silva, 2025). As condições do solo não afetam apenas o desempenho precoce das plantas, mas condiciona a organização estrutural da comunidade em estágios mais avançados da sucessão.

## 1.5 CONSIDERAÇÕES GERAIS

A baixa emergência e a mortalidade nos estágios iniciais da semeadura direta evidenciam o balanço entre redução de custos operacionais e menor controle sobre o estabelecimento das plântulas. Embora o método seja reconhecido como economicamente viável e logisticamente mais simples comparado ao plantio de mudas, esses ganhos iniciais podem ser compensados por riscos ecológicos, como falhas localizadas de estabelecimento, concentração de dominância em poucas espécies e a necessidade de intervenções complementares ao longo do tempo, incluindo enriquecimentos e manejo prolongado da vegetação competidora (Ceccon et al., 2016; Grossnickle; Ivetić, 2017; Souza; Engel, 2023).

Mesmo sob condições químicas do solo relativamente favoráveis, a semeadura direta tende a apresentar maior variabilidade de desempenho do que o plantio de mudas, o que reforça seu uso estratégico em projetos de restauração em larga escala, nos quais a relação custo-benefício e a capacidade de cobertura rápida da área são critérios centrais de decisão (Ferreira et al., 2022). Não há método universalmente superior para restauração ecológica; a escolha é fortemente dependente do contexto do local, climático e socioeconômico, bem como dos objetivos ecológicos e operacionais do projeto (Leverkus et al., 2021).

Do ponto de vista sucessional, ao favorecer o estabelecimento de espécies pioneiras e funcionalmente adaptadas às condições iniciais do local, a semeadura direta contribui para a rápida ocupação do espaço, o aumento da cobertura vegetal e a modificação progressiva do microambiente, processos-chave para a transição entre estágios iniciais e intermediários da sucessão. Esse papel é amplamente reconhecido na literatura, que destaca a importância das espécies iniciais na redução do estresse abiótico e na criação de condições mais favoráveis ao recrutamento subsequente (Chazdon, 2014; Lohbeck et al., 2014). Embora a dominância funcional inicial possa reduzir temporariamente a diversidade funcional, esse padrão tende a ser transitório, diminuindo à medida que filtros bióticos, como competição interespecífica e partição de nichos, passam a atuar ao longo da sucessão (Norden et al., 2012).

Do ponto de vista operacional, a efetividade da semeadura direta depende do atendimento a condições mínimas de implantação, incluindo manejo inicial do solo, controle da vegetação competidora (especialmente gramíneas) e seleção de espécies com atributos funcionais. Nesse contexto, a calagem e o uso de insumos orgânicos e/ou minerais assumem papel importante não como garantidores do estabelecimento inicial, mas como ferramentas para atenuar restrições edáficas, reduzir a toxicidade por alumínio e criar condições mais favoráveis para que os indivíduos que superam a fase crítica inicial expressem maior crescimento e

desempenho funcional ao longo do tempo. Revisões sobre semeadura direta em reflorestamento indicam que a fertilidade do solo e o preparo do local figuram entre os principais determinantes do sucesso da técnica, especialmente em ambientes tropicais degradados (Grossnickle; South, 2017).

Os resultados indicam a adoção de calagem para elevar a saturação por bases a aproximadamente 50%, associada ao uso combinado de insumos orgânicos e fertilização mineral, como estratégia mais eficiente para o crescimento inicial em sistemas de semeadura direta. O uso isolado de maiores doses de insumo orgânico não resultou em ganhos adicionais proporcionais, indicando que a combinação com NPK permite complementar o suprimento nutricional com menor aporte de insumo orgânico. Dessa forma, o manejo integrado da fertilidade do solo se mostra mais eficiente, devendo ser adotado em conjunto com práticas de controle da vegetação competidora e seleção funcional de espécies para maximizar o sucesso da restauração.

## 1.6 CONCLUSÕES

1. O manejo da fertilidade promove alterações nos atributos químicos do solo, condicionando o crescimento inicial e atuando como filtro na restauração por semeadura direta.
2. O crescimento inicial responde de forma mais consistente ao manejo do solo do que a emergência, indicando que, uma vez superada a fase crítica de estabelecimento, a redução do estresse químico e a melhoria das condições da fertilidade favorecem o desempenho das plantas.
3. O manejo da fertilidade do solo influencia não apenas o desempenho individual das plantas, mas também a estrutura e a trajetória inicial da comunidade, modulando padrões de dominância, estratificação e ocupação do espaço.
4. A aplicação da semeadura direta deve considerar o manejo da fertilidade aliado à seleção de espécies e ao histórico de uso do solo, visando o alcance do objetivo da restauração.
5. A combinação de calagem com saturação de base a 50%, NPK e adubo orgânico (cama de frango) é a estratégia mais eficiente para o crescimento inicial em semeadura direta.

## 1.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adhikari, K.; Hartemink, A. E. Linking soils to ecosystem services: a global review. *Geoderma*, v. 262, p. 101–111, 2016.
- Alvares, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.
- Allek, A.; Crouzeilles, R. Soil dynamics in forest restoration: a data set for temperate and tropical regions. *Ecology*, v. 102, n. 10, e03485, 2021.
- Bojórquez-Quintal, E. et al. Aluminum, a friend or foe of higher plants in acid soils. *Frontiers in Plant Science*, v. 8, 2017.
- Brancalion, P. H. S.; Holl, K. D. Functional composition trajectory: a resolution to the debate between Suganuma, Durigan, and Reid. *Restoration Ecology*, v. 24, n. 1, p. 1–3, 2016.
- Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Regras para análise de sementes. Brasília, DF: MAPA, 2009.
- Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Instruções para análise de sementes de espécies florestais. Brasília, DF: MAPA, 2013.
- Breugel, M. van et al. Early growth and survival of 49 tropical tree species across sites differing in soil fertility and rainfall in Panama. *Forest Ecology and Management*, v. 261, p. 1580–1589, 2011.
- 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. *Forest Ecology and Management*, v. 313, p. 233–242, 2014.
- Ceccon, E.; González, E. J.; Martorell, C. Is direct seeding a biologically viable strategy for restoring forest ecosystems? Evidences from a meta-analysis. *Land Degradation & Development*, v. 27, p. 511–520, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1002/ldr.2421>
- Chazdon, R. L. *Second growth: the promise of tropical forest regeneration in an age of deforestation*. Chicago: University of Chicago Press, 2014.
- De Souza, A. L.; Soares, C.P.B.; Soares, C.P.B. *Florestas nativas: estrutura, dinâmica e manejo*. Viçosa, MG: UFV, 2013.
- Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Manual de métodos de análise de solo*. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997.

Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

Estrada-Villegas, S. et al. Successional trajectories of tropical forests are strongly influenced by soil nutrients and climate. *Ecological Applications*, v. 29, e01843, 2019.

Ferreira, M. C. Ecologia de sementes e plântulas aplicada à restauração por semeadura direta no Brasil. 2024. Tese (Doutorado em Ecologia) – Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2024.

Freitas, M. G. et al. Evaluating the success of direct seeding for tropical forest restoration over ten years. *Forest Ecology and Management*, v. 438, p. 81–92, 2019.

Fu, R. et al. Community assembly along a successional chronosequence in the northern tropical karst mountains, South China. *Plant and Soil*, v. 491, p. 317–331, 2023.

Fujii, K. Soil acidification and adaptations of plants and microorganisms in Bornean tropical forests. *Ecological Research*, v. 29, p. 371–381, 2014.

Grossnickle, S. C.; Ivetić, V. Direct seeding of trees and shrubs in ecological restoration: a review. *New Forests*, v. 48, p. 307–330, 2017.

Grossnickle, S. C.; South, D. B. Direct seeding in reforestation – a field performance review. *Silviculture*, v. 8, n. 1, p. 1–20, 2017.

Ibge – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manual técnico da vegetação brasileira. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

Inocente, M. C. et al. How are we choosing species for direct seeding restoration in megadiverse neotropical landscapes? Recommendations from projects implemented in Brazil. *Restoration Ecology*, p. 1-12, 2025.

Jaquetti, R. et al. Ecofunctional traits and biomass production in leguminous tree species under fertilization treatments during forest restoration in Amazonia. *Forests*, v. 7, p. 76, 2016. DOI: <https://doi.org/10.3390/f7040076>

Kardol, P.; Wardle, D. A. How understanding aboveground–belowground linkages can assist restoration ecology. *Trends in Ecology & Evolution*, v. 25, p. 670–679, 2010.

Kobal, M. et al. Influence of soil properties on silver fir (*Abies alba* Mill.) growth in the Dinaric Mountains. *Forest Ecology and Management*, v. 337, p. 77–87, 2015.

Larson, J. E. et al. A recruitment niche framework for improving seed-based restoration. *Frontiers in Ecology and the Environment*, v. 21, n. 6, p. 305–314, 2023.

- Leverkus, A. B. et al. Seeding or planting to revegetate the world's degraded land: systematic review and experimentation to address methodological issues. *Restoration Ecology*, v. 29, n. 2, e13242, 2021.
- Lohbeck, M. et al. Changing drivers of species dominance during tropical forest succession. *Functional Ecology*, v. 28, p. 1052–1058, 2014.
- Magdalena, B. C. Do quilombo à floresta: guia de plantas da Mata Atlântica no Vale do Ribeira. Instituto Socioambiental. 1 edição. ISA – Instituto Socioambiental, São Paulo, 2022.
- Martinotto, F. et al. Survival and initial growth of tree species native to the Cerrado intercropped with cassava. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 47, p. 22–29, 2012.
- Mendes, M. S. et al. Look down—there is a gap—the need to include soil data in Atlantic Forest restoration. *Restoration Ecology*, v. 27, n. 2, p. 361–370, 2019.
- Norden, N. et al. Demographic drivers of successional changes in phylogenetic structure across life-history stages in plant communities. *Ecology*, v. 93, n. sp8, p. S70–S82, 2012.
- Pellizzaro, K. F. et al. Cerrado restoration by direct seeding: field establishment and initial growth of 75 trees, shrubs and grass species. *Brazilian Journal of Botany*, v. 40, p. 681–693, 2017.
- Pinho, B. X. et al. Soil-mediated filtering organizes tree assemblages in regenerating tropical forests. *Journal of Ecology*, v. 106, p. 1–11, 2017.
- Piotrowski, I. et al. Seeds' early traits as predictors of performance in direct seeding restoration. *Forests*, v. 14, n. 3, p. 547, 2023.
- Poorter, L. 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.
- Putten, W. H. van der et al. Plant species diversity as a driver of early succession in abandoned fields: a multi-site approach. *Oecologia*, v. 124, n. 1, p. 91–99, 2000.
- R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2024. Disponível em: <https://www.R-project.org/>
- Raij, B. van et al. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas: Instituto Agrônômico (IAC), 2001.
- Raij, B. van et al. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Boletim Técnico n. 100. Campinas: Instituto Agrônômico (IAC), 1997.

- Rodrigues, R. R.; Brancalion, P. H. S.; Isernhagen, I. Pacto pela restauração da Mata Atlântica: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal. São Paulo: LERF/ESALQ; Instituto BioAtlântica, 2009.
- Santos, I. P. Aptidão de espécies florestais para a restauração ecológica. 2016. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2016.
- Scheer, M. B. et al. Crescimento inicial de quatro espécies florestais nativas em área degradada com diferentes níveis de calagem e adubação. *Floresta*, 2017. DOI: <https://doi.org/10.5380/rf.v47i3.41973>
- Silva, A. R. M. et al. Doses crescentes de corretivo na formação de mudas de mogno (*Swietenia macrophylla* King). *Revista Árvore*, v. 31, n. 2, p. 211–220, 2007.
- Silva, C. M. R. Efeitos das condições iniciais do solo na estrutura da floresta e no estoque de carbono numa área em restauração. 2025. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2025.
- Silva, R. R. P. et al. Direct seeding of Brazilian savanna trees: effects of plant cover and fertilization on seedling establishment and growth. *Restoration Ecology*, v. 23, p. 393–401, 2015.
- Sma – Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. Resolução SMA nº 08, de 31 de janeiro de 2008. Define critérios para restauração ecológica no Estado de São Paulo. São Paulo, 2008.
- Souza, C. A. M. et al. Crescimento em campo de espécies florestais em diferentes condições de adubações. *Ciência Florestal*, v. 16, n. 3, p. 243–249, 2006.
- Souza, D. C.; Engel, V. L. Advances, challenges and directions for forest restoration through direct seeding of trees: lessons from Brazil. *Forest Ecology and Management*, v. 529, p. 120694, 2023.
- Tandalla, D.; Homeier, J.; Batáry, P. Responses of tropical tree seedlings to nutrient addition: a meta-analysis to understand future changes in tropical forest dynamics. *Current Forestry Reports*, v. 11, 2024.
- Teixeira, H. M. et al. Linking vegetation and soil functions during secondary forest succession in the Atlantic forest. *Forest Ecology and Management*, v. 457, p. 117696, 2020.

Varma, V.; Iyengar, S.; Sankaran, M. Effects of nutrient addition and soil drainage on germination of N-fixing and non-N-fixing tropical dry forest tree species. *Plant Ecology*, v. 217, p. 1043–1054, 2016.

Wilfahrt, P. A.; Halliday, F. W.; Heckman, R. W. Initial richness, consumer pressure and soil resources jointly affect plant diversity and resource strategies during a successional field experiment. *Journal of Ecology*, v. 108, p. 2352–2365, 2020.

Wright, S. J. et al. Plant responses to fertilization experiments in lowland, species-rich, tropical forests. *Ecology*, v. 99, n. 5, p. 1129–1138, 2018.

Van Der Putten, W. H. et al. Plant–soil feedbacks: the past, the present and future challenges. *Journal of Ecology*, v. 101, p. 265–276, 2013.

## 1.8 APÊNDICE

Desempenho média das espécies ao longo dos dias por meio do monitoramento da altura (cm) e diâmetro do colo no 12º mês.

Espécie	Família	30	60	90	150	270	360	DC 12
<i>Actinus arborescens</i>	Araliaceae	0	0	1	20	34	74	12
<i>Aegiphila sellowiana</i>	Lamiaceae	0	2	4	16	23	44	10
<i>Albizia niopoides</i>	Fabaceae	1	4	4	39	82	172	21
<i>Alchornea grandulosa</i>	Euphorbiaceae	1	3	6	32	41	103	16
<i>Alchornea triplinervia</i>	Euphorbiaceae	0	0	0	19	25	55	8
<i>Annona cacans</i>	Annonaceae	0	0	1	9	11	15	2
<i>Cariniana estrellensis</i>	Lecythidaceae	2	5	6	13	15	25	6
<i>Cassia ferruginea</i>	Fabaceae	2	5	6	24	31	64	8
<i>Cecropia pachystachya</i>	Urticaceae	0	0	1	12	22	57	8
<i>Citharexylum myrianthum</i>	Verbenaceae	1	2	4	14	23	50	7
<i>Croton floribundus</i>	Euphorbiaceae	2	5	10	41	68	154	17
<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	Fabaceae	6	9	14	51	86	181	32
<i>Erythrina speciosa</i>	Fabaceae	0	6	41	34	61	102	33
<i>Handroanthus chrysotrichus</i>	Bignoniaceae	1	4	4	9	15	31	5
<i>Handroanthus impetiginosus</i>	Bignoniaceae	0	1	3	7	10	21	5
<i>Heliocarpus popayanensis</i>	Malvaceae	1	5	12	58	77	161	22
<i>Hymenea courbaril</i>	Fabaceae	0	0	0	12	17	27	3
<i>Luhea divaricata</i>	Malvaceae	0	6	7	73	124	290	37
<i>Maclura tinctoria</i>	Moraceae	2	4	7	34	63	106	7
<i>Mimosa bimucronata</i>	Fabaceae	6	14	22	75	120	240	30
<i>Myrcia spp</i>	Myrtaceae	0	4	7	12	20	30	5
<i>Myrsine coriacea</i>	Primulaceae	0	0	0	5	8	19	3
<i>N.I.</i>	N.I.	1	4	5	25	69	151	27
<i>Nectandra oppositifolia</i>	Lauraceae	0	0	0	8	12	20	3
<i>Ormosia arborea</i>	Fabaceae	0	0	2	5	7	10	3
<i>Pseudobombam grandiflorum</i>	Malvaceae	5	6	7	14	24	40	12
<i>Psidium cattleianum</i>	Myrtaceae	0	0	0	4	5	10	1
<i>Psidium guajava</i>	Myrtaceae	0	3	8	26	47	91	9
<i>Schinus terebinthifolia</i>	Anacardiaceae	2	5	8	32	50	111	11
<i>Schizolobium parahyba</i>	Fabaceae	16	28	34	59	74	124	32
<i>Senna multijuga</i>	Fabaceae	3	8	15	54	81	174	19
<i>Sesbania virgata</i>	Fabaceae	5	13	17	37	73	251	14
<i>Solanum delicatulum</i>	Solanaceae	2	7	14	57	75	101	18
<i>Solanum mauritianum</i>	Solanaceae	0	0	0	14	27	94	8
<i>Solanum paniculatum</i>	Solanaceae	3	13	22	70	95	119	19
<i>Syagrus romanzifolia</i>	Arecaceae	0	0	0	1	4	15	3
<i>Trema micrantha</i>	Cannabaceae	0	1	3	21	33	66	6
<i>Vernonia polyanthes</i>	Asteraceae	2	15	27	64	99	135	27
<i>Vitex megapotamica</i>	Lamiaceae	0	25	31	70	105	192	24

## **2 Desempenho e plasticidade funcional de espécies nativas sob semeadura direta em solos degradados ao longo de gradientes de fertilidade (condições controladas).**

### **2.1 INTRODUÇÃO**

Grande parte das áreas destinadas à recuperação florestal corresponde a solos degradados e de baixa aptidão agrícola, estima-se que bilhões de hectares no mundo sejam afetados por diferentes formas de degradação do solo (Dagar; Gupta, 2016). Entre os processos mais severos destaca-se a erosão hídrica associada à formação de ravinas e voçorocas, que removem grandes volumes de solo e alteram profundamente suas propriedades físicas e químicas, frequentemente inviabilizando o estabelecimento da vegetação sem intervenções de recuperação (Poesen et al., 2003).

A remoção da camada superficial do solo reduz significativamente a fertilidade e a capacidade de retenção de água, dificultando o estabelecimento das plantas e intensificando os processos de degradação ambiental (Guerra et al., 2017). A utilização de experimentos em condições controladas constitui uma etapa fundamental para compreender os mecanismos funcionais que regem o estabelecimento inicial de espécies florestais, ao permitir isolar o efeito de filtros abióticos específicos, como acidez do solo e limitações nutricionais, que atuam de forma concomitante em ambientes degradados (Sorreano, 2006; Scheer, 2017).

Do ponto de vista teórico, o desempenho das plântulas ao longo de das diferenças de solos é orientada pela coordenação de traços funcionais que respondem à disponibilidade de recursos (Jager et al., 2015; Guilbeault-Mayers et al., 2024). Sob limitações edáficas severas, a sobrevivência depende da capacidade plástica das espécies em ajustar padrões de alocação de biomassa, frequentemente priorizando o sistema radicular em detrimento da parte aérea para maximizar a aquisição de recursos limitantes (Poorter et al., 2012; Laurans et al., 2012). Contudo, respostas diferenciais entre espécies ao longo de gradientes de fertilidade indicam que a hierarquia de desempenho pode ser mantida ou reordenada em função das estratégias funcionais intrínsecas de cada espécie (Baraloto et al., 2006).

Levantamentos recentes demonstram que menos de um terço dos estudos de restauração realizados nos biomas brasileiros incorporam características do solo em suas análises ou metodologias (Guerra et al., 2020). Essa lacuna é particularmente preocupante diante do contexto de degradação dos solos no país, uma vez que o Brasil é considerado uma das principais zonas de interesse global de erosão do solo, com elevadas taxas de perda de solo

associadas às mudanças no uso da terra (Borrelli et al., 2017). São esses solos pouco desenvolvidos, com baixa agregação estrutural, reduzidos teores de matéria orgânica e elevada acidez que apresentam maior vulnerabilidade à erosão e menor capacidade de sustentar comunidades vegetais estáveis (Lal, 2010). A perda da camada superficial do solo, frequentemente associada à erosão hídrica, reduz a fertilidade e compromete o estabelecimento da vegetação (Poesen et al., 2003). Em ambientes fortemente degradados, como solos expostos após processos erosivos ou cortes de barranco, a baixa disponibilidade de nutrientes intensifica os filtros abióticos ao estabelecimento das plantas, criando um ciclo de retroalimentação no qual a degradação do solo dificulta o desenvolvimento da vegetação e a ausência de cobertura vegetal acelera os processos erosivos (Morgan; Nearing, 2010).

Nesse contexto, permanece uma lacuna de estudos experimentais que integrem gradientes de fertilidade e correção da acidez em sistemas de semeadura direta voltados à restauração ecológica (Silva et al., 2015) em solos altamente degradados. Embora a calagem e a adubação sejam práticas consolidadas na agricultura, persistem incertezas quanto às dosagens e combinações mais adequadas para espécies nativas em solos degradados e compactados, reforçando a necessidade de protocolos específicos para contextos de baixa resiliência natural (Scheer et al., 2017).

Evidências experimentais indicam que a combinação de calagem e fertilização pode ser necessária para superar limitações nutricionais iniciais, neutralizar a toxicidade por alumínio e suprir nutrientes críticos ao estabelecimento radicular, embora a magnitude dessas respostas varie entre espécies (Scheer et al., 2017; Sorreano, 2006). Em ambientes controlados, déficits recorrentes de N, Ca e micronutrientes têm sido apontados como fatores limitantes do crescimento inicial de espécies arbóreas nativas, independentemente do grupo ecológico, evidenciando gargalos nutricionais comuns em solos degradados (Sorreano, 2006).

A fertilidade do solo atua como um filtro ambiental que induz respostas coordenadas em traços funcionais ao longo de gradientes de recursos. Em solos mais férteis, espécies tendem a expressar estratégias aquisitivas, enquanto em ambientes pobres predominam estratégias conservativas de uso de recursos, com coordenação entre traços foliares e radiculares ao longo das diferenças químicas do solo (Jager et al., 2015; Guilbeault-Mayers et al., 2024). Na semeadura direta, parte dessa performance funcional pode ser antecipada por traços iniciais de sementes e plântulas, cujas reservas e vigor inicial modulam a capacidade de superar estresses nutricionais no estabelecimento (Piotrowski et al., 2023). Assim, o desempenho inicial resulta

da interação entre traços intrínsecos das espécies e a plasticidade funcional frente às condições do solo.

A escolha entre fontes minerais e insumos orgânicos representa um eixo adicional de modulação de fertilidade. Enquanto a fertilização mineral promove aporte imediato de nutrientes, seus efeitos estruturais e biológicos sobre o solo tendem a ser limitados no médio prazo. Em contraste, insumos orgânicos contribuem para a melhoria da estrutura do solo, da atividade microbiana e da retenção de nutrientes, favorecendo ambientes edáficos mais resilientes ao estabelecimento vegetal (Jouquet et al., 2011; Luo et al., 2018; Ngo et al., 2014). Em solos ácidos, a toxicidade por alumínio impõe restrições adicionais ao crescimento radicular e à aquisição de recursos, com respostas marcadamente interespecíficas mediadas por mecanismos fisiológicos de tolerância (Abedi et al., 2013; Ofoe et al., 2023; Pidjath et al., 2021).

Nesse contexto, a plasticidade funcional emerge como atributo-chave para explicar a variabilidade interespecífica de respostas ao gradiente edáfico, refletindo a capacidade das plântulas de ajustar crescimento, alocação de biomassa e eficiência no uso de nutrientes sob diferentes níveis de fertilidade (Poorter et al., 2012; Laurans et al., 2012). A magnitude dessa plasticidade varia entre espécies e condiciona o nicho de regeneração em ambientes degradados (Baraloto et al., 2006). Assim, compreender como diferenças de fertilidade, modulados por calagem e diferentes fontes de insumos, afetam o desempenho, a nutrição e a plasticidade funcional de espécies arbóreas nativas sob semeadura direta constitui uma lacuna relevante para a formulação de protocolos de restauração mais previsíveis.

## 2.2 OBJETIVO

Avaliar como diferenças de fertilidade do solo, com manejo de calagem e diferentes fontes de adubos, modulam o desempenho, a nutrição e a plasticidade funcional de espécies arbóreas nativas estabelecidas por semeadura direta em solo degradado, sob condições controladas de casa de vegetação.

### Objetivos específicos

- a) Quantificar o estabelecimento inicial e o desempenho geral e individual das espécies sob os diferentes manejos de fertilidade.
- b) Avaliar respostas entre espécies de crescimento e nutrição aa diferentes condições de fertilidade.
- c) Estimar a eficiência no uso de nutrientes (EUN) e sua plasticidade funcional ao longo do gradiente edáfico.
- d) Analisar a resposta do manejo da fertilidade como estratégia para mitigar limitações químicas do solo no estabelecimento de espécies nativas em semeadura direta.

## 2.3 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.3.1 Área experimental

O experimento foi conduzido na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da Faculdade de Ciências Agrárias do Vale do Ribeira (FCAVR - Unesp), Campus de Registro (SP) situada a 24°32'06.38''S e 47°51'39.79''O. A casa de vegetação utilizada é do tipo arco, com 12m de comprimento, 7m de largura e pé direito de 2,5 m, tela de sombrite nas laterais e cobertas com polietileno de baixa densidade (PEBD) de 150 mm.

O experimento foi iniciado em 15 de março de 2024 e conduzido até completar 270 dias em 15 de dezembro de 2024. A temperatura da casa de vegetação foi monitorada com termômetro de máximo e mínimo com registro diário, a partir dessa informação e das condições climáticas a irrigação foi ajustada entre 2 mm e 6 mm divididos em três irrigações durante o dia (8h, 12h e 18h) (Figura 2-1).

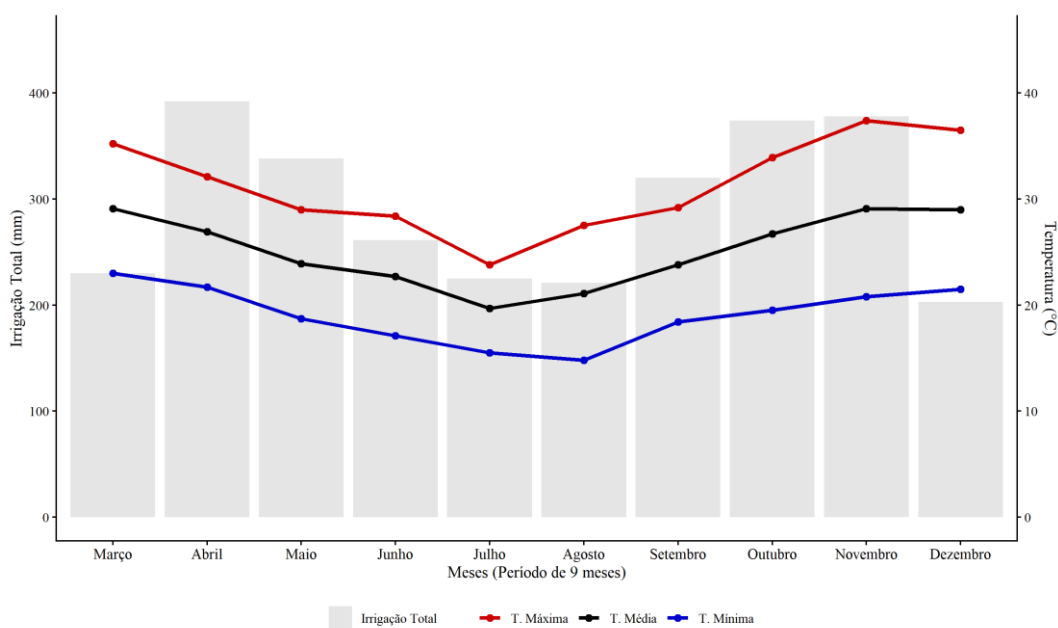


Figura 2-1 Gráfico mostrando a quantidade de irrigação (mm) e as temperaturas máximas e mínimas (°C) durante o período de estudo (março a dezembro).

Para o preenchimento das unidades experimentais foi retirado um solo da superfície de corte de barranco (Figura 2-2) com horizonte característico de formação (horizonte C) proveniente de um argissolo vermelho amarelo (Embrapa, 2018) dentro do próprio campus da universidade.

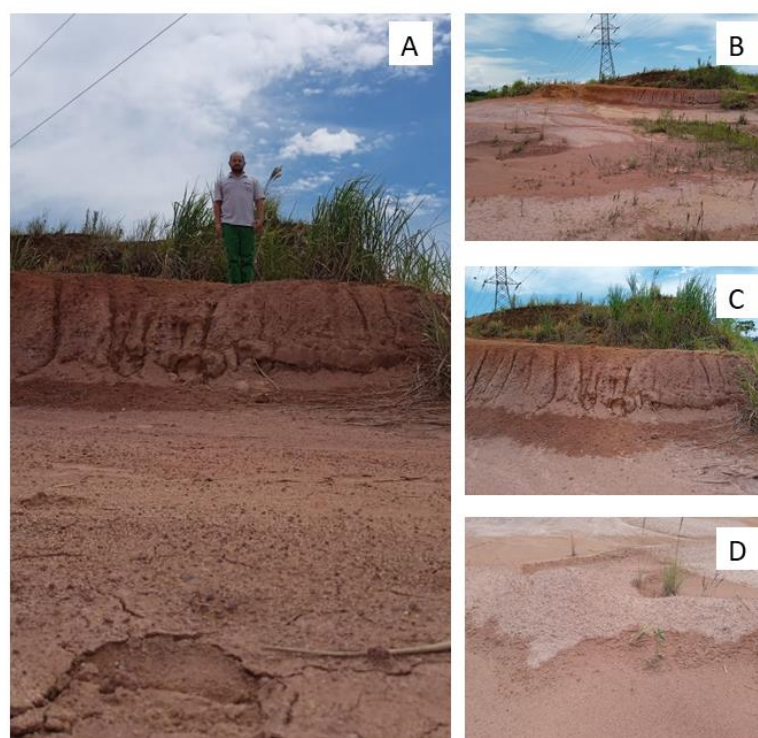


Figura 2-2 Local de coleta do solo para instalação de experimento em casa de vegetação. (A). Visão geral do local de coleta (B). Foco do corte e horizontes (C). Solo degradado (D). Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

O solo utilizado foi selecionado por representar uma condição de elevado grau de degradação. Esse tipo de solo pode ser associado a ambientes perturbados, como áreas sujeitas à erosão, locais após exploração de minerais, cascalho e regiões afetadas por escorregamentos de encostas. Dessa forma, sua utilização no experimento permite simular condições restritivas frequentemente encontradas em áreas prioritárias para processos de restauração florestal, caracterizadas por alto alumínio, baixa fertilidade e reduzido teor de matéria orgânica. As características químicas do solo (Raij et al. 2001) e granulométrica (Embrapa,1997) utilizado nas unidades experimentais estão descritas nas tabelas 2-1 e 2-2.

Tabela 2-1 Atributos químicos (macronutrientes e acidez) do solo da unidade experimental antes da instalação do experimento. Legenda: pH: potencial hidrogeniônico; M.O.: Matéria orgânica do solo; P: Fósforo extraído por resina; Al<sup>3+</sup>: Alumínio; H+Al: Acidez tampão; K: Potássio; Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; SB: Soma de bases; CTC: Capacidade de troca catiônica; V: Saturação por bases. Unidades de Al<sup>3+</sup>, H+Al, K, Ca, Mg, SB e CTC expressas em mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>.

Camada	pH CaCl <sub>2</sub>	M.O. g dm <sup>-3</sup>	P_resina mg dm <sup>-3</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V
				-----mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----							%
0-20	3,9	2	6	50	95	0,7	1,0	1,0	3	97,7	3

Tabela 2-2 Teores de micronutrientes, enxofre e caracterização física (granulometria) do solo da unidade experimental antes da instalação do experimento. S: Enxofre; B: Boro; Cu: Cobre; Fe: Ferro; Mn: Manganês; Zn: Zinco. Teores de micronutrientes e S expressos em mg/dm<sup>3</sup>. Atributos físicos (Areia, Silte e Argila) expressos em %.

	S	Boro	Cobre	Ferro	Manganês	Zinco	Areia	Silte	Argila
Camada	mg dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	----- g kg <sup>-1</sup> -----		
0-20	44	0,23	0,2	4	0,1	0,2	187	175	638

### 2.3.2 Escolha das espécies

As espécies nativas florestais escolhidas para o experimento foram selecionadas a partir da disponibilidade de sementes da Rede de Sementes do Vale do Ribeira. Foram utilizados os seguintes critérios: presença das mesmas no entorno da área do experimento, pertencer a diferentes grupos ecológicos (Sma, 2008) e diversidade de tamanho de sementes (Piotrowski, 2023). As espécies *Citharexylum myrianthum* e *Handroanthus impetiginosus* foram coletados pelo autor nas adjacências do experimento.

A quantidade de sementes foi definida em 100 sementes por metro linear (500.00 sementes por ha<sup>-1</sup>, sendo 1 ha com 5.000 metros lineares). Foi utilizado o histórico do percentual de sobrevivência das espécies pela rede de sementes do vale da ribeira (dados não publicados). Os tamanhos das sementes foram classificados com base no número de sementes por quilograma, conforme proposto por Piotrowski et al. (2023) sendo consideradas extremamente pequenas (>100.000 sementes kg<sup>-1</sup>), pequenas (10.000–100.000 sementes kg<sup>-1</sup>), médias (1.000–10.000 sementes kg<sup>-1</sup>) e grandes (<1.000 sementes kg<sup>-1</sup>). A características das espécies escolhidas (n=37) e quantidades utilizadas são descritas na tabela 2-3.

Tabela 2-3 Detalhamento das espécies utilizadas no experimento com dados de número de sementes/KG (Sem/Kg), número de sementes por tratamento(Sem/Trat), Tamanho da semente (Tam. Sem.), Grupo ecológico (G.Eco.), % de sobrevivência rede (% Sobr. Rede) e germinação laboratório (% Germ.Lab.).

Nome científico	Nome popular	Acrônimo	Sem/Kg	Sem/T rat	Tam. Sem.	G. Eco.	% Sobr. Rede
<i>Hymenaea courbaril</i> L.	Jatobá	HYCO	278	3	G	NP	40
<i>Schizolobium parahyba</i> (Vell.) Blake	Guapuruvu	SCPA	532	3	G	P	35
<i>Annona cf. cacans</i> Warm.	Ariticum cagão	ANCA	4830	10	M	NP	3
<i>Acnistus arborescens</i> (L.) Schltdl.	Tomate de galinha	ACAR	1476559	16	EP	P	1
<i>Psidium cattleianum</i> Sabine	Araçá amarelo	PCAT	66028	20	P	NP	2
<i>Mimosa bimucronata</i> (DC.) K.Schum.	Maricá	MIBI	113830	20	EP	P	2
<i>Syagrus romanzoffiana</i> (Cham.) Glassman	Jerivá	SYRO	319	3	G	NP	17
<i>Handroanthus</i> <i>impetiginosus</i> (Mart. ex DC.) Mattos	Ipê roxo	HAIM	30075	20	P	NP	3
<i>Schinus terebinthifolius</i> Raddi	Aroeira- pimenteira	SCTE	71607	16	P	P	1
<i>Handroanthus</i> <i>chrysotrichus</i> (Mart. ex DC.) Mattos	Ipê-amarelo	HACH	97914	20	P	NP	4
<i>Myrsine coriacea</i> (Sw.) R.Br. ex Roem. & Schult.	Capororoca	MYCO	67039	16	P	P	3
<i>Citharexylum myrianthum</i> Cham.	Pau-viola	CIMY	5762	20	M	P	3
<i>Senna multijuga</i> (Rich.) H.S.Irwin & Barneby	Caquera	SEMU	94831	20	P	P	2.5

Os testes de germinação em laboratório foram realizados após o plantio, com o objetivo de caracterizar o potencial germinativo das espécies utilizadas, e não como critério de exclusão prévia. As germinações foram feitas segundo a Instruções para Análise de Sementes de Espécies Florestais (Brasil, 2013) e Regras para Análises de Sementes (Brasil, 2009). Foi realizado superação de dormência física para a espécies *Hymenaea courbaril* e *Schizolobium parahyba* (Mori; Piña-Rodrigues; Freitas, 2012). A composição da mistura de sementes utilizada na semeadura direta, bem como o aspecto das amostras padronizadas para a aplicação e todos os tratamentos com após a calagem e aplicação de insumo são apresentadas na Figura 2-3.



Figura 2-3 Instalação do experimento, incorporação da calagem, insumos, sementes, sulco de semeadura e início da emergência das sementes em casa de vegetação (Fonte: Elaborado pelo autor, 2024)

### 2.3.3 Delineamento e tratamentos

As unidades experimentais foram instaladas em caixas de solo isoladas por divisórias de PVC, com um volume individual de  $0,12 \text{ m}^3$  ( $0,2\text{m} \times 0,6\text{m} \times 1\text{m}$ ). O experimento foi conduzido em delineamento em blocos casualizados (DBC), compostos por nove tratamentos em três blocos, totalizando 27 unidades amostrais. Cada tratamento contou com 2 metros lineares para semeadura (Figura 2-4).

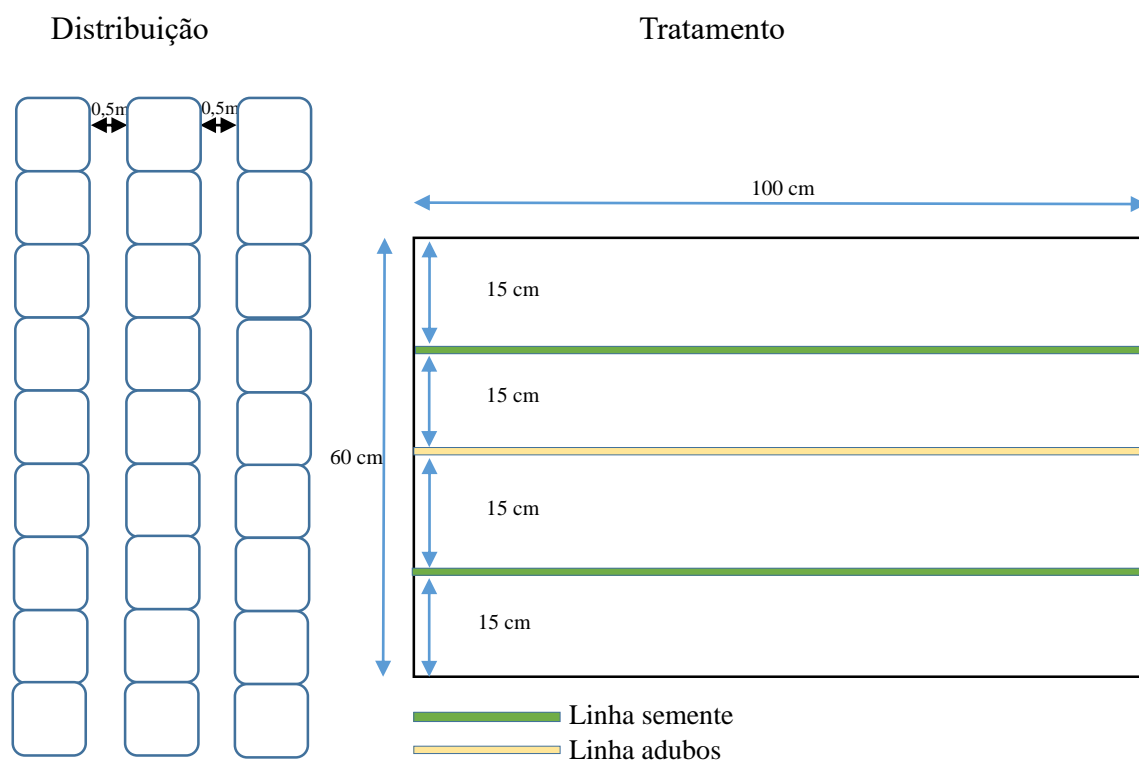


Figura 2-4 Croqui do experimento instalado na casa de vegetação. Distribuição dos tratamentos e espaçamento das linhas de sementes e insumos.

Os tratamentos utilizados foram diferentes saturações de base (V%), insumo NPK e insumo orgânico (Tabela 2-4). A quantidade de calcário utilizada para aumentar a saturação de base de 3% para 25% foi de 2,8 t/ha (162 g para a área do tratamento) e de 3% para 50% foi de 6,1 t/ha (366 g para a área do tratamento). A equação utilizada:

$$NC \left( \frac{t}{ha} \right) = (v2 - v1) * CTC/PRNT$$

Em que: NC= Necessidade de calagem; V1= Saturação inicial; V2= Saturação de base desejada; CTC= Capacidade de troca de cátions ( $cmol_c dm^3$ ); PRNT= Poder relativo de neutralização total.

Tabela 2-4 Relação dos insumos utilizados, percentual de saturação (V %) e suas respectivas identificações como tratamentos no experimento desenvolvida na casa de vegetação.

Insumos	V %	Identificação
	V3	T1
Sem insumo	V25	T2
	V50	T3
	V3	T4
NPK	V25	T5
	V50	T6
	V3	T7
ORG	V25	T8
	V50	T9

A quantidade insumo NPK 4-14-8 utilizada foi de 30 g m<sup>-1</sup>, enquanto a quantidade de insumo orgânico utilizada foi de 1,5 Kg m<sup>-1</sup>. A quantidade estabelecida não teve o objetivo de equivalência, mas testar diferentes concentrações e tipo de insumos no desempenho das espécies florestais.

O calcário utilizado na forma de pó, matéria prima de rocha calcária com os seguintes constituintes: 28% de Óxido de cálcio (CaO); 18,5% de Óxido de magnésio; 96% de Poder de neutralização (PN); 2% de Umidade e 75,2% de PRNT.

O fertilizante orgânico simples classe “A” (Esterco e cama de aves) contém as seguintes garantias: 2% de Nitrogênio total ; 3,4% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> solúvel em CNA+água; 2,5% de K<sub>2</sub>O solúvel em água; 22% de Carbono orgânico total; 25% de Umidade; 8,3 de pH; 19 de CTC/C; 430 em mmol C/Kg de CTC.

O fertilizante mineral misto 4-14-8 possui garantias de N total 4%; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> sol. CNA + água 14%; K<sub>2</sub>O solúvel em água 8%; B 0,3 %+ CA 9,8%+S 10,6%; Zn 0,3%+ Componentes do produto: Fosfato monoamônico; FMC 3S 6B 6Zn; Superfosfato simples; Cloreto de potássio; Sulfato de amônio.

A recomendação utilizada para espécies florestais foi calculada segundo o boletim 100 do IAC (Raij *et al.*, 1997), resultados de análises químicas do solo com matéria orgânica de 0-15 g/dm<sup>3</sup>, resina de fósforo (P) entre 0-5 mg/dm<sup>3</sup>, e potássio trocável (K) de 0-0,7 mmolc/dm<sup>3</sup>, utilize 60 kg/ha de nitrogênio (N), 40 kg/ha de fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e 20 kg/ha de potássio (K<sub>2</sub>O), respectivamente. A quantidade de nutriente por metro linear calculada para cada tratamento encontra-se na tabela 2-5.

Tabela 2-5 Quantidade de nutrientes nos insumos utilizados no experimento.

Nutriente	1,5 kg Ins. Org.	30 g Insumo NPK
Nitrogênio (N)	30 g	1,2 g
P2O5	51 g	4,2 g
K2O	37,5 g	2,4 g
Carbono Orgânico	330 g	-
Boro (B)	-	0,09 g
Zinco (Zn)	-	0,09 g

#### 2.3.4 Análise química do solo.

A amostragem de solo foi realizada na camada de 0–20 cm de profundidade aos 90, 180 e 270 dias após a instalação do experimento, em todas as unidades experimentais ( $n = 36$ ). As análises químicas foram conduzidas segundo metodologia proposta por Raij et al. (2001). Foram determinados: pH em solução de  $\text{CaCl}_2$ ; matéria orgânica (M.O.) pelo método de Walkley–Black; fósforo disponível (P-resina) e cátions trocáveis ( $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ ) extraídos por resina trocadora de íons; alumínio trocável ( $\text{Al}^{3+}$ ) extraído com solução de  $\text{KCl}$   $1 \text{ mol L}^{-1}$ ; e acidez potencial ( $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ ) estimada pelo método SMP. A partir desses resultados foram calculados os atributos: soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica a pH 7,0 (CTC) e saturação por bases (V%). O enxofre foi extraído por solução de fosfato monocálcico e determinado por turbidimetria, enquanto o boro foi determinado pelo método da água quente.

Os resultados foram expressos nas seguintes unidades:  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , SB e CTC em  $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ; V em %; matéria orgânica em  $\text{g dm}^{-3}$ ; e P-resina, S e B em  $\text{mg dm}^{-3}$ .

#### 2.3.5 Análise química do tecido vegetal.

Após a secagem do material vegetal, foi separada a fração foliar para a realização das análises químicas de nutrição mineral. A fração foliar foi escolhida por representar a forma mais direta do estado nutricional e representa a melhor opção destrutiva para monitoramento. As folhas secas foram posteriormente moídas em moinho tipo Willey, obtendo-se material homogêneo para as determinações químicas.

As análises laboratoriais foram realizadas no Laboratório de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas (LAFEN), da Universidade Estadual Paulista (UNESP), campus de Registro, SP, seguindo os procedimentos descritos por Malavolta, Vitti e Oliveira (1989). O nitrogênio (N) foi determinado pelo método de Kjeldahl; o fósforo (P) por colorimetria; o enxofre (S) por turbidimetria do sulfato de bário; e o boro (B) pelo método da Azometina-H. Os teores de potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), ferro (Fe), cobre (Cu), manganês (Mn) e zinco (Zn) foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica após digestão nítrico-perclórica.

Os teores de macronutrientes foram expressos em g kg<sup>-1</sup> de matéria seca, enquanto os micronutrientes foram expressos em mg kg<sup>-1</sup> de matéria seca.

### 2.3.6 Conteúdo e Eficiência de Uso de Nutrientes (EUN).

Inicialmente, o conteúdo de cada nutriente por planta foi obtido pelo produto entre o teor do nutriente no tecido foliar e a massa seca total da planta:

$$\text{Conteúdo}_i = C_i \times MS$$

Em que: C<sub>i</sub> = teor do nutriente “i” no tecido foliar; MS = massa seca (g).

Os valores de conteúdo foram expressos em mg planta<sup>-1</sup>.

A eficiência de uso de nutrientes (EUN) foi então estimada pela razão entre a massa seca total da planta e o conteúdo do nutriente acumulado:

$$EUN_i = \frac{MS}{\text{Conteúdo}_i}$$

Em que: MS = massa seca (g); Conteúdo<sub>i</sub> = conteúdo do nutriente *i* na planta (mg).

Os valores de EUN foram expressos em g de massa seca por mg de nutriente acumulado (g MS mg<sup>-1</sup>). Essa métrica representa a quantidade de biomassa produzida por unidade de nutriente acumulado na planta, sendo conceitualmente equivalente ao inverso da concentração do nutriente no tecido vegetal (Chapin, 1980).

### 2.3.7 Monitoramento do desenvolvimento das espécies.

O monitoramento das espécies foi realizado a cada 30 dias depois da semeadura, até os 270 dias, sendo identificado cada indivíduo que emergido e medido sua altura. Devido ao rápido crescimento de algumas espécies e possível influência do crescimento limitado ao piso da casa de vegetação, foram retiradas, mensalmente, as espécies com maior altura.

Seguindo essa regra, após 90 dias foi retirada a espécie *Schizolobium parahyba* (Guapuuvu), 120 dias (*Mimosa bimucronata* (Maricá)) 150 dias (*Senna multijuga* (Caquera)), 180 dias (*Citharexylum myrianthum* (Pau Viola)), 210 dias (*Schinus terebinthifolia* (Aroeira)), 240 dias (*Hymenaea courbaril* (Jatobá)) e o restante das espécies retiradas no desmonte do experimento aos 270 dias.

Antes do corte foi medido o diâmetro do colo (DC) com paquímetro, e feita a contagem do número de folhas. Após o corte, foi realizada a pesagem (peso fresco) e posteriormente as plantas foram secas em estufa de circulação de ar a 65° e após atingirem peso constante, foi

feita nova pesagem para determinação do peso seco. As imagens da figura 2-5 representam as etapas realizadas durante a condução do experimento.

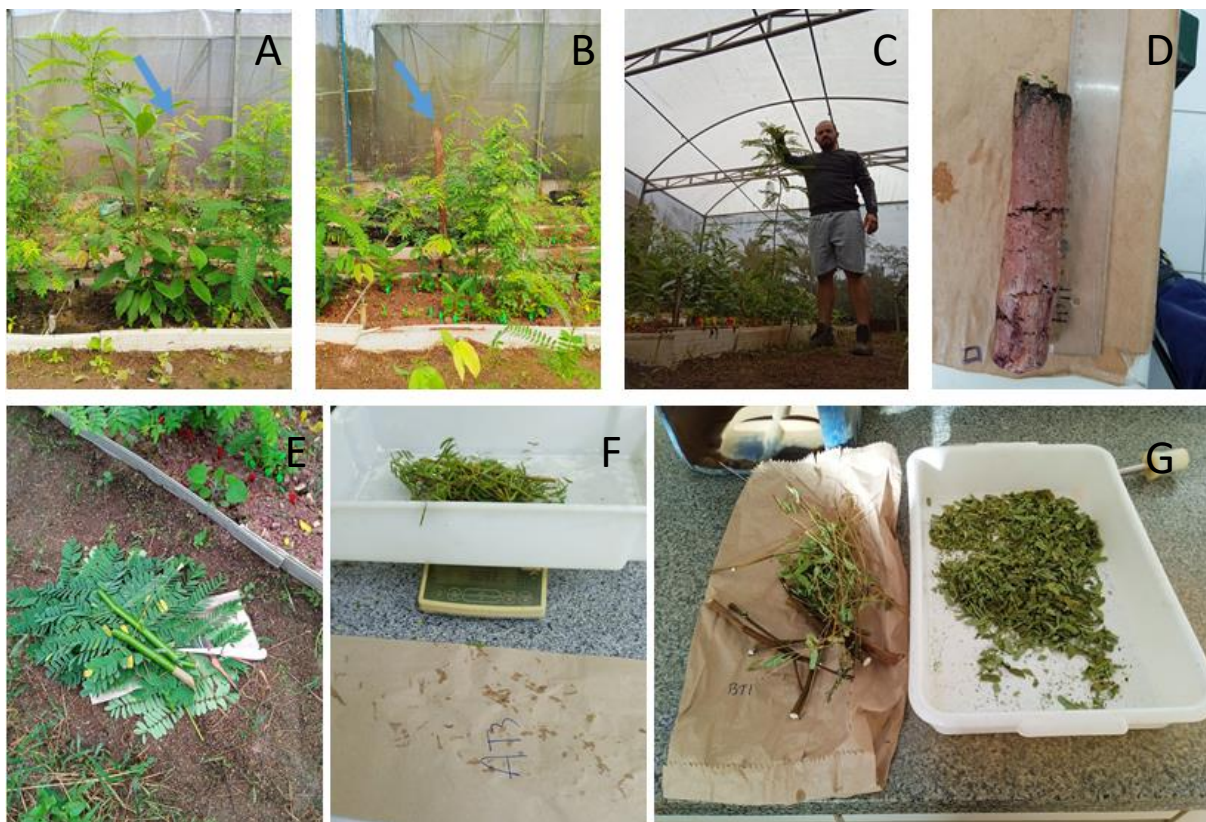


Figura 2-5 Etapas da condução experimental e dos procedimentos de coleta e preparo das amostras vegetais e de solo. (A) Espécies arbóreas ultrapassando a régua de madeira de 1 m. (B) Indivíduos com altura próxima a 1 m. (C) Referência da altura da espécie caquera. (D) Amostra de solo retirada das unidades experimentais para análise química. (E) Biomassa do guapuruvu recém-coletada. (F) Pesagem da biomassa fresca de maricá. (G) Amostras de guapuruvu após secagem e separação da fração foliar destinada às análises químicas do tecido vegetal.

### 2.3.8 Análise dos dados

Para análises de variância dos efeitos da calagem, dos insumos e de sua interação sobre os atributos químicos do solo, o desempenho das plantas e as características funcionais foram avaliados por análise ANOVA fatorial, após verificação dos pressupostos de normalidade dos resíduos (teste de Shapiro–Wilk) e homogeneidade de variâncias (teste de Levene). Variáveis com forte assimetria ou presença de valores nulos (como por exemplo o  $Al^{3+}$ ) foram analisados por modelos lineares generalizados (GLM), com distribuição compatível com a natureza da variável resposta.

Com o objetivo de sintetizar as relações entre atributos do solo, desempenho das espécies e composição de espécies nos diferentes tratamentos experimentais, foi realizada uma Análise de Componentes Principais (PCA). Foram selecionadas variáveis representativas das condições químicas do solo e do desempenho médio das plântulas nos tratamentos. As variáveis

correspondentes à biomassa das espécies foram incluídas como variáveis suplementares, permitindo sua projeção no espaço multivariado sem influenciar diretamente a construção dos eixos principais. Elipses de dispersão foram utilizadas para representar a distribuição multivariada dos tratamentos em torno de seus centroides.

A EUN foi analisada para quatro espécies e para todos os nutrientes realizados na análise química vegetal, sendo tratada como variável resposta contínua com influência dos tratamentos do solo. As medidas observada nos gráficos correspondem à média  $\pm$  erro padrão (EP).

As análises foram conduzidas no software R (R CORE TEAM, 2024). Para a PCA foram utilizados os pacotes FactoMineR, factoextra, missMDA e ggplot2.

## 2.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 2.4.1 Reação do solo após calagem e aplicação de insumos

Os resultados das análises químicas do solo evidenciam respostas do solo ao manejo adotado, refletidas na reação do solo, na fertilidade básica, nos micronutrientes e na capacidade de troca catiônica ao longo do período de monitoramento (90, 180 e 270 dias). Essa dinâmica temporal permitiu caracterizar a rapidez e a persistência das alterações induzidas pela combinação entre calagem e fontes de insumos, bem como sua potencial implicação para o desempenho inicial das espécies florestais avaliadas em casa de vegetação.

Aos 90 dias, o pH foi significativamente influenciado pela interação calagem × insumos ( $p = 0,0012$ ), assim como os teores de  $Al^{3+}$  e a acidez potencial (H+Al) também responderam à interação entre os fatores ( $Al^{3+}$ :  $p < 0,001$ ; H+Al:  $p < 0,001$ ), com neutralização do alumínio e redução de H+Al exclusivamente nos tratamentos com ORG e diminuição da acidez em relação aos tratamentos com maiores teores com calagem.

Teores de  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  foram significativamente afetados pela interação calagem × insumos (Ca:  $p < 0,001$ ; Mg:  $p = 0,0025$ ), com maiores teores nos tratamentos com insumo orgânico (ORG) em todos os níveis de calagem, enquanto os incrementos nos tratamentos com NPK e sem adubação foram menores e mais dependentes do aumento da calagem.

Os teores de  $K^+$  responderam significativamente ao tipo de insumo ( $p < 0,001$ ), com maiores valores nos tratamentos com ORG, independentemente da calagem. Em consequência, a soma de bases (SB) e a saturação por bases (V%) apresentaram resposta marcante à interação entre os fatores ( $p < 0,001$ ), com valores elevados nos tratamentos com ORG, contrastando com os menores valores nos tratamentos sem adubação e com NPK. A CTC teve efeito da interação ( $p = 0,05$ ), com maiores valores nas combinações que incluíram insumo orgânico (Tabela 2-6).

Tabela 2-6 Características químicas do solo na profundidade 0-20 cm sob diferentes tratamentos coletada com 90 dias após a instalação do experimento. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Sidak ( $p < 0,05$ ).

Calagem	Insumos	pH	$Al^{3+}$	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V
		CaCl <sub>2</sub>	-----mmol <sub>e</sub> dm <sup>-3</sup> -----							
V3	Sem insumo	4,10 <sup>c</sup>	42 <sup>a</sup>	123	1,0 <sup>b</sup>	11 <sup>c</sup>	5,0 <sup>b</sup>	18 <sup>c</sup>	140 <sup>bc</sup>	13 <sup>c</sup>
V25	Sem insumo	4,40 <sup>c</sup>	20 <sup>cd</sup>	47	0,6 <sup>b</sup>	23 <sup>c</sup>	15 <sup>b</sup>	38 <sup>c</sup>	85 <sup>d</sup>	45 <sup>b</sup>
V50	Sem insumo	4,90 <sup>b</sup>	7,0 <sup>e</sup>	21	0,5 <sup>b</sup>	65 <sup>b</sup>	33 <sup>a</sup>	99 <sup>b</sup>	119 <sup>cd</sup>	82 <sup>a</sup>
V3	NPK	4,10 <sup>c</sup>	34 <sup>ab</sup>	104	1,1 <sup>b</sup>	11 <sup>c</sup>	5,0 <sup>b</sup>	17 <sup>c</sup>	121 <sup>cd</sup>	14 <sup>c</sup>
V25	NPK	4,20 <sup>c</sup>	26 <sup>bc</sup>	64	1,0 <sup>b</sup>	23 <sup>c</sup>	10 <sup>b</sup>	35 <sup>c</sup>	98 <sup>cd</sup>	35 <sup>b</sup>
V50	NPK	4,30 <sup>c</sup>	20 <sup>cd</sup>	33	0,8 <sup>b</sup>	28 <sup>c</sup>	16 <sup>b</sup>	45 <sup>c</sup>	78 <sup>d</sup>	57 <sup>ab</sup>
V3	ORG	5,90 <sup>a</sup>	0 <sup>f</sup>	17	9,8 <sup>a</sup>	138 <sup>a</sup>	38 <sup>a</sup>	186 <sup>a</sup>	203 <sup>a</sup>	92 <sup>a</sup>
V25	ORG	5,90 <sup>a</sup>	0 <sup>f</sup>	16	9,2 <sup>a</sup>	118 <sup>a</sup>	32 <sup>a</sup>	160 <sup>a</sup>	175 <sup>ab</sup>	91 <sup>a</sup>
V50	ORG	5,90 <sup>a</sup>	0 <sup>f</sup>	16	9,1 <sup>a</sup>	113 <sup>a</sup>	36 <sup>a</sup>	159 <sup>a</sup>	174 <sup>ab</sup>	91 <sup>a</sup>

O fósforo disponível (P-resina) e a matéria orgânica do solo (MO) responderam significativamente à interação calagem × insumos ( $p < 0,001$  e  $p = 0,004$ , respectivamente), com os maiores valores nos tratamentos com ORG (Tabela 2-7). Para o enxofre (S), observou-se efeito predominantemente associado ao tipo de insumo, com maiores teores nos tratamentos orgânicos. O boro (B) foi influenciado principalmente pelo tipo de insumo ( $p = 0,001$ ), com maiores concentrações nos tratamentos com NPK.

Tabela 2-7 Características químicas do solo na profundidade 0-20 cm sob diferentes tratamentos coletada com 90 dias do experimento. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Sidak ( $p < 0,05$ ).

Calagem	Insumos	M.O. g/dm <sup>3</sup>	P-resina mg/dm <sup>3</sup>	Enxofre mg/dm <sup>3</sup>	Boro mg/dm <sup>3</sup>
V3	Sem insumo	2,0 <sup>b</sup>	7,00 <sup>cd</sup>	94 <sup>b</sup>	0.23 <sup>b</sup>
V25	Sem insumo	2,0 <sup>b</sup>	2,00 <sup>e</sup>	107 <sup>b</sup>	0.22 <sup>b</sup>
V50	Sem insumo	2,0 <sup>b</sup>	4,00 <sup>de</sup>	110 <sup>b</sup>	0.15 <sup>b</sup>
V3	NPK	1,0 <sup>b</sup>	9,00 <sup>c</sup>	104 <sup>b</sup>	0.79 <sup>a</sup>
V25	NPK	2,0 <sup>b</sup>	22 <sup>b</sup>	133 <sup>b</sup>	0.73 <sup>a</sup>
V50	NPK	2,0 <sup>b</sup>	13 <sup>bc</sup>	129 <sup>b</sup>	0.49 <sup>a</sup>
V3	ORG	19 <sup>a</sup>	332 <sup>a</sup>	183 <sup>a</sup>	0.29 <sup>b</sup>
V25	ORG	11 <sup>a</sup>	221 <sup>a</sup>	193 <sup>a</sup>	0.40 <sup>b</sup>
V50	ORG	11 <sup>a</sup>	267 <sup>a</sup>	187 <sup>a</sup>	0.31 <sup>b</sup>

Aos 90 dias, observou-se predominância do efeito do insumo orgânico, resultados de acordo considerando a dose dos insumos aplicados (1,5 kg m<sup>-1</sup>), NPK (30 g m<sup>-1</sup>) e ao controle (0 g m<sup>-1</sup>). O insumo orgânico promoveu elevação do pH, neutralização do Al<sup>3+</sup>, redução da acidez potencial e aumentos expressivos de Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, soma de bases, V%, além de incrementos marcantes de P-resina e matéria orgânica, reconfigurando o gradiente químico do solo no curto prazo. A calagem foi determinante, sobretudo nos tratamentos sem insumo e com NPK, elevando pH e bases e reduzindo Al<sup>3+</sup> de forma progressiva do V3 ao V50, porém sem atingir o patamar de melhoria observado com ORG; nos tratamentos com ORG, seu efeito foi secundário. O NPK apresentou respostas pontuais, com pouco efeito sobre a acidez e as bases trocáveis e maior influência sobre o boro.

Aos 180 dias, o pH foi significativamente influenciado pelo insumo ( $p < 0,001$ ), com maiores valores nos tratamentos com insumo orgânico (ORG). Os teores de K<sup>+</sup> e Ca<sup>2+</sup> responderam à interação calagem × insumos ( $p < 0,01$  e  $p < 0,05$ ), com maiores teores nos tratamentos com insumo orgânico, especialmente sob maiores níveis de calagem. O Mg<sup>2+</sup> teve efeitos significativos de calagem ( $p < 0,001$ ) e de insumos ( $p < 0,001$ ), com maiores teores nos maiores níveis de calagem e nos tratamentos com ORG.

A soma de bases (SB) foi influenciada pela calagem ( $p < 0,05$ ) e para insumos ( $p < 0,001$ ), e a saturação por bases (V%) respondeu à interação entre os fatores ( $p < 0,05$ ), mantendo valores superiores nos tratamentos com ORG (Tabela 2-8).

Tabela 2-8 Características químicas do solo na profundidade 0-20 cm sob diferentes tratamentos coletada com 180 dias do experimento. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Sidak ( $p < 0,05$ ).

Calagem	Insumos	pH	Al <sup>3+</sup>	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V
		CaCl <sub>2</sub>	-----mmol/dm <sup>3</sup> -----							
V3	Sem insumo	3.7 <sup>b</sup>	4 <sup>d</sup>	107 <sup>b</sup>	1.3 <sup>c</sup>	12 <sup>e</sup>	6 <sup>b</sup>	20 <sup>c</sup>	126 <sup>a</sup>	14 <sup>d</sup>
V25	Sem insumo	4.0 <sup>b</sup>	27 <sup>bcd</sup>	80 <sup>b</sup>	0.6 <sup>c</sup>	15 <sup>de</sup>	12 <sup>b</sup>	28 <sup>bc</sup>	108 <sup>a</sup>	26 <sup>dc</sup>
V50	Sem insumo	4.0 <sup>b</sup>	2 <sup>b</sup>	74 <sup>b</sup>	0.6 <sup>c</sup>	30 <sup>cd</sup>	19 <sup>ab</sup>	50 <sup>ab</sup>	123 <sup>a</sup>	39 <sup>bc</sup>
V3	NPK	3.7 <sup>b</sup>	40 <sup>cd</sup>	109 <sup>b</sup>	2.5 <sup>c</sup>	13 <sup>e</sup>	4 <sup>b</sup>	19 <sup>c</sup>	128 <sup>a</sup>	15 <sup>d</sup>
V25	NPK	3.8 <sup>b</sup>	26 <sup>bcd</sup>	81 <sup>b</sup>	1.5 <sup>c</sup>	23 <sup>de</sup>	13 <sup>b</sup>	37 <sup>bc</sup>	118 <sup>a</sup>	32 <sup>dc</sup>
V50	NPK	4.0 <sup>b</sup>	26 <sup>bc</sup>	70 <sup>b</sup>	1.3 <sup>c</sup>	51 <sup>bc</sup>	25 <sup>ab</sup>	77 <sup>ab</sup>	147 <sup>a</sup>	53 <sup>b</sup>
V3	ORG	4.8 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	27 <sup>a</sup>	16 <sup>a</sup>	96 <sup>ab</sup>	33 <sup>a</sup>	145 <sup>a</sup>	172 <sup>a</sup>	84 <sup>a</sup>
V25	ORG	5.4 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	21 <sup>a</sup>	12 <sup>b</sup>	149 <sup>a</sup>	33 <sup>a</sup>	194 <sup>a</sup>	215 <sup>a</sup>	89 <sup>a</sup>
V50	ORG	5.4 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	22 <sup>a</sup>	17 <sup>a</sup>	155 <sup>a</sup>	36 <sup>a</sup>	207 <sup>a</sup>	229 <sup>a</sup>	90 <sup>a</sup>

Os teores de MO, P-resina e o S responderam significativamente ao tipo de insumo ( $p < 0,01$ ;  $p < 0,001$ ;  $p < 0,001$ ), com maiores valores nos tratamentos com ORG, enquanto o boro manteve maiores concentrações nos tratamentos com NPK ( $p < 0,001$ ). Nesse estágio, os tratamentos com ORG mantiveram gradientes mais favoráveis, enquanto os tratamentos com NPK e sem adubação permaneceram quimicamente mais restritivos, ainda que parcialmente atenuados pela calagem (Tabela 2-9).

Tabela 2-9 Características químicas do solo na profundidade 0-20 cm sob diferentes tratamentos coletada com 180 dias do experimento. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Calagem	Insumos	M.O.	P-resina	Enxofre	Boro
		g/dm <sup>3</sup>	mg/dm <sup>3</sup>	mg/dm <sup>3</sup>	mg/dm <sup>3</sup>
V3	Sem insumo	1,0 <sup>b</sup>	2,0 <sup>d</sup>	36 <sup>c</sup>	0.23 <sup>b</sup>
V25	Sem insumo	1,0 <sup>b</sup>	1,0 <sup>d</sup>	42 <sup>c</sup>	0.18 <sup>b</sup>
V50	Sem insumo	1,0 <sup>b</sup>	5,0 <sup>dc</sup>	45 <sup>c</sup>	0.23 <sup>b</sup>
V3	NPK	1,0 <sup>b</sup>	31 <sup>b</sup>	48 <sup>b</sup>	1.19 <sup>a</sup>
V25	NPK	1,0 <sup>b</sup>	13 <sup>bc</sup>	49 <sup>b</sup>	1.02 <sup>a</sup>
V50	NPK	1,0 <sup>b</sup>	16 <sup>bc</sup>	49 <sup>b</sup>	0.97 <sup>a</sup>
V3	ORG	13 <sup>a</sup>	373 <sup>a</sup>	55 <sup>a</sup>	0.31 <sup>b</sup>
V25	ORG	13 <sup>a</sup>	330 <sup>a</sup>	63 <sup>a</sup>	0.31 <sup>b</sup>
V50	ORG	14 <sup>a</sup>	367 <sup>a</sup>	60 <sup>a</sup>	0.30 <sup>b</sup>

Os resultados aos 180 dias indicam a predominância do efeito do insumo orgânico, com pH sistematicamente mais elevado nos tratamentos com ORG e manutenção de teores superiores de Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, soma de bases e V%, sobretudo quando combinado aos maiores níveis de calagem. A calagem seguiu modulando positivamente os atributos de fertilidade básica nos tratamentos sem insumo e com NPK, elevando Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, SB e V%, mas sem alcançar o patamar químico estabelecido com ORG, indicando efeito corretivo relevante, porém estruturalmente limitado na ausência de aporte orgânico. A matéria orgânica, o P-resina e o S

permaneceram fortemente associados ao tipo de insumo, com valores muito superiores sob ORG, enquanto o boro se manteve mais elevado nos tratamentos com NPK, reforçando o caráter pontual da adubação mineral. Aos 180 dias, as diferenças químicas mais favoráveis foram sustentadas pelos tratamentos com ORG, ao passo que NPK e ausência de insumos permaneceram quimicamente mais restritivos, ainda que parcialmente atenuados pela calagem.

Aos 270 dias, o pH respondeu aos efeitos principais de calagem ( $p < 0,05$ ) e insumos ( $p < 0,05$ ), mantendo maiores valores nos tratamentos com ORG. O  $Al^{3+}$  respondeu à interação calagem  $\times$  insumos ( $p < 0,01$ ), com neutralização do alumínio nos tratamentos com ORG em todos os níveis de calagem. Os teores de  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  e a SB, CTC e V% apresentaram respostas significativas à interação entre os fatores ( $p < 0,05$ ), com os maiores valores sistematicamente associados aos tratamentos com ORG, sobretudo sob maiores níveis de calagem (Tabela 2-10). Para o  $K^+$ , não foi realizada análise estatística em função de os teores observados superarem os padrões de referência adotados.

Tabela 2-10 Características químicas do solo na profundidade 0-20 cm sob diferentes tratamentos coletada com 270 dias do experimento. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Calagem	Insumos	pH CaCl <sub>2</sub>	Al <sup>3+</sup> -----mmol <sub>e</sub> /dm <sup>3</sup> -----	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V %
V3	Sem insumo	3,7 <sup>b</sup>	45 <sup>a</sup>	134 <sup>a</sup>	1,7	13 <sup>c</sup>	7 <sup>cd</sup>	22 <sup>c</sup>	155	15 <sup>c</sup>
V25	Sem insumo	4,0 <sup>b</sup>	31 <sup>b</sup>	127 <sup>bc</sup>	0,8	13 <sup>c</sup>	10 <sup>cd</sup>	24 <sup>c</sup>	151	17 <sup>c</sup>
V50	Sem insumo	3,9 <sup>b</sup>	31 <sup>b</sup>	79 <sup>c</sup>	0,6	12 <sup>c</sup>	12 <sup>cd</sup>	25 <sup>c</sup>	103	24 <sup>cb</sup>
V3	NPK	3,7 <sup>b</sup>	44 <sup>a</sup>	144 <sup>a</sup>	5,0	6 <sup>c</sup>	4,0 <sup>d</sup>	14 <sup>c</sup>	158	9,0 <sup>c</sup>
V25	NPK	3,9 <sup>b</sup>	31 <sup>b</sup>	113 <sup>bc</sup>	1,6	19 <sup>c</sup>	15 <sup>c</sup>	35 <sup>c</sup>	148	25 <sup>cb</sup>
V50	NPK	4,2 <sup>b</sup>	24 <sup>b</sup>	75 <sup>c</sup>	1,5	36 <sup>bc</sup>	26 <sup>b</sup>	64 <sup>bc</sup>	138	47 <sup>b</sup>
V3	ORG	4,7 <sup>a</sup>	4,0 <sup>c</sup>	37 <sup>d</sup>		86 <sup>b</sup>	31 <sup>b</sup>	117 <sup>b</sup>	154	75 <sup>a</sup>
V25	ORG	5,2 <sup>a</sup>	0 <sup>c</sup>	21 <sup>d</sup>		183 <sup>a</sup>	42 <sup>a</sup>	225 <sup>a</sup>	245	91 <sup>a</sup>
V50	ORG	5,3 <sup>a</sup>	0 <sup>c</sup>	16 <sup>d</sup>		164 <sup>a</sup>	41 <sup>a</sup>	205 <sup>a</sup>	221	93 <sup>a</sup>

A MO também respondeu à interação ( $p < 0,001$ ), mantendo valores mais elevados nos tratamentos orgânicos (Tabela 2-11). O P-resina e o S foram influenciadas principalmente pelo tipo de insumo ( $p < 0,001$ ), com maiores teores nos tratamentos com ORG. O boro foi alterado significativamente pela calagem ( $p > 0,001$ ) e pelo insumo ( $p > 0,001$ ) e manteve maiores concentrações nos tratamentos com NPK.

Tabela 2-11 Características químicas do solo na profundidade 0-20 cm sob diferentes tratamentos coletada com 270 dias do experimento. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ( $p < 0.05$ )

Calagem	Insumos	M.O. g/dm <sup>3</sup>	P-resina mg/dm <sup>3</sup>	Enxofre mg/dm <sup>3</sup>	Boro mg/dm <sup>3</sup>
V3	Sem insumo	1,0 <sup>c</sup>	3,0 <sup>c</sup>	35 <sup>c</sup>	0.18 <sup>c</sup>
V25	Sem insumo	1,0 <sup>c</sup>	3,0 <sup>c</sup>	41 <sup>c</sup>	0.11 <sup>c</sup>
V50	Sem insumo	1,0 <sup>c</sup>	2,0 <sup>c</sup>	42 <sup>c</sup>	0.13 <sup>c</sup>
V3	NPK	1,0 <sup>c</sup>	11 <sup>b</sup>	43 <sup>b</sup>	1.69 <sup>a</sup>
V25	NPK	2,0 <sup>c</sup>	16 <sup>b</sup>	49 <sup>b</sup>	1.97 <sup>a</sup>
V50	NPK	2,0 <sup>c</sup>	23 <sup>b</sup>	57 <sup>b</sup>	1.02 <sup>b</sup>
V3	ORG	11 <sup>bc</sup>	390 <sup>a</sup>	67 <sup>a</sup>	0.40 <sup>bc</sup>
V25	ORG	20 <sup>a</sup>	407 <sup>a</sup>	72 <sup>a</sup>	0.47 <sup>bc</sup>
V50	ORG	12 <sup>ab</sup>	401 <sup>a</sup>	69 <sup>a</sup>	0.34 <sup>c</sup>

Aos 270 dias, manteve-se o padrão observado nos períodos anteriores, o pH respondeu aos efeitos principais de calagem e insumos, com valores sistematicamente mais elevados sob ORG, e o Al<sup>3+</sup> foi neutralizado apenas nos tratamentos com aporte orgânico, independentemente do nível de calagem. Os teores de Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, soma de bases, CTC e V% responderam à interação calagem × insumos, atingindo os maiores valores sob ORG, especialmente nos maiores níveis de calagem, o que evidencia sinergia entre correção da acidez e aporte orgânico na manutenção de um gradiente edáfico mais fértil.

Neste estágio, além do contraste com ORG, tornou-se mais nítida a diferença entre NPK e ausência de insumo, principalmente para P-resina e S, que passaram a apresentar valores consistentemente superiores sob NPK, indicando efeito residual da adubação mineral ao longo do tempo. A matéria orgânica permaneceu mais elevada nos tratamentos com insumo orgânico, enquanto o boro manteve concentrações superiores sob NPK, reforçando o caráter pontual da adubação mineral. Em conjunto, aos 270 dias, os tratamentos com ORG sustentaram as diferenças no solo mais favoráveis, a calagem atenuou parcialmente as restrições nos tratamentos sem insumo e com NPK, e o NPK passou a se diferenciar do controle sobretudo pelo aporte específico de P e S no médio prazo.

Os resultados químicos do solo aos 90, 180 e 270 dias indicam que o manejo da fertilidade estabeleceu diferenças químicas no solo persistentes, definidos principalmente pelo tipo de insumo e facilitado pela calagem. O alto teor de Al<sup>3+</sup> surgiu como o principal fator restritivo, em consonância com evidências de que o alumínio no solo limita o crescimento radicular e a absorção de água e nutrientes (Abedi et al., 2013; Yang et al., 2015; Gomes et al., 2019; Ofoe et al., 2023). A elevação do pH via calagem reduziu sua disponibilidade, embora a tolerância ao Al varie entre espécies por mecanismos de exclusão e compartimentalização radicular (Yang et al., 2015; Yang et al., 2019; Pidjath et al., 2021). Em estudos, a aplicação de 250 g de calcário por cova foi suficiente para elevar a sobrevivência e o crescimento inicial de

espécies florestais, não sendo observados ganhos significativos com a duplicação dessa dosagem (Scheer, 2017).

O insumo orgânico promoveu melhoria integrada e persistente da fertilidade química ao longo do período avaliado, o que corrobora evidências de efeitos mais estruturais e duradouros de insumos orgânicos em comparação à fertilização mineral isolada (Ngo et al., 2014; Chen et al., 2018; Martín-Lammerding et al., 2021). Assim, o ORG redefiniu o solo no estabelecimento em casa de vegetação, enquanto a calagem atuou como fator facilitador, porém insuficiente para equiparar os tratamentos sem insumo ou com NPK às condições criadas pelo aporte orgânico.

### 2.3.9 Desempenho total das espécies conduzidas em casa de vegetação

Os resultados a seguir referem-se aos ao número de plântulas emergidas, quantidade de espécies e mortalidade dos indivíduos provenientes da semeadura direta em casa de vegetação durante os monitoramentos até os 270 dias (Tabela 2-12).

Tabela 2-12 Resultado da dinâmica da presença e ausência dos indivíduos durante os dias de monitoramento na casa de vegetação.

	30	60	90	120	150	170	210	240	270	Total
Plântulas emergidas	685	471	30	70	187	32	16	11	14	1516
Nº de espécies	8	1	0	0	2	0	0	0	0	11
Mortalidade	0	24	3	3	2	2	4	18	2	58
Nº de indivíduos retirados	0	0	0	46	267	78	278	42	70	781

A emergência concentrou-se nos primeiros 60 dias, período no qual foram registrados 76% dos indivíduos emergidos, distribuídos em oito espécies. Após 150 dias, observou-se nova emergência, associado à entrada de *Myrsine coriacea* e a novos indivíduos de *Citharexylum myrianthum*. Nos demais meses, a emergência foi pequena, totalizando 1.516 indivíduos.

Ao final do monitoramento, observou-se a emergência de 11 espécies. Das 13 espécies semeadas, apenas *Syagrus romanzoffiana* não apresentou germinação. A mortalidade acumulada foi de 58 indivíduos, com maior ocorrência no segundo e no oitavo meses. No total, foram utilizadas 4.617 sementes, das quais 432 de *A. arborescens* foram removidas. Ao final do experimento, 1.516 indivíduos permaneceram, correspondendo a uma taxa de estabelecimento de 32%. A sequência temporal das imagens evidencia a dinâmica de estabelecimento das espécies ao longo dos 270 dias de experimento, indicando maior biomassa vegetativo nos tratamentos com aplicação de insumo orgânico (Figura 2-6).

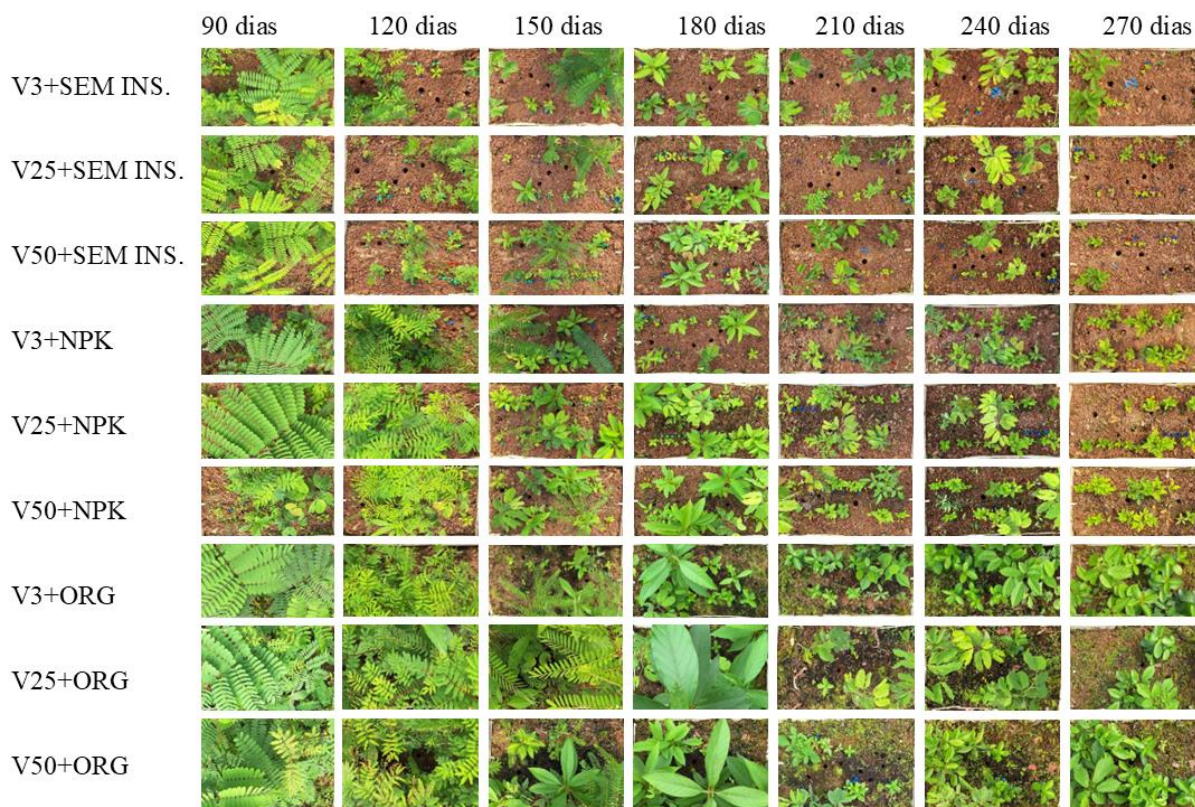


Figura 2-6 Registro fotográfico do desenvolvimento vegetativo das espécies ao longo de 270 dias sob diferentes tratamentos de calagem e aplicação de insumos. As imagens foram obtidas a aproximadamente 60 cm de altura, considerando o indivíduo com maior ápice foliar em cada unidade experimental. As colunas representam os tempos de avaliação (90, 120, 150, 180, 210, 240 e 270 dias após o plantio), enquanto as linhas correspondem aos tratamentos experimentais, combinando diferentes doses de calcário (V3, V25 e V50) com ausência de insumo, fertilização mineral (NPK) ou insumo orgânico (ORG).

Observou-se ampla variação entre as espécies em germinação, sobrevivência e crescimento (Tabela 2-13). O número de indivíduos estabelecidos variou de 6 (*Annona cacans*) a 434 (*Psidium cattleianum*). A mortalidade acumulada foi relativamente baixa para a maioria das espécies, sendo mais elevada em *Mimosa bimucronata*. A germinabilidade em casa de vegetação variou de 2% (*A. cacans*) a 89% (*Hymenaea courbaril*).

Tabela 2-13 Parâmetros de germinação, sobrevivência, crescimento e atributos funcionais das espécies arbóreas aos após a semeadura direta. Ind. = número total de indivíduos estabelecidos; Mort. = mortalidade acumulada; Ger. Lab. = germinação em laboratório; Emerg. = emergência em casa de vegetação; DC = diâmetros do colo; Tam. Sem. = tamanho da semente (EP = extremamente pequena; P = pequena; M = média; G = grande); G. Eco. = grupo ecológico (P = pioneira; NP = não pioneira; NI = não identificada).

Acrônimo	Espécie	G. Eco.	Tam. Sem.	Ind.	Mort. (n)	Ger. Lab. (%)	Emerg. (%)	Altura média (cm)	DC. média (cm)
PCAT	<i>Psidium cattleianum</i>	NP	P	434	5	33	80	10	1,6
ANCA	<i>Annona cf. cacans</i>	NP	M	6	0	1	2	8	1,4
SCTE	<i>Schinus terebinthifolius</i>	P	P	37	1	3	9	35	4,7
MYCO	<i>Myrsine coriacea</i>	P	P	113	5	3	26	7	1,9
SEMU	<i>Senna multijuga</i>	P	P	88	1	15	16	30	4,8
SCPA	<i>Schizolobium parahyba</i>	P	G	47	1	53	58	60	16,4
HAIM	<i>Handroanthus impetiginosus</i>	NP	P	67	4	1	12	18	6,5
HACH	<i>Handroanthus chrysotrichus</i>	NP	P	75	1	10	14	12	2,7
HYCO	<i>Hymenaea courbaril</i>	NP	G	72	4	72	89	52	7,9
MIBI	<i>Mimosa bimucronata</i>	P	EP	306	18	41	57	53	3,9

Acrônimo	Espécie	G. Eco.	Tam. Sem. Ind.	Mort. (n)	Ger. (%)	Lab. Emerg. (%)	Altura média (cm)	DC. média (cm)	
CIMY	<i>Citharexylum myrianthum</i>	P	M	269	10	10	50	14	2,6

Espécies de sementes grandes (*Hymenia courbaril* e *Schizolobium parahyba*) apresentaram altas taxas de germinação em laboratório e elevada germinabilidade em casa de vegetação, enquanto espécies de sementes pequenas ou extremamente pequenas registrou respostas mais variáveis, como observado para *Psidium cattleianum*, que combinou germinação laboratorial intermediária (33%) com alta germinabilidade em casa de vegetação (80%).

O crescimento médio aos nove meses variou amplamente entre as espécies, com altura média de 7 cm (*Mirsinia coriacea*) a 60 cm (*Schizolobium parahyba*), e diâmetro médio do colo (DC) de 1,4 mm (*Annona cacans*) a 16,4 mm (*Schizolobium parahyba*), evidenciando contrastes marcantes de desempenho inicial entre grupos sucessionais e estratégias de crescimento.

Os parâmetros médios de desenvolvimento por tratamento (Tabela 2-14) indicaram efeito significativo do fator insumos para todas as variáveis avaliadas. O número médio de indivíduos foi maior nos tratamentos sem insumos e com NPK, enquanto os tratamentos com insumo orgânico (ORG) teve menor densidade média de indivíduos ( $p = 0,03$ ). Em contraste, altura final, diâmetro do colo, número de folhas, peso fresco e peso seco apresentaram valores médios significativamente maiores nos tratamentos com ORG ( $p < 0,001$ ), seguidos pelos tratamentos com NPK e, por fim, pelos tratamentos sem insumos.

Tabela 2-14 Resultados médios dos parâmetros de desenvolvimento geral das espécies nos tratamentos na casa de vegetação. Legenda: Altura final (Alt.). Número de indivíduos (Ind.). Número de folhas (Folhas). Diâmetro do colo (DC). Peso fresco (PF). Peso seco (PS). Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente entre si pelo teste de Sidak ( $p < 0,05$ ).

Calagem	Insumos	Ind.	Alt. (cm)	DC (mm)	Folhas	PF (g)	PS (g)
V3	Sem insumo	180 <sup>a</sup>	16 <sup>c</sup>	2.8 <sup>b</sup>	13 <sup>b</sup>	51 <sup>c</sup>	13 <sup>c</sup>
V25	Sem insumo	175 <sup>a</sup>	16 <sup>c</sup>	2.7 <sup>b</sup>	12 <sup>b</sup>	31 <sup>c</sup>	10 <sup>c</sup>
V50	Sem insumo	193 <sup>a</sup>	13 <sup>c</sup>	2.9 <sup>b</sup>	11 <sup>b</sup>	34 <sup>c</sup>	9 <sup>c</sup>
V3	NPK	198 <sup>a</sup>	22 <sup>b</sup>	3.4 <sup>b</sup>	12 <sup>b</sup>	75 <sup>b</sup>	22 <sup>b</sup>
V25	NPK	180 <sup>a</sup>	22 <sup>b</sup>	3.4 <sup>b</sup>	13 <sup>b</sup>	86 <sup>b</sup>	23 <sup>b</sup>
V50	NPK	184 <sup>a</sup>	23 <sup>b</sup>	4.2 <sup>b</sup>	15 <sup>b</sup>	78 <sup>b</sup>	22 <sup>b</sup>
V3	ORG	132 <sup>b</sup>	42 <sup>a</sup>	6.4 <sup>a</sup>	19 <sup>a</sup>	195 <sup>a</sup>	55 <sup>a</sup>
V25	ORG	116 <sup>b</sup>	39 <sup>a</sup>	5.9 <sup>a</sup>	22 <sup>a</sup>	191 <sup>a</sup>	51 <sup>a</sup>
V50	ORG	137 <sup>b</sup>	37 <sup>a</sup>	5.4 <sup>a</sup>	20 <sup>a</sup>	153 <sup>a</sup>	44 <sup>a</sup>

A distribuição do número de indivíduos por espécie entre os tratamentos (Tabela 2-15) mostrou que o araçá (*Psidium cattleianum*) foi a espécie mais abundante em todos os tratamentos, enquanto *Annona cacans* registrou os menores valores. Apenas o araçá teve efeito significativo do fator insumos ( $p = 0,02$ ), com menores abundâncias nos tratamentos com ORG

em comparação aos demais, indicando resposta específica do estabelecimento ao manejo do solo com insumo orgânico.

Tabela 2-15 Número de indivíduos por espécie nos tratamentos em casa de vegetação. Legenda: Annona (ANCA). Araçá (PCAT). Aroeira (SCTE). Capororoca (MYCO). Caquera (SEMU). Guapuruvu (SCPA). Ipê amarelo (HACH). Ipê roxo (HAIM). Jatobá (HYCO). Maricá (MIBI). Pau viola (CIMY). Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente entre si pelo teste de Sidak ( $p < 0,05$ ).

Calagem	Insumos	ANC A	PCA T	SCT E	MYC O	SEM U	SCP A	HAC H	HAI M	HYC O	MIB I	CIM Y
V3	Sem insumo	0	52 <sup>a</sup>	2	15	13	5	10	8	8	37	30
V25	Sem insumo	0	52 <sup>a</sup>	3	11	16	3	9	8	9	43	28
V50	Sem insumo	1	59 <sup>a</sup>	9	17	5	6	13	10	9	35	32
V3	NPK	0	58 <sup>a</sup>	2	16	13	8	9	8	8	42	37
V25	NPK	3	58 <sup>a</sup>	7	18	6	6	4	7	9	35	31
V50	NPK	1	47 <sup>a</sup>	6	13	13	4	5	13	9	37	38
V3	ORG	0	33 <sup>b</sup>	3	10	5	6	5	7	7	29	29
V25	ORG	1	30 <sup>b</sup>	3	3	8	4	9	8	6	21	23
V50	ORG	0	45 <sup>b</sup>	2	10	9	5	3	6	7	27	21

Os tratamentos sem insumos e com NPK mineral favoreceram maior média de indivíduos estabelecidos, sugerindo condições menos restritivas à emergência inicial, a aplicação de insumo orgânico resultou em menor densidade média de indivíduos. A menor densidade sob insumo orgânico decorreu da liberação inicial do insumo e de efeitos físico-químicos locais na interface semente e solo.

A taxa de emergência das sementes não foi influenciada pela adição de nutrientes, evidenciando que a fertilização atua predominantemente nas fases pós-germinativas, modulando a sobrevivência e o crescimento das plântulas (Silva, 2015). Esse resultado corrobora a noção de que emergência depende mais das reservas da semente e da disponibilidade hídrica do solo do que do aporte externo de nutrientes. Embora a literatura indique que a relação entre recrutamento inicial e crescimento em restauração tropical é, quando presente, fraca e contexto-dependente (Meli et al., 2018; Charles et al., 2018; Kulikowski et al., 2022; Rüger et al., 2018). Esse padrão é consistente com evidências de que as condições do solo exercem maior controle sobre o crescimento do que sobre o recrutamento inicial em sistemas tropicais, afetando principalmente as taxas de crescimento e o acúmulo de biomassa (Breugel et al., 2011; Viani et al., 2011; Estrada-Villegas et al., 2019).

Para sintetizar as relações entre atributos químicos do solo e desempenho total das espécies nos diferentes tratamentos experimentais, foi realizada uma análise multivariada por meio de Análise de Componentes Principais (PCA) (Figura 2-7). A PCA revelou uma forte associação às condições químicas do solo e ao desempenho das plântulas, explicado

principalmente pelo primeiro eixo da ordenação (Dim1), responsável por 75,7% da variância total.

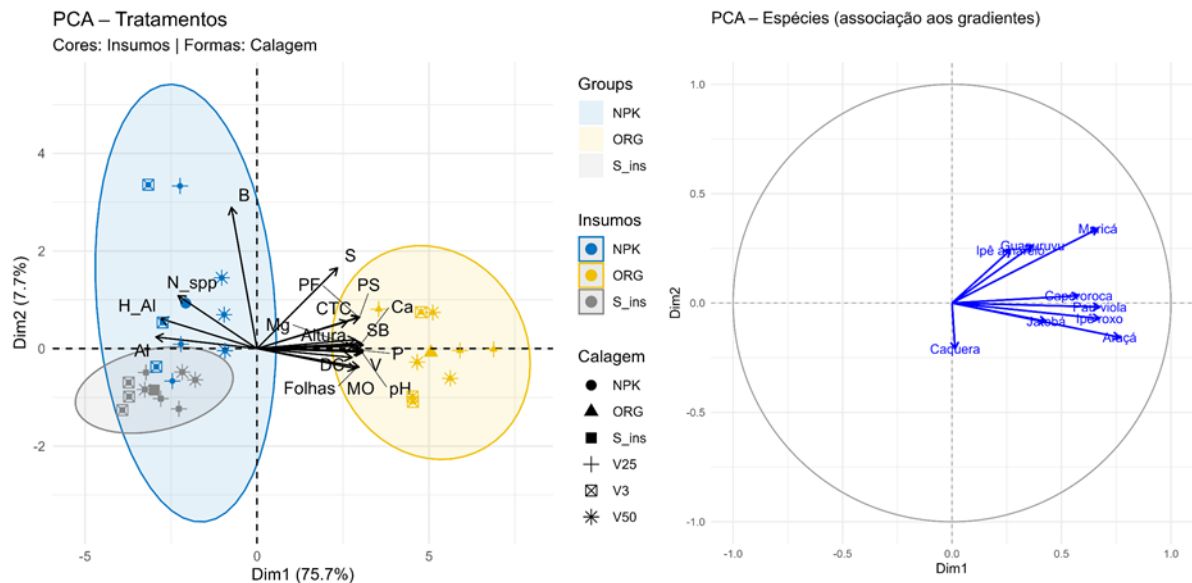


Figura 2-7 Ordenação por PCA das unidades experimentais, integrando atributos do solo e variáveis de crescimento. Setas pretas representam variáveis explicativas e setas azuis indicam a projeção de valores de peso seco das espécies (suplementares). Cores indicam os insumos (NPK, ORG e S\_ins) e símbolos os níveis de calagem (V25, V35 e V50). Elipses representam a dispersão dos tratamentos. Legenda: N\_spp = número de espécies; Altura = altura; Folhas = número de folhas; DC = diâmetro do colo; PF = massa fresca; PS = massa seca; pH = potencial hidrogeniônico; MO = matéria orgânica; P = fósforo; Al = alumínio; H+Al = acidez potencial; K = potássio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; SB = soma de bases; CTC = capacidade de troca catiônica; V = saturação por bases; S = enxofre; B = boro.

O eixo principal separou claramente os tratamentos com insumo orgânico dos tratamentos com NPK mineral e sem insumos. No lado positivo do eixo (Dim1), concentraram-se as unidades experimentais com aplicação de insumo orgânico, associadas a maiores valores de fertilidade do solo e de altura, diâmetro do colo, número de folhas e biomassa das plântulas. Os tratamentos sem insumo e com fertilização mineral apresentaram posição predominante no lado negativo do eixo, associados a maiores valores de alumínio trocável ( $Al^{3+}$ ) e acidez potencial (H+Al), indicando maior restrição química do solo e menor desempenho médio das plântulas.

A ordenação das espécies ao longo do gradiente ambiental indicou que o desempenho em biomassa das plântulas esteve fortemente associado às melhorias químicas do solo, especialmente nos tratamentos com insumo orgânico. O maior crescimento observado nesses tratamentos pode ser parcialmente explicado pela maior quantidade de insumo aplicado em comparação à fertilização mineral, o que implica maior aporte de nutrientes e a matéria orgânica, além de melhorias nas condições químicas do solo.

Embora o NPK forneça nutrientes de rápida disponibilidade, seu efeito sobre o crescimento foi mais limitado. Esse padrão pode estar associado ao potencial de acidificação de fertilizantes nitrogenados, o que reduz parte dos benefícios do aporte nutricional. A posição de dois tratamentos com NPK (V3 e V25) dentro da elipse dos tratamentos sem insumo sugere que, mesmo com fertilização, as condições químicas do solo permaneceram relativamente restritivas.

A calagem contribuiu para a redução da acidez e da toxicidade por alumínio ( $\text{Al}^{3+}$ ), melhorando parcialmente as condições do solo. Entretanto, a redução do alumínio isoladamente não foi suficiente para promover aumentos expressivos no crescimento quando não acompanhada por maior disponibilidade de nutrientes. Assim, tratamentos que combinaram calagem e NPK demonstrou desempenho intermediário, superior aos tratamentos sem insumo, porém inferior aos tratamentos com insumo orgânico.

As diferenças de fertilidade e de restrições químicas do solo associadas à acidez, à toxicidade por  $\text{Al}^{3+}$  e à saturação por bases atuaram como filtros ambientais durante o crescimento inicial, selecionando espécies com maior tolerância fisiológica a ambientes restritivos (Abedi et al., 2013; Breugel et al., 2011; Viani et al., 2011; Estrada-Villegas et al., 2019). A neutralização quase completa do  $\text{Al}^{3+}$  nos tratamentos com insumo orgânico, em todos os níveis de calagem e tempos de avaliação, coincidiu com os maiores incrementos de altura, diâmetro do colo e biomassa para a maioria das espécies, enquanto os tratamentos sem insumo e com NPK, nos quais a acidez e o  $\text{Al}^{3+}$  permaneceram elevados, com menores valores médios de crescimento. Esse padrão indica que a mitigação da toxicidade por Al atua como mecanismo chave de liberação do potencial de crescimento das espécies, funcionando como filtro primário para o crescimento. Os tratamentos com insumo orgânico apresentaram de forma consistente, maiores teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  no solo, acompanhados de maiores valores médios de altura, DC e biomassa aérea, corroborando evidências de que a adição de nutrientes aumenta moderadamente o crescimento e a biomassa de mudas tropicais, com efeitos mais pronunciados quando múltiplos nutrientes são combinados (Tandalla et al., 2024).

Os resultados indicam que o crescimento inicial das espécies depende da interação entre correção da acidez do solo e disponibilidade de nutrientes, na qual a redução do alumínio cria condições para o crescimento, enquanto o suprimento nutricional determina a magnitude da resposta das plântulas. A grande diferença entre as quantidades aplicadas de fertilização orgânica e mineral também evidencia uma lacuna quanto à equivalência de doses, sugerindo a

necessidade de estudos que explorem diferentes aplicações em sistemas de restauração por semeadura direta.

### 2.3.10 Desempenho das espécies entre os tratamentos

#### 2.3.10.1 *Schizolobium parahyba* (Guapuruvu)

A Tabela 2-16 apresenta o desempenho médio da espécie *Schizolobium parahyba* (guapuruvu) após 90 dias de monitoramento sob diferentes tratamentos em casa de vegetação. Não foram detectadas diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos para nenhuma das variáveis avaliadas.

Tabela 2-16 Desempenho médio da espécie *Schizolobium parahyba* (guapuruvu) após 90 dias de monitoramento em casa de vegetação. Legenda: peso fresco (PF), peso seco (PS), diâmetro do colo (DC), número de folhas (Folhas) e altura (Alt. cm) nos monitoramentos em 30, 60 e 90 dias.

Calagem	Insumos	PF (gr)	Ps (gr)	DC (mm)	Folhas	Alt. 30	Alt. 60	Alt. 90
V3	Sem insumo	197	42,4	14,8	6	14,6	38,5	47,7
V25	Sem insumo	132	25,5	15,9	6	19,9	37,8	50,0
V50	Sem insumo	165	31,1	13,1	5	21,1	34,3	44,0
V3	NPK	377	83,7	15,0	5	24,2	52,6	69,0
V25	NPK	488	100,1	17,7	6	22,7	43,8	56,8
V50	NPK	590	131,8	19,9	7	31,2	60,5	82,5
V3	ORG	533	113,5	17,9	6	22,3	46,7	72,5
V25	ORG	579	119,9	17,6	5	23,1	48,3	63,5
V50	ORG	375	80,7	17,9	7	19,5	47,0	72,2

Apesar da ausência de efeito estatístico, observou-se um padrão consistente entre os tratamentos. O tratamento sem insumo exibiu os menores valores relacionados ao crescimento e à biomassa da espécie, enquanto o tratamento com adubo orgânico e NPK manteve valores superiores para peso fresco, peso seco, diâmetro do colo e altura ao longo dos meses avaliados. Os maiores valores de crescimento e biomassa foram observados, predominantemente, nos tratamentos com NPK, especialmente associados ao nível mais elevado de calagem.

#### 2.3.10.2 *Mimosa bimucronata* (Maricá)

A Tabela 2-17 apresenta os resultados médios dos parâmetros de crescimento e biomassa da espécie *Mimosa bimucronata* (Maricá) após 120 dias de monitoramento sob diferentes tratamentos em casa de vegetação. A análise estatística indicou efeito significativo do fator insumos sobre a altura aos 90 dias e 120 dias ( $p < 0,001$ ) e diâmetro do colo ( $p = 0,001$ ). Foi observado efeito significativo da interação entre calagem e insumos para as variáveis de peso fresco ( $p = 0,03$ ) e peso seco ( $p = 0,02$ ). O número de folhas não foi contabilizado para essa espécie. O tratamento sem insumo exibiu os menores valores de altura, peso fresco, peso seco e diâmetro do colo. Os tratamentos com insumos orgânico e mineral (NPK) com valores superiores para essas variáveis, com destaque para os tratamentos com adubo orgânico.

Tabela 2-17 Desempenho médio da espécie *Mimosa bimucronata* (maricá) após 120 dias de monitoramento em casa de vegetação. Legenda: peso fresco (PF), peso seco (PS), diâmetro do colo (DC) e altura (Alt. cm) nos monitoramentos em 30, 60, 90 e 120 dias. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente entre si pelo teste de Sidak ( $p < 0,05$ ).

Calagem	Insumos	PF (g)	Ps (g)	DC (mm)	Alt. 30	Alt. 60	Alt. 90	Alt. 120
V3	Sem insumo	127 <sup>c</sup>	46 <sup>c</sup>	2,9 <sup>c</sup>	6,0	18	26 <sup>b</sup>	35 <sup>c</sup>
V25	Sem insumo	172 <sup>c</sup>	61 <sup>c</sup>	3,1 <sup>c</sup>	90	23	33 <sup>b</sup>	40 <sup>c</sup>
V50	Sem insumo	81 <sup>c</sup>	29 <sup>c</sup>	2,1 <sup>c</sup>	9,0	16	22 <sup>b</sup>	27 <sup>c</sup>
V3	NPK	383 <sup>bc</sup>	134 <sup>bc</sup>	3,7 <sup>b</sup>	10	21	37 <sup>a</sup>	54 <sup>b</sup>
V25	NPK	536 <sup>abc</sup>	191 <sup>abc</sup>	4,4 <sup>b</sup>	8,0	24	41 <sup>a</sup>	58 <sup>b</sup>
V50	NPK	348 <sup>bc</sup>	131 <sup>bc</sup>	3,5 <sup>b</sup>	8,0	23	42 <sup>a</sup>	55 <sup>b</sup>
V3	ORG	1082 <sup>a</sup>	367 <sup>a</sup>	5,9 <sup>a</sup>	8,0	29	55 <sup>a</sup>	83 <sup>a</sup>
V25	ORG	472 <sup>abc</sup>	157 <sup>bc</sup>	4,6 <sup>a</sup>	8,0	22	37 <sup>a</sup>	57 <sup>a</sup>
V50	ORG	894 <sup>ab</sup>	302 <sup>ab</sup>	5,7 <sup>a</sup>	8,0	24	42 <sup>a</sup>	75 <sup>a</sup>

A Tabela 2-18 apresenta os teores médios de macro e micronutrientes nas folhas da espécie *Mimosa bimucronata* aos 120 dias, sob diferentes combinações de calagem e insumos. Os tratamentos sem adição de insumos registrou maiores teores foliares de fósforo, cálcio, enxofre e micronutrientes metálicos, em comparação aos tratamentos com NPK e com insumo orgânico. Esse padrão foi consistente entre os níveis de calagem avaliados. Para o cálcio, a análise estatística indicou efeito significativo do fator insumos ( $p = 0,045$ ), com maiores teores observados nos tratamentos sem adubação em relação aos tratamentos com NPK e orgânico. O teor foliar de enxofre teve efeito significativo do fator insumos ( $p = 0,025$ ). Os maiores valores foram registrados nos tratamentos sem insumo. Para os micronutrientes, o teor de cobre teve efeito significativo do fator insumos ( $p = 0,012$ ) com maiores teores associados aos tratamentos sem insumo. De forma semelhante, o teor de boro demonstrou efeito significativo tanto da calagem ( $p = 0,0069$ ) quanto dos insumos ( $p = 0,0031$ ), indicando variação nos teores foliares em função desses fatores.

Tabela 2-18 Teores de macro e micronutrientes foliares de *Mimosa bimucronata* (maricá) no quarto mês de monitoramento em casa de vegetação, sob diferentes níveis de calagem e insumos. Unidades de N, P, K, Ca, Mg e S expressas em  $g\ kg^{-1}$ ; B, Cu, Fe, Mn e Zn em  $mg\ kg^{-1}$ . Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente entre si pelo teste de Sidak ( $p < 0,05$ ).

Calagem	Insumos	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
V3	Sem insumo	20	2,1	8,2	10,7 <sup>a</sup>	2,6	2,4 <sup>a</sup>	27 <sup>b</sup>	14 <sup>a</sup>	395	155	47
V25	Sem insumo	20	2,9	8,7	13,0 <sup>a</sup>	2,8	2,9 <sup>a</sup>	28 <sup>b</sup>	18 <sup>a</sup>	296	158	56
V50	Sem insumo	19	2,2	7,5	13,0 <sup>a</sup>	2,9	2,8 <sup>a</sup>	30 <sup>b</sup>	14 <sup>a</sup>	256	156	49
V3	NPK	19	1,5	9,4	9,1 <sup>b</sup>	2,3	1,6 <sup>b</sup>	160 <sup>a</sup>	7,0 <sup>b</sup>	152	139	41
V25	NPK	20	1,7	8,7	10,8 <sup>b</sup>	2,5	1,7 <sup>b</sup>	108 <sup>a</sup>	7,0 <sup>b</sup>	282	127	43
V50	NPK	18	1,5	7,3	9,7 <sup>b</sup>	2,6	1,8 <sup>b</sup>	94 <sup>a</sup>	8,0 <sup>b</sup>	202	134	36
V3	ORG	21	1,5	10,7	6,9 <sup>c</sup>	2,6	1,5 <sup>b</sup>	38 <sup>b</sup>	10 <sup>b</sup>	201	129	35
V25	ORG	26	1,9	11,2	6,5 <sup>c</sup>	2,6	1,5 <sup>b</sup>	36 <sup>b</sup>	8,0 <sup>b</sup>	144	95	35
V50	ORG	25	1,5	12,4	6,7 <sup>c</sup>	2,7	1,4 <sup>b</sup>	39 <sup>b</sup>	7,0 <sup>b</sup>	153	108	32

A Tabela 2-19 apresenta o conteúdo de macro e micronutrientes nas folhas de *Mimosa bimucronata*, expresso como teor multiplicado pela matéria seca, aos 120 dias de monitoramento sob diferentes níveis de calagem e tipos de insumos. De modo geral, os

tratamentos com insumo orgânico registraram os maiores conteúdos de macronutrientes, enquanto os tratamentos sem adição de insumos os menores conteúdo. Os tratamentos com NPK axibiu valores intermediários. A análise estatística demonstrou que o fator insumos influenciou significativamente o conteúdo de macronutrientes, com os maiores teores de nitrogênio ( $p < 0,001$ ), magnésio ( $p = 0,007$ ) e potássio ( $p = 0,034$ ) consistentemente associados aos tratamentos que utilizaram insumo orgânico. Para os micronutrientes, foi observado para o conteúdo de ferro efeito significativo do fator interação entre calagem e insumos ( $p < 0,001$ ), indicando variação no conteúdo desse micronutriente em função da combinação dos tratamentos. O manganês teve efeito significativo do fator insumos ( $p = 0,047$ ), com maiores conteúdos observados nos tratamentos com NPK e orgânico em comparação aos tratamentos sem insumo. O conteúdo de boro foi influenciado tanto pela calagem ( $p = 0,021$ ) quanto pelo fator insumos ( $p = 0,0012$ ), indicando variação significativa desse nutriente em função dos dois fatores avaliados.

Tabela 2-19 Conteúdo de macro e micronutrientes foliares de *Mimosa bimucronata* (maricá) aos 120 dias de monitoramento em casa de vegetação sob diferentes níveis de calagem e insumos. O conteúdo foi calculado a partir do produto entre o teor foliar e a massa seca da planta. Macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) expressos em g planta<sup>-1</sup> e micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn) em mg planta<sup>-1</sup>. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Sidak ( $p < 0,05$ ).

Calagem	Insumos	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
V3	Sem insumo	0.42 <sup>b</sup>	0.044	0.16 <sup>b</sup>	0.24	0.056 <sup>b</sup>	0.049	0.55 <sup>c</sup>	0.34	9.23 <sup>ab</sup>	3.62 <sup>b</sup>	1.11
V25	Sem insumo	0.29 <sup>b</sup>	0.042	0.13 <sup>b</sup>	0.17	0.038 <sup>b</sup>	0.041	0.39 <sup>c</sup>	0.25	4.40 <sup>bc</sup>	2.21 <sup>b</sup>	0.80
V50	Sem insumo	0.18 <sup>b</sup>	0.023	0.07 <sup>b</sup>	0.13	0.029 <sup>b</sup>	0.029	0.30 <sup>c</sup>	0.13	1.97 <sup>c</sup>	1.50 <sup>b</sup>	0.48
V3	NPK	1.26 <sup>b</sup>	0.098	0.64 <sup>b</sup>	0.55	0.151 <sup>c</sup>	0.102	1.06 <sup>a</sup>	0.38	7.87 <sup>ab</sup>	8.59 <sup>a</sup>	2.57
V25	NPK	0.85 <sup>b</sup>	0.068	0.39 <sup>b</sup>	0.44	0.104 <sup>c</sup>	0.072	4.76 <sup>a</sup>	0.21	6.75 <sup>abc</sup>	4.77 <sup>a</sup>	1.58
V50	NPK	0.76 <sup>b</sup>	0.068	0.32 <sup>b</sup>	0.42	0.114 <sup>c</sup>	0.085	4.07 <sup>a</sup>	0.34	8.93 <sup>ab</sup>	6.07 <sup>a</sup>	1.60
V3	ORG	1.95 <sup>a</sup>	0.138	0.96 <sup>a</sup>	0.72	0.259 <sup>a</sup>	0.137	3.14 <sup>b</sup>	0.78	20.8 <sup>a</sup>	12.7 <sup>a</sup>	3.17
V25	ORG	2.06 <sup>a</sup>	0.162	0.92 <sup>a</sup>	0.54	0.218 <sup>a</sup>	0.118	2.97 <sup>b</sup>	0.65	12.1 <sup>ab</sup>	7.89 <sup>a</sup>	2.90
V50	ORG	2.48 <sup>a</sup>	0.152	1.25 <sup>a</sup>	0.67	0.271 <sup>a</sup>	0.141	3.98 <sup>b</sup>	0.70	15.4 <sup>ab</sup>	10.8 <sup>a</sup>	3.17

### 2.3.10.3 *Senna multijuga* (Caquera)

A Tabela 2-20 apresenta o desempenho médio de *Senna multijuga* (caquera) aos 150 dias de monitoramento sob diferentes níveis de calagem e fontes de insumos em casa de vegetação. Para as variáveis de crescimento inicial (30 dias), foram observadas diferenças significativas entre o fator insumos a altura das plântulas ( $p = 0,01$ ). Aos 120 dias, verificou-se efeito significativo da interação calagem  $\times$  insumos ( $p = 0,028$ ) sobre a altura das plantas, indicando resposta diferencial da espécie às combinações de manejo. Aos 150 dias, o padrão se manteve, com efeito significativo e da interação calagem  $\times$  insumos ( $p = 0,026$ ). Os maiores valores médios de altura ocorreram novamente nos tratamentos com insumo orgânico. Para peso fresco, peso seco, diâmetro do colo e número de folhas avaliadas ao final do período, não

houve diferenças estatística. Os maiores valores médios concentraram-se nos tratamentos com ORG, sobretudo em V25.

Tabela 2-20 Desempenho médio de *Senna multijuga* (caquera) ao longo de cinco meses de monitoramento em casa de vegetação. PF = peso fresco da parte aérea (g planta<sup>-1</sup>); PS = peso seco da parte aérea (g planta<sup>-1</sup>); DC = diâmetro do colo (mm); Folhas = número de folhas por indivíduo; Altura (Alt. cm) nos monitoramentos em 30, 60, 90, 120 e 150 dias após a sementeira. Médias seguidas por letras distintas na mesma coluna diferem entre si pelo teste de Sidak ( $p < 0,05$ ).

Calagem	Insumos	PF (gr)	Ps (gr)	DC (mm)	Folhas	Alt. 30	Alt. 60	Alt. 90	Alt. 120	Alt. 150
V3	Sem insumo	95	33	21	5	4,0 <sup>b</sup>	10	15	20 <sup>b</sup>	22 <sup>b</sup>
V25	Sem insumo	128	42	23	5	4,0 <sup>b</sup>	8	18	13 <sup>b</sup>	16 <sup>b</sup>
V50	Sem insumo	43	16	14	4	4,0 <sup>b</sup>	7	11	15 <sup>b</sup>	18 <sup>b</sup>
V3	NPK	91	29	14	5	4,0 <sup>b</sup>	10	20	28 <sup>b</sup>	29 <sup>b</sup>
V25	NPK	20	7,0	14	4	4,0 <sup>b</sup>	11	17	25 <sup>b</sup>	30 <sup>b</sup>
V50	NPK	71	20	19	5	4,0 <sup>b</sup>	11	22	31 <sup>ab</sup>	34 <sup>b</sup>
V3	ORG	22	9,0	18	5	7,0 <sup>a</sup>	22	41	64 <sup>ab</sup>	76 <sup>ab</sup>
V25	ORG	164	56	27	6	5,0 <sup>a</sup>	22	43	70 <sup>a</sup>	83 <sup>a</sup>
V50	ORG	18	8,0	15	4	4,0 <sup>a</sup>	11	18	26 <sup>ab</sup>	33 <sup>b</sup>

#### 2.3.10.4 *Citharexylum myrianthum* (pau-viola)

A Tabela 2-21 apresenta os valores médios de biomassa e atributos morfológicos do *Citharexylum myrianthum* (pau-viola) aos 180 dias de monitoramento em casa de vegetação. Os tratamentos com insumo orgânico registrou os maiores valores de peso fresco e peso seco, enquanto os tratamentos sem insumo e com NPK, valores inferiores para essas variáveis. A análise estatística indicou efeito significativo do fator insumos sobre o peso fresco ( $p = 0,0089$ ) e sobre o peso seco ( $p < 0,001$ ), com maiores valores associados aos tratamentos com insumo orgânico. Para o diâmetro do colo, não foi observado efeito estatisticamente significativo entre os tratamentos. O número de folhas teve variação entre os tratamentos, com maiores médias nos tratamentos com insumo orgânico.

Tabela 2-21 Desempenho médio do *Citharexylum myrianthum* (pau-viola) após seis meses de monitoramento em casa de vegetação. Legenda: peso fresco (PF), peso seco (PS), número de folhas (Folhas) e diâmetro do colo (DC). Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente entre si pelo teste de Sidak ( $p < 0,05$ ).

Calagem	Insumos	PF (gr)	Ps (gr)	Folhas	DC (mm)
V3	Sem insumo	43 <sup>b</sup>	12 <sup>b</sup>	13	2.9
V25	Sem insumo	37 <sup>b</sup>	11 <sup>b</sup>	12	2.9
V50	Sem insumo	33 <sup>b</sup>	9 <sup>b</sup>	11	2.6
V3	NPK	31 <sup>b</sup>	10 <sup>b</sup>	11	3.3
V25	NPK	54 <sup>b</sup>	15 <sup>b</sup>	13	3.6
V50	NPK	72 <sup>b</sup>	21 <sup>b</sup>	15	4.8
V3	ORG	189 <sup>a</sup>	49 <sup>a</sup>	14	4.6
V25	ORG	246 <sup>a</sup>	67 <sup>a</sup>	17	6.6
V50	ORG	221 <sup>a</sup>	56 <sup>a</sup>	20	7.1

A Tabela 2-22 apresenta o crescimento em altura do pau-viola ao longo do período do monitoramento. De forma geral, os maiores valores de altura foram observados nos tratamentos com insumo orgânico em todos os meses avaliados, seguidos pelos tratamentos com NPK, enquanto os tratamentos sem insumo registraram os menores valores. Aos 30 dias de avaliação, foi observado efeito significativo da calagem ( $p = 0,022$ ) e dos insumos ( $p = 0,0087$ ) sobre a

altura. Aos 90, 120, 150 e 180 dias de monitoramento, o fator insumos apresentou efeito significativo sobre a altura das plantas ( $p = 0,0018$ ;  $p = 0,0039$ ;  $p = 0,024$ ;  $p < 0,001$  respectivamente), com maiores valores associados aos tratamentos com insumo orgânico.

Tabela 2-22 Crescimento em altura do pau-viola (*Citharexylum myrianthum*) ao longo dos meses de monitoramento em casa de vegetação. Legenda: altura (Alt cm) nos monitoramentos em 30, 60, 90, 120 e 180 dias. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente entre si pelo teste de Sidak ( $p < 0,05$ ).

Calagem	Insumos	Alt. 30	Alt. 60	Alt. 90	Alt. 120	Alt. 150	Alt. 180
V3	Sem insumo	2,9 <sup>ab</sup>	4,1	4,8 <sup>b</sup>	5,6 <sup>b</sup>	6,0 <sup>b</sup>	8,4 <sup>b</sup>
V25	Sem insumo	2,8 <sup>ab</sup>	3,6	4,4 <sup>b</sup>	5,4 <sup>b</sup>	6,6 <sup>b</sup>	8,4 <sup>b</sup>
V50	Sem insumo	3,3 <sup>ab</sup>	4,3	4,8 <sup>b</sup>	5,6 <sup>b</sup>	6,1 <sup>b</sup>	8,6 <sup>b</sup>
V3	NPK	2,3 <sup>b</sup>	4,4	5,5 <sup>b</sup>	7,2 <sup>b</sup>	7,7 <sup>b</sup>	9,4 <sup>b</sup>
V25	NPK	2,8 <sup>ab</sup>	4,1	5,6 <sup>b</sup>	7,2 <sup>b</sup>	8,6 <sup>b</sup>	11,9 <sup>b</sup>
V50	NPK	3,3 <sup>ab</sup>	4,8	6,8 <sup>b</sup>	7,9 <sup>b</sup>	9,0 <sup>b</sup>	12,9 <sup>b</sup>
V3	ORG	3,4 <sup>ab</sup>	5,1	8,8 <sup>a</sup>	12,1 <sup>a</sup>	11,2 <sup>a</sup>	18,2 <sup>a</sup>
V25	ORG	3,9 <sup>a</sup>	8,1	13 <sup>a</sup>	20,9 <sup>a</sup>	20,0 <sup>a</sup>	26,4 <sup>a</sup>
V50	ORG	3,7 <sup>a</sup>	6,9	11 <sup>a</sup>	14,2 <sup>a</sup>	18,5 <sup>a</sup>	28,6 <sup>a</sup>

A Tabela 2-23 apresenta os teores médios de macro e micronutrientes nas folhas de *Citharexylum myrianthum* após 180 dias de monitoramento em casa de vegetação, sob diferentes níveis de calagem e tipos de insumos. A análise estatística indicou efeito significativo do fator insumos sobre os teores de fósforo ( $p = 0,028$ ), potássio ( $p = 0,011$ ), cálcio ( $p = 0,039$ ), magnésio ( $p < 0,001$ ), enxofre ( $p < 0,001$ ) e zinco ( $p = 0,0490$ ), com maiores teores associados aos tratamentos com insumo orgânico. Para o nitrogênio foi observado efeito significativo da interação entre calagem e insumos ( $p = 0,017$ ), indicando variação do teor foliar de N em função da combinação dos fatores. De modo geral, os tratamentos com insumo orgânico demonstrou os maiores teores foliares de macronutrientes (N, P, K, Mg e S) e micronutrientes (Zn), enquanto os tratamentos sem insumo registrou os menores valores para a maioria dos nutrientes avaliados e os tratamentos com NPK com valores intermediários.

Tabela 2-23 Teores médios de macro e micronutrientes nas folhas de *Citharexylum myrianthum* (pau-viola) após seis meses de monitoramento em casa de vegetação, sob diferentes níveis de calagem e insumos. Unidades de N, P, K, Ca, Mg e S expressas em  $g\ kg^{-1}$ ; B, Cu, Fe, Mn e Zn em  $mg\ kg^{-1}$ . Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente entre si pelo teste de Sidak ( $p < 0,05$ ).

Calagem	Insumos	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
V3	Sem insumo	13 <sup>c</sup>	1.7 <sup>b</sup>	10 <sup>b</sup>	12 <sup>a</sup>	2.5 <sup>b</sup>	2.6 <sup>c</sup>	34	9	519	16	56 <sup>b</sup>
V25	Sem insumo	12 <sup>c</sup>	2.0 <sup>b</sup>	9 <sup>b</sup>	16 <sup>a</sup>	2.7 <sup>b</sup>	2.8 <sup>c</sup>	33	7	355	16	52 <sup>b</sup>
V50	Sem insumo	13 <sup>c</sup>	1.8 <sup>b</sup>	10 <sup>b</sup>	14 <sup>a</sup>	2.6 <sup>b</sup>	2.8 <sup>c</sup>	25	7	381	12	54 <sup>b</sup>
V3	NPK	13 <sup>c</sup>	1.6 <sup>b</sup>	11 <sup>b</sup>	14 <sup>a</sup>	2.5 <sup>b</sup>	2.8 <sup>b</sup>	43	8	454	14	72 <sup>ab</sup>
V25	NPK	12 <sup>c</sup>	1.8 <sup>b</sup>	10 <sup>b</sup>	13 <sup>a</sup>	2.5 <sup>b</sup>	2.9 <sup>b</sup>	41	10	410	13	62 <sup>ab</sup>
V50	NPK	13 <sup>c</sup>	1.9 <sup>b</sup>	11 <sup>b</sup>	15 <sup>a</sup>	2.5 <sup>b</sup>	3.0 <sup>b</sup>	38	12	386	12	64 <sup>ab</sup>
V3	ORG	16 <sup>bc</sup>	3.1 <sup>a</sup>	19 <sup>a</sup>	8 <sup>b</sup>	3.4 <sup>a</sup>	3.4 <sup>a</sup>	43	13	238	17	88 <sup>a</sup>
V25	ORG	23 <sup>a</sup>	2.3 <sup>a</sup>	19 <sup>a</sup>	9 <sup>b</sup>	3.1 <sup>a</sup>	3.3 <sup>a</sup>	40	11	244	17	65 <sup>a</sup>
V50	ORG	19 <sup>ab</sup>	3.0 <sup>a</sup>	17 <sup>a</sup>	10 <sup>b</sup>	3.5 <sup>a</sup>	3.4 <sup>a</sup>	45	13	302	16	80 <sup>a</sup>

A Tabela 2-24 apresenta o conteúdo de macro e micronutrientes nas folhas de *Citharexylum myrianthum* (pau-viola), expresso como teor multiplicado pela matéria seca, após

seis meses de monitoramento em casa de vegetação. A análise estatística indicou efeito significativo do fator insumos sobre o conteúdo de nitrogênio ( $p = 0,0258$ ), fósforo ( $p = 0,00307$ ), potássio ( $p < 0,001$ ), cálcio ( $p = 0,0132$ ), magnésio ( $p = 0,0132$ ), enxofre ( $p = 0,0111$ ), boro ( $p < 0,001$ ), cobre ( $p < 0,001$ ), ferro ( $p = 0,0383$ ) e manganês ( $p = 0,0221$ ). Não foi observado efeito significativo da calagem nem da interação entre calagem e insumos para os conteúdos dos nutrientes avaliados. De modo geral, os tratamentos com insumo orgânico evidenciaram os maiores conteúdos de todos os nutrientes avaliados (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn), enquanto os tratamentos sem insumo os menores valores e os tratamentos com NPK valores intermediários para a maioria dos nutrientes.

Tabela 2-24 Conteúdo de macro e micronutrientes foliares do pau-viola (*Citharexylum myrianthum*), após seis meses de monitoramento em casa de vegetação, sob diferentes níveis de calagem e insumos. Os valores de conteúdo foram obtidos pelo produto entre o teor e a massa da matéria seca foliar. Unidades de N, P, K, Ca, Mg e S expressas em g planta<sup>-1</sup>; B, Cu, Fe, Mn e Zn em mg planta<sup>-1</sup>. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente entre si pelo teste de Sidak ( $p < 0,05$ ).

Calagem	Insumos	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
V3	Sem insumo	0.15 <sup>b</sup>	0.023 <sup>b</sup>	0.11 <sup>b</sup>	0.15 <sup>b</sup>	0.030 <sup>b</sup>	0.030 <sup>b</sup>	0.43 <sup>b</sup>	0.090 <sup>b</sup>	6,61 <sup>b</sup>	0,14 <sup>b</sup>	0,67 <sup>b</sup>
V25	Sem insumo	0.13 <sup>b</sup>	0.021 <sup>b</sup>	0.10 <sup>b</sup>	0.16 <sup>b</sup>	0.027 <sup>b</sup>	0.029 <sup>b</sup>	0.35 <sup>b</sup>	0.078 <sup>b</sup>	3,69 <sup>b</sup>	0,16 <sup>b</sup>	0,57 <sup>b</sup>
V50	Sem insumo	0.11 <sup>b</sup>	0.016 <sup>b</sup>	0.09 <sup>b</sup>	0.13 <sup>b</sup>	0.023 <sup>b</sup>	0.025 <sup>b</sup>	0.22 <sup>b</sup>	0.058 <sup>b</sup>	3,16 <sup>b</sup>	0,09 <sup>b</sup>	0,48 <sup>b</sup>
V3	NPK	0.13 <sup>b</sup>	0.015 <sup>b</sup>	0.10 <sup>b</sup>	0.14 <sup>b</sup>	0.026 <sup>b</sup>	0.028 <sup>b</sup>	0.45 <sup>b</sup>	0.76 <sup>b</sup>	4,56 <sup>b</sup>	0,13 <sup>b</sup>	0,70 <sup>b</sup>
V25	NPK	0.19 <sup>b</sup>	0.027 <sup>b</sup>	0.149 <sup>b</sup>	0.17 <sup>b</sup>	0.038 <sup>b</sup>	0.044 <sup>b</sup>	0.75 <sup>b</sup>	0.175 <sup>b</sup>	4,90 <sup>b</sup>	0,17 <sup>b</sup>	0,96 <sup>b</sup>
V50	NPK	0.25 <sup>b</sup>	0.037 <sup>b</sup>	0.217 <sup>b</sup>	0.32 <sup>b</sup>	0.050 <sup>b</sup>	0.063 <sup>b</sup>	0.90 <sup>b</sup>	0.238 <sup>b</sup>	6,93 <sup>b</sup>	0,23 <sup>b</sup>	1,26 <sup>b</sup>
V3	ORG	0.84 <sup>a</sup>	0.118 <sup>a</sup>	0.92 <sup>a</sup>	0.44 <sup>a</sup>	0.154 <sup>a</sup>	0.171 <sup>a</sup>	2.36 <sup>a</sup>	0.575 <sup>a</sup>	18,0 <sup>a</sup>	0,93 <sup>a</sup>	3,84 <sup>a</sup>
V25	ORG	1.50 <sup>a</sup>	0.156 <sup>a</sup>	1.22 <sup>a</sup>	0.85 <sup>a</sup>	0.212 <sup>a</sup>	0.241 <sup>a</sup>	3.24 <sup>a</sup>	0.897 <sup>a</sup>	13,2 <sup>a</sup>	1,26 <sup>a</sup>	4,56 <sup>a</sup>
V50	ORG	1.03 <sup>a</sup>	0.191 <sup>a</sup>	0.89 <sup>a</sup>	0.52 <sup>a</sup>	0.196 <sup>a</sup>	0.185 <sup>a</sup>	2.49 <sup>a</sup>	0.716 <sup>a</sup>	12,9 <sup>a</sup>	0,76 <sup>a</sup>	4,83 <sup>a</sup>

Os resultados para o pau-viola (*Citharexylum myrianthum*) indicam elevada plasticidade nutricional associada a uma estratégia funcional típica de espécies iniciais, caracterizada por crescimento rápido e alta responsividade a incrementos de fertilidade. Essa combinação implica elevada demanda por nutrientes e maior sensibilidade a solos pobres e a desequilíbrios nutricionais, tornando a espécie particularmente vulnerável à omissão de elementos essenciais (Sorreano, 2006). O desempenho contrastante da espécie ao longo das diferentes fertilidades do solo, confirmam sua dependência nutricional na fase inicial, reforçando a necessidade de manejo direcionado em projetos de restauração por semeadura direta ou plantio de mudas (Sorreano, 2006; Kabata-Pendias, 2001).

#### 2.3.10.5 *Schinus terebinthifolia* (Aroeira pimenteira)

As Tabelas 2-25 apresentam os valores médios de biomassa, atributos morfológicos e crescimento em altura da espécie *Schinus terebinthifolia* (Aroeira pimenteira) após 210 dias de monitoramento em casa de vegetação. Em função do número reduzido de indivíduos estabelecidos em alguns tratamentos, não foi realizada análise estatística para essa espécie,

sendo os resultados demonstrados de forma descritiva. Nos parâmetros de biomassa e atributos morfológicos, os tratamentos com insumo orgânico tiveram os valores superiores de peso fresco, peso seco, número de folhas e diâmetro do colo em relação aos tratamentos sem insumo e com NPK e os tratamentos sem adubação e com NPK os valores reduzidos para essas variáveis ao longo dos níveis de calagem avaliados.

Tabela 2-25 Desempenho médio da aroeira (*Schinus terebinthifolia*) após 210 dias de monitoramento em casa de vegetação. Legenda: peso fresco (PF), peso seco (PS), número de folhas (Folhas) e diâmetro do colo (DC).

Calagem	Insumos	PF (gr)	Ps (gr)	Folhas	DC (mm)
V3	Sem insumo	3	1	8	2
V25	Sem insumo	10	3	9	3
V50	Sem insumo	11	3	7	2
V3	NPK	3	1	10	3
V25	NPK	5	1	9	3
V50	NPK	8	2	11	3
V3	ORG	130	40	23	8
V25	ORG	617	130	86	16
V50	ORG	341	103	66	7

O crescimento em altura ao longo dos meses (Tabela 2-26) seguiu o mesmo padrão observado para a biomassa. Os tratamentos com insumo orgânico tiveram os maiores valores de altura em todos os meses de avaliação, enquanto os tratamentos sem insumo e com NPK os menores valores ao longo do período de monitoramento. Esse padrão foi consistente entre os diferentes níveis de calagem avaliados.

Tabela 2-26 Crescimento em altura da aroeira (*Schinus terebinthifolia*) ao longo dos meses de monitoramento em casa de vegetação. Legenda: altura (Alt cm) nos monitoramentos em 30, 60, 90, 120, 180 e 210 dias.

Calagem	Insumos	Alt. 30	Alt. 60	Alt. 90	Alt. 120	Alt. 150	Alt. 180	Alt. 210
V3	Sem insumo	18,7	29,8	34,1	34,4	35,4	33,1	41,9
V25	Sem insumo	17,6	30,9	33,9	31,2	31,5	35,8	38,4
V50	Sem insumo	15,4	25,9	28,4	29,1	29,8	35,4	38,9
V3	NPK	18,2	29,7	36,4	40,0	37,8	41,3	45,5
V25	NPK	15,6	29,0	32,3	39,3	45,0	45,1	46,9
V50	NPK	13,6	29,0	33,8	35,0	36,4	40,1	41,6
V3	ORG	18,2	29,5	33,6	36,1	36,9	43,0	47,6
V25	ORG	18,9	30,3	35,3	40,8	44,5	48,2	53,5
V50	ORG	15,0	29,8	35,3	39,9	42,3	49,6	56,0

Com dois anos de plantio, *Schinus terebinthifolia* teve o melhor desempenho silvicultural entre as espécies avaliadas, desempenho atribuído à maior eficiência no uso de nutrientes e à capacidade de suportar estresse hídrico comum em solos sem cobertura vegetal (SCHEER, 2017). Essa combinação de atributos funcionais confere elevada plasticidade à espécie, qualificando-a como estratégica para o recobrimento rápido de áreas degradadas e para a redução inicial de estresses edáficos em projetos de restauração (Scheer, 2017).

### 2.3.10.6 *Hymenaea courbaril* (Jatobá)

As Tabelas 2-27 apresentam os valores médios de biomassa, atributos morfológicos e crescimento em altura da espécie *Hymenaea courbaril* (Jatobá) após 240 dias de monitoramento em casa de vegetação. Não foram observadas diferenças estatísticas entre os tratamentos para as variáveis avaliadas. Apesar da ausência de diferenças estatísticas, os valores médios de biomassa (peso fresco e peso seco), número de folhas e diâmetro do colo registraram variação entre os tratamentos, com maiores médias nos tratamentos com insumo orgânico, seguidos pelos tratamentos com NPK e, por fim, pelos tratamentos sem insumo.

Tabela 2-27 Desempenho médio do Jatobá (*Hymenaea courbaril*) após oito meses de monitoramento em casa de vegetação. Legenda: peso fresco (PF), peso seco (PS), número de folhas (Folhas) e diâmetro do colo (DC).

Calagem	Insumos	PF (gr)	Ps (gr)	Folhas	DC (mm)
V3	Sem insumo	55	24	13	8
V25	Sem insumo	51	26	11	8
V50	Sem insumo	52	22	12	7
V3	NPK	60	27	12	8
V25	NPK	52	23	13	8
V50	NPK	55	23	11	7
V3	ORG	70	31	15	9
V25	ORG	61	29	15	9
V50	ORG	87	41	18	9

O crescimento em altura ao longo dos meses seguiu o mesmo padrão observado para a biomassa (Tabela 2-28). Os maiores valores médios foram registrados, de forma consistente, nos tratamentos com insumo orgânico, seguidos pelos tratamentos com NPK, enquanto os tratamentos sem insumo registraram os menores valores médios ao final do período de monitoramento. Esse padrão foi observado de forma semelhante entre os diferentes níveis de calagem.

Tabela 2-28 Crescimento em altura do jatobá (*Hymenaea courbaril*) ao longo dos meses de monitoramento em casa de vegetação. Legenda: altura (Alt. cm) nos monitoramentos em 30, 60, 90, 120, 180, 210 e 240 dias.

Calagem	Insumos	Alt. 30	Alt. 60	Alt. 90	Alt. 120	Alt. 150	Alt. 180	Alt. 210	Alt. 240
V3	Sem insumo	18,7	29,8	34,1	34,4	35,4	33,1	41,9	49,5
V25	Sem insumo	17,6	30,9	33,9	31,2	31,5	35,8	38,4	45,3
V50	Sem insumo	15,4	25,9	28,4	29,1	29,8	35,4	38,9	48,5
V3	NPK	18,2	29,7	36,4	40,0	37,8	41,3	45,5	46,3
V25	NPK	15,6	29,0	32,3	39,3	45,0	45,1	46,9	51,9
V50	NPK	13,6	29,0	33,8	35,0	36,4	40,1	41,6	49,6
V3	ORG	18,2	29,5	33,6	36,1	36,9	43,0	47,6	57,1
V25	ORG	18,9	30,3	35,3	40,8	44,5	48,2	53,5	58,7
V50	ORG	15,0	29,8	35,3	39,9	42,3	49,6	56,0	63,0

A Tabela 2-29 apresenta os teores médios de macro e micronutrientes nas folhas de *Hymenaea courbaril* após oito meses de monitoramento em casa de vegetação, sob diferentes níveis de calagem e tipos de insumos. Entre os micronutrientes, apenas o teor de boro (B) demonstrou diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos ( $p = 0,0087$ ), com

maiores valores observados nos tratamentos com NPK em comparação aos tratamentos sem insumo e com insumo orgânico.

Tabela 2-29 Teores médios de macro e micronutrientes nas folhas do jatobá (*Hymenaea courbaril*) após 240 dias de monitoramento em casa de vegetação, sob diferentes níveis de calagem e insumos. Legenda: N, P, K, Ca, Mg e S expressos em g kg<sup>-1</sup> de matéria seca; B, Cu, Fe, Mn e Zn expressos em mg kg<sup>-1</sup> de matéria seca. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente entre si pelo teste de Sidak ( $p < 0,05$ ).

Calagem	Insumos	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
V3	Sem insumo	13	2,5	14	8,0	3,4	2,5	39 <sup>b</sup>	11	235	200	29
V25	Sem insumo	13	2,2	12	9,3	3,5	2,2	43 <sup>b</sup>	8,0	209	230	30
V50	Sem insumo	12	1,9	12	7,7	3,4	1,9	35 <sup>b</sup>	18	290	156	30
V3	NPK	14	2,2	12	8,7	3,3	2,2	63 <sup>a</sup>	9,0	263	288	34
V25	NPK	14	2,1	13	9,3	3,5	2,1	71 <sup>a</sup>	9,0	257	265	29
V50	NPK	13	1,9	12	10	3,4	1,9	56 <sup>a</sup>	9,0	250	243	27
V3	ORG	16	2,2	14	9,0	3,1	2,2	34 <sup>b</sup>	11	190	300	28
V25	ORG	14	1,1	12	7,7	3,0	1,1	34 <sup>b</sup>	20	221	237	25
V50	ORG	15	1,4	12	7,7	3,0	1,4	29 <sup>b</sup>	9,0	159	195	29

A Tabela 2-30 apresenta o conteúdo de macro e micronutrientes nas folhas de *Hymenaea courbaril*, expresso como teor multiplicado pela matéria seca, após oito meses de monitoramento em casa de vegetação. Não foram observadas diferenças estatísticas entre os tratamentos para o conteúdo dos nutrientes. Os conteúdos de nutrientes oscilaram entre os tratamentos, acompanhando as diferenças observadas na biomassa foliar. De forma geral, os tratamentos com insumo orgânico e com NPK exibiram maiores conteúdos de nutrientes em comparação aos tratamentos sem insumo, enquanto os tratamentos sem adubação os menores conteúdos para a maioria dos elementos avaliados.

Tabela 2-30 Conteúdo de macro e micronutrientes foliares do jatobá (*Hymenaea courbaril*), após oito meses de monitoramento em casa de vegetação, sob diferentes níveis de calagem e insumos. Os valores de conteúdo foram obtidos pelo produto entre o teor e a massa da matéria seca foliar. Unidades de N, P, K, Ca, Mg e S expressas em g planta<sup>-1</sup>; B, Cu, Fe, Mn e Zn em mg planta<sup>-1</sup>. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente entre si pelo teste de Sidak ( $p < 0,05$ ).

Calagem	Insumos	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
V3	Sem insumo	0.31	0.061	0.33	0.20	0.083	0.054	0.91	0.26	5.28	4.68	0.69
V25	Sem insumo	0.33	0.052	0.30	0.24	0.091	0.052	1.11	0.18	5.52	6.40	0.76
V50	Sem insumo	0.28	0.042	0.25	0.17	0.076	0.046	0.72	0.46	6.08	3.42	0.71
V3	NPK	0.37	0.061	0.33	0.23	0.090	0.058	1.30	0.23	6.74	8.01	0.97
V25	NPK	0.31	0.047	0.29	0.21	0.079	0.048	1.59	0.19	5.38	5.97	0.60
V50	NPK	0.28	0.045	0.27	0.23	0.079	0.045	1.32	0.21	5.94	5.60	0.62
V3	ORG	0.49	0.069	0.44	0.29	0.098	0.074	1.11	0.34	6.15	9.23	0.89
V25	ORG	0.44	0.045	0.37	0.21	0.087	0.057	0.93	0.43	6.74	7.66	0.87
V50	ORG	0.56	0.053	0.51	0.29	0.121	0.073	1.20	0.36	5.92	8.15	1.14

O jatobá (*Hymenaea courbaril*) evidenciou baixa resposta à calagem e à adubação no curto prazo, mantendo crescimento e biomassa relativamente estáveis mesmo sob baixa disponibilidade de nutrientes, novos estudos são necessários a longo prazo para verificar se essa característica permanece. Esse padrão, típico de espécies clímax, reflete uma estratégia funcional conservativa, baseada em elevada eficiência no uso de reservas internas e maior tolerância à limitação nutricional, de modo que a fertilidade atua como um filtro fraco sobre

seu desempenho inicial (Sorreato, 2006). Essa espécie demonstra baixa sensibilidade à omissão de nutrientes que confere estabilidade estrutural em solos pobres, qualificando o jatobá como espécie resiliente para restauração florestal em ambientes de baixa fertilidade e como componente funcional complementar a espécies mais exigentes em projetos de semeadura direta ou plantio de mudas (Sorreato, 2006).

#### 2.3.10.7 *Psidium cattleianum* (Araça)

A Tabela 2-31 apresenta os valores médios de biomassa e atributos morfológicos do araçá após 270 dias de monitoramento em casa de vegetação. Os tratamentos com insumo orgânico tiveram os maiores valores de peso fresco, peso seco, número de folhas e diâmetro do colo, seguidos pelos tratamentos com NPK, enquanto os tratamentos sem insumo os menores valores. A análise estatística indicou efeito significativo do fator insumos sobre o peso fresco ( $p < 0,001$ ) e o peso seco ( $p < 0,001$ ), bem como sobre o número de folhas ( $p = 0,047$ ). Foi observado efeito significativo ( $p = 0,012$ ) da interação entre calagem e insumos para diâmetro do colo.

Tabela 2-31 Desempenho médio do araçá (*Psidium cattleianum*) após nove meses de monitoramento em casa de vegetação. Legenda: peso fresco (PF), peso seco (PS), número de folhas (Folhas) e diâmetro do colo (DC). Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente entre si ( $p < 0,05$ ).

Calagem	Insumos	PF (gr)	Ps (gr)	Folhas	DC (mm)
V3	Sem insumo	14 <sup>c</sup>	4,0 <sup>c</sup>	13 <sup>b</sup>	1.2 <sup>c</sup>
V25	Sem insumo	10 <sup>c</sup>	3,0 <sup>c</sup>	14 <sup>b</sup>	0.9 <sup>c</sup>
V50	Sem insumo	12 <sup>c</sup>	4,0 <sup>c</sup>	13 <sup>b</sup>	1.0 <sup>c</sup>
V3	NPK	17 <sup>b</sup>	6,0 <sup>b</sup>	14 <sup>b</sup>	1.3 <sup>cb</sup>
V25	NPK	25 <sup>b</sup>	7,0 <sup>b</sup>	16 <sup>b</sup>	1.5 <sup>cb</sup>
V50	NPK	30 <sup>b</sup>	8,0 <sup>b</sup>	18 <sup>b</sup>	1.6 <sup>bc</sup>
V3	ORG	177 <sup>a</sup>	49 <sup>a</sup>	28 <sup>a</sup>	5.6 <sup>a</sup>
V25	ORG	82 <sup>a</sup>	23 <sup>a</sup>	24 <sup>a</sup>	3.2 <sup>ab</sup>
V50	ORG	136 <sup>a</sup>	37 <sup>a</sup>	23 <sup>a</sup>	3.0 <sup>ab</sup>

A emergência do araçá teve início após os 30 dias (Tabela 2-32). O crescimento em altura ao longo dos meses oscilou entre os tratamentos. O fator insumos teve efeito significativo sobre a altura desde os meses iniciais até os 240 dias de monitoramento ( $p < 0,05$ ), com maiores valores associados aos tratamentos com insumo orgânico, seguidos por NPK e, por fim, sem insumo. No estágio mais avançados de crescimento, 270 dias, foi observado efeito significativo da interação entre calagem e insumos para a altura ( $p = 0,0152$ ).

Tabela 2-32 Crescimento em altura do araçá (*Psidium cattleianum*) ao longo dos meses de monitoramento em casa de vegetação. Legenda: altura (Alt. cm) nos monitoramentos em 30, 60, 90, 120, 180, 210, 240 e 270 dias. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente entre si ( $p < 0,05$ ).

Calagem	Insumos	Alt. 30	Alt. 60	Alt. 90	Alt. 120	Alt. 150	Alt. 180	Alt. 210	Alt. 240	Alt. 270
V3	Sem insumo	1,2 <sup>b</sup>	1,9 <sup>c</sup>	2,3 <sup>b</sup>	3,1 <sup>c</sup>	3,8 <sup>c</sup>	4,3 <sup>c</sup>	5,1 <sup>c</sup>	5,9 <sup>c</sup>	
V25	Sem insumo	1,4 <sup>b</sup>	2,1 <sup>c</sup>	2,6 <sup>b</sup>	2,9 <sup>c</sup>	3,4 <sup>c</sup>	3,8 <sup>c</sup>	4,6 <sup>c</sup>	5,4 <sup>c</sup>	
V50	Sem insumo	1,6 <sup>b</sup>	2,0 <sup>c</sup>	2,3 <sup>b</sup>	2,8 <sup>c</sup>	3,5 <sup>c</sup>	4,0 <sup>c</sup>	4,6 <sup>c</sup>	5,3 <sup>c</sup>	
V3	NPK	1,8 <sup>a</sup>	2,5 <sup>b</sup>	3,0 <sup>a</sup>	3,8 <sup>b</sup>	4,7 <sup>b</sup>	5,4 <sup>b</sup>	7,5 <sup>b</sup>	7,2 <sup>cb</sup>	
V25	NPK	1,8 <sup>a</sup>	2,4 <sup>b</sup>	3,0 <sup>a</sup>	3,6 <sup>b</sup>	4,7 <sup>b</sup>	5,3 <sup>b</sup>	6,1 <sup>b</sup>	7,3 <sup>cb</sup>	
V50	NPK	1,8 <sup>a</sup>	2,6 <sup>b</sup>	3,8 <sup>a</sup>	4,1 <sup>b</sup>	4,8 <sup>b</sup>	5,8 <sup>b</sup>	7,2 <sup>b</sup>	10 <sup>ab</sup>	
V3	ORG	2,0 <sup>a</sup>	2,8 <sup>a</sup>	3,9 <sup>a</sup>	4,4 <sup>a</sup>	7,0 <sup>a</sup>	9,7 <sup>a</sup>	18 <sup>a</sup>	25 <sup>a</sup>	
V25	ORG	1,6 <sup>a</sup>	3,1 <sup>a</sup>	4,5 <sup>a</sup>	4,9 <sup>a</sup>	8,2 <sup>a</sup>	10,7 <sup>a</sup>	15 <sup>a</sup>	21 <sup>a</sup>	
V50	ORG	1,7 <sup>a</sup>	3,2 <sup>a</sup>	3,4 <sup>a</sup>	5,1 <sup>a</sup>	7,6 <sup>a</sup>	10,2 <sup>a</sup>	14 <sup>a</sup>	19 <sup>a</sup>	

A Tabela 2-33 apresenta os teores médios de macro e micronutrientes nas folhas de *Psidium cattleianum* após 270 dias de monitoramento em casa de vegetação, sob diferentes níveis de calagem e tipos de insumos. A análise estatística indicou efeito significativo do fator insumos sobre o teor de nitrogênio ( $p = 0,0059$ ), com maiores valores nos tratamentos com insumo orgânico. Para o potássio (K), também foi observado efeito significativo do fator insumos ( $p = 0,035$ ), com maiores teores associados aos tratamentos com insumo orgânico e NPK em comparação aos tratamentos sem insumo. Entre os micronutrientes, o boro (B) teve efeito significativo do fator insumos ( $p = 0,0003$ ), com maiores teores nos tratamentos com NPK em relação aos tratamentos sem insumo e com insumo orgânico.

Tabela 2-33 Teores médios de macro e micronutrientes nas folhas do araçá (*Psidium cattleianum*) após 270 dias de monitoramento em casa de vegetação, sob diferentes níveis de calagem e insumos. Legenda: N, P, K, Ca, Mg e S expressos em  $g\ kg^{-1}$  de matéria seca; B, Cu, Fe, Mn e Zn expressos em  $mg\ kg^{-1}$  de matéria seca. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente entre si pelo teste de Sidak ( $p < 0,05$ ).

Calagem	Insumos	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
V3	Sem insumo	12 <sup>b</sup>	2,3	11 <sup>b</sup>	6,1	1,7	2,8	42 <sup>b</sup>	13	417	33	32
V25	Sem insumo	12 <sup>b</sup>	2,2	11 <sup>b</sup>	6,9	1,7	3,3	44 <sup>b</sup>	12	606	29	28
V50	Sem insumo	13 <sup>b</sup>	2,1	11 <sup>b</sup>	7,5	2,1	3,0	41 <sup>b</sup>	13	717	42	31
V3	NPK	13 <sup>b</sup>	3,1	14 <sup>a</sup>	5,9	2,0	3,4	160 <sup>a</sup>	14	534	34	30
V25	NPK	14 <sup>b</sup>	3,3	14 <sup>a</sup>	6,7	1,9	3,2	154 <sup>a</sup>	14	511	28	27
V50	NPK	12 <sup>b</sup>	3,5	15 <sup>a</sup>	7,5	2,1	3,0	122 <sup>a</sup>	13	406	29	34
V3	ORG	16 <sup>a</sup>	4,1	16 <sup>a</sup>	5,1	2,3	2,7	77 <sup>b</sup>	16	165	34	30
V25	ORG	17 <sup>a</sup>	2,8	16 <sup>a</sup>	5,1	2,4	2,4	74 <sup>b</sup>	14	229	25	29
V50	ORG	15 <sup>a</sup>	3,2	17 <sup>a</sup>	6,4	2,6	2,5	52 <sup>b</sup>	13	195	31	30

A Tabela 2-34 apresenta o conteúdo de macro e micronutrientes nas folhas de *Psidium cattleianum*, expresso como teor multiplicado pela matéria seca, após 270 dias de monitoramento em casa de vegetação, sob diferentes níveis de calagem e tipos de insumos. A análise estatística indicou efeito significativo do fator insumos sobre o conteúdo de nitrogênio ( $p < 0,001$ ), fósforo ( $p < 0,001$ ), potássio ( $p < 0,001$ ), cálcio ( $p < 0,001$ ), magnésio ( $p = 0,00123$ ), enxofre ( $p < 0,001$ ), boro ( $p < 0,001$ ), cobre ( $p < 0,001$ ), manganês ( $p < 0,001$ ) e zinco ( $p < 0,001$ ). De modo geral, os tratamentos com insumo orgânico registraram os maiores

conteúdos de todos os nutrientes avaliados, enquanto os tratamentos sem insumo os menores conteúdo e os tratamentos com NPK valores intermediários para a maioria dos elementos.

Tabela 2-34 Conteúdo de macro e micronutrientes foliares do araçá (*Psidium cattleianum*) após 270 dias de monitoramento em casa de vegetação, sob diferentes níveis de calagem e insumos. Os valores de conteúdo foram obtidos pelo produto entre o teor e a massa da matéria seca foliar. Unidades de N, P, K, Ca, Mg e S expressas em g planta<sup>-1</sup>; B, Cu, Fe, Mn e Zn em mg planta<sup>-1</sup>. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente entre si pelo teste de Sidak ( $p < 0,05$ ).

Calagem	Insumos	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
V3	Sem insumo	0,047 <sup>c</sup>	0,011 <sup>c</sup>	0,041 <sup>c</sup>	0,026 <sup>b</sup>	0,007 <sup>b</sup>	0,011 <sup>c</sup>	0,16 <sup>c</sup>	0,055 <sup>c</sup>	1,87	0,14 <sup>b</sup>	0,14 <sup>c</sup>
V25	Sem insumo	0,033 <sup>c</sup>	0,006 <sup>c</sup>	0,031 <sup>c</sup>	0,018 <sup>b</sup>	0,005 <sup>b</sup>	0,009 <sup>c</sup>	0,11 <sup>c</sup>	0,034 <sup>c</sup>	1,77	0,08 <sup>b</sup>	0,085 <sup>c</sup>
V50	Sem insumo	0,044 <sup>c</sup>	0,006 <sup>c</sup>	0,040 <sup>c</sup>	0,025 <sup>b</sup>	0,007 <sup>b</sup>	0,010 <sup>c</sup>	0,15 <sup>c</sup>	0,045 <sup>c</sup>	2,57	0,15 <sup>b</sup>	0,11 <sup>c</sup>
V3	NPK	0,077 <sup>b</sup>	0,017 <sup>b</sup>	0,077 <sup>b</sup>	0,034 <sup>b</sup>	0,011 <sup>b</sup>	0,021 <sup>b</sup>	0,95 <sup>b</sup>	0,078 <sup>b</sup>	2,85	0,18 <sup>b</sup>	0,16 <sup>b</sup>
V25	NPK	0,088 <sup>b</sup>	0,021 <sup>b</sup>	0,092 <sup>b</sup>	0,044 <sup>b</sup>	0,012 <sup>b</sup>	0,020 <sup>b</sup>	1,14 <sup>b</sup>	0,087 <sup>b</sup>	3,91	0,17 <sup>b</sup>	0,17 <sup>b</sup>
V50	NPK	0,098 <sup>b</sup>	0,028 <sup>b</sup>	0,11 <sup>b</sup>	0,059 <sup>b</sup>	0,016 <sup>b</sup>	0,024 <sup>b</sup>	0,96 <sup>b</sup>	0,10 <sup>b</sup>	3,19	0,22 <sup>b</sup>	0,26 <sup>b</sup>
V3	ORG	0,76 <sup>a</sup>	0,21 <sup>a</sup>	0,82 <sup>a</sup>	0,24 <sup>a</sup>	0,12 <sup>a</sup>	0,130 <sup>a</sup>	4,18 <sup>a</sup>	0,79 <sup>a</sup>	7,36	1,52 <sup>a</sup>	1,69 <sup>a</sup>
V25	ORG	0,39 <sup>a</sup>	0,069 <sup>a</sup>	0,38 <sup>a</sup>	0,12 <sup>a</sup>	0,058 <sup>a</sup>	0,053 <sup>a</sup>	1,62 <sup>a</sup>	0,31 <sup>a</sup>	6,20	0,55 <sup>a</sup>	0,59 <sup>a</sup>
V50	ORG	0,55 <sup>a</sup>	0,12 <sup>a</sup>	0,62 <sup>a</sup>	0,23 <sup>a</sup>	0,097 <sup>a</sup>	0,092 <sup>a</sup>	1,98 <sup>a</sup>	0,46 <sup>a</sup>	6,92	1,18 <sup>a</sup>	1,09 <sup>a</sup>

#### 2.3.10.8 *Handroanthus impetiginosus* (Ipê roxo)

A Tabela 2-35 apresenta os valores médios de biomassa e atributos morfológicos do ipê-roxo após nove meses de monitoramento em casa de vegetação. A análise estatística indicou efeito significativo do fator insumos sobre diâmetro do colo ( $p = 0,0024$ ) e número de folhas ( $p = 0,0086$ ). Para as variáveis de peso fresco e peso seco, foi observada interação significativa entre calagem e insumos ( $p = 0,031$  e  $p = 0,021$ , respectivamente), indicando variação da resposta da biomassa. De modo geral, os tratamentos com insumo orgânico evidenciaram os maiores valores de peso fresco e peso seco, seguidos pelos tratamentos com NPK, enquanto os tratamentos sem insumo os menores valores médios de biomassa. Padrão semelhante foi observado para o diâmetro do colo e o número de folhas, com maiores valores nos tratamentos com insumo orgânico.

Tabela 2-35 Desempenho médio do ipê-roxo (*Handroanthus impetiginosus*) após 270 dias de monitoramento em casa de vegetação. Legenda: peso fresco (PF), peso seco (PS), diâmetro do colo (DC) e número de folhas (Folhas). Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente entre si ( $p < 0,05$ ).

Calagem	Insumos	PF (gr)	Ps (gr)	DC (mm)	Folhas
V3	Sem insumo	1,0 <sup>c</sup>	0,1 <sup>c</sup>	7,0 <sup>b</sup>	2,0 <sup>b</sup>
V25	Sem insumo	3,0 <sup>c</sup>	1,0 <sup>c</sup>	9,0 <sup>b</sup>	3,0 <sup>b</sup>
V50	Sem insumo	5,0 <sup>c</sup>	1,0 <sup>c</sup>	8,0 <sup>b</sup>	12 <sup>b</sup>
V3	NPK	10 <sup>c</sup>	3,0 <sup>c</sup>	12 <sup>ab</sup>	4,0 <sup>ab</sup>
V25	NPK	12 <sup>c</sup>	3,0 <sup>c</sup>	12 <sup>ab</sup>	5,0 <sup>ab</sup>
V50	NPK	15 <sup>bc</sup>	4,0 <sup>bc</sup>	15 <sup>ab</sup>	8,0 <sup>ab</sup>
V3	ORG	92 <sup>a</sup>	29 <sup>a</sup>	17 <sup>a</sup>	9,0 <sup>a</sup>
V25	ORG	21 <sup>bc</sup>	6,0 <sup>bc</sup>	9,0 <sup>a</sup>	5,0 <sup>a</sup>
V50	ORG	74 <sup>ab</sup>	22 <sup>ab</sup>	19 <sup>a</sup>	9,0 <sup>a</sup>

A Tabela 2-36 apresenta os valores médios de altura do ipê-roxo ao longo de nove meses de monitoramento em casa de vegetação, sob diferentes níveis de calagem e tipos de insumos.

A análise estatística indicou efeito significativo do fator insumos sobre a altura a partir do quarto mês de monitoramento ( $p = 0,03$ ), sexto ( $p < 0,001$ ), oitavo ( $p < 0,001$ ) e nono mês ( $p < 0,001$ ). Para alguns períodos, foi observada interação significativa entre calagem e insumos, indicando variação da resposta em altura, no quinto mês ( $p = 0,0074$ ) e no sétimo mês ( $p = 0,0300$ ). De modo geral, os tratamentos com insumo orgânico tiveram as maiores alturas em todos os meses avaliados, seguidos pelos tratamentos com NPK, enquanto os tratamentos sem insumo os menores valores de crescimento ao longo de todo o período.

Tabela 2-36 Crescimento em altura do ipê-roxo (*Handroanthus impetiginosus*) ao longo de nove meses de monitoramento em casa de vegetação. Legenda: altura (Alt. cm) nos monitoramentos em 30, 60, 90, 120, 180, 210, 240 e 270 dias. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente entre si ( $p < 0,05$ ).

Calagem	Insumos	Alt. 30	Alt. 60	Alt. 90	Alt. 120	Alt. 150	Alt. 180	Alt. 210	Alt. 240	Alt. 270
V3	Sem insumo	1,8	2,1	2,8	3,0 <sup>b</sup>	3,2 <sup>b</sup>	3,3 <sup>b</sup>	4,0 <sup>b</sup>	3,9 <sup>e</sup>	4,0 <sup>b</sup>
V25	Sem insumo	2,5	2,8	3,3	3,6 <sup>b</sup>	3,9 <sup>b</sup>	3,8 <sup>b</sup>	4,3 <sup>b</sup>	5,1 <sup>de</sup>	5,6 <sup>b</sup>
V50	Sem insumo	1,6	2,8	3,1	3,4 <sup>b</sup>	3,7 <sup>b</sup>	4,2 <sup>b</sup>	4,7 <sup>b</sup>	5,5 <sup>de</sup>	5,9 <sup>b</sup>
V3	NPK	2,1	3,8	4,9	5,6 <sup>ab</sup>	5,3 <sup>b</sup>	5,8 <sup>b</sup>	6,4 <sup>b</sup>	7,2 <sup>de</sup>	10,8 <sup>b</sup>
V25	NPK	2,1	3,9	4,6	4,9 <sup>ab</sup>	5,0 <sup>b</sup>	5,5 <sup>b</sup>	6,4 <sup>b</sup>	7,4 <sup>cd</sup>	8,1 <sup>b</sup>
V50	NPK	2,6	3,9	4,4	5,1 <sup>ab</sup>	4,8 <sup>b</sup>	5,2 <sup>b</sup>	5,8 <sup>b</sup>	7,1 <sup>cde</sup>	8,6 <sup>b</sup>
V3	ORG	1,6	4,3	5,7	7,1 <sup>a</sup>	8,5 <sup>a</sup>	12,8 <sup>a</sup>	16,9 <sup>a</sup>	23,8 <sup>a</sup>	28,7 <sup>a</sup>
V25	ORG	2,2	3,8	4,5	5,6 <sup>a</sup>	5,1 <sup>b</sup>	7,8 <sup>a</sup>	9,0 <sup>b</sup>	12,6 <sup>bc</sup>	16,3 <sup>a</sup>
V50	ORG	3,0	3,3	4,1	5,3 <sup>a</sup>	6,7 <sup>ab</sup>	10,3 <sup>a</sup>	12,8 <sup>ab</sup>	21,0 <sup>ab</sup>	31,4 <sup>a</sup>

### 2.3.10.9 *Handroanthus chrysotrichus* (Ipê amarelo)

A tabelas 2-37 apresentam os valores médios de biomassa, atributos morfológicos e crescimento em altura da espécie *Handroanthus chrysotrichus* após nove meses de monitoramento em casa de vegetação. Em função do número reduzido de indivíduos estabelecidos em alguns tratamentos, os resultados são exibidos de forma descritiva, sem análise estatística. Os tratamentos com insumo orgânico, de modo geral, registrou os maiores valores de peso fresco e peso seco, bem como maiores valores de diâmetro do colo e número de folhas, em comparação aos tratamentos com NPK e sem insumo. Os tratamentos com NPK tiveram valores intermediários para as variáveis de biomassa e crescimento, enquanto os tratamentos sem insumo os menores valores médios para peso fresco, peso seco, diâmetro do colo e número de folhas ao final do período de monitoramento.

Tabela 2-37 Desempenho médio do ipê-amarelo (*Handroanthus chrysotrichus*) após nove meses de monitoramento em casa de vegetação. Legenda: peso fresco (PF), peso seco (PS), diâmetro do colo (DC) e número de folhas (Folhas).

Calagem	Insumos	PF (gr)	Ps (gr)	DC (mm)	Folhas
V3	Sem insumo	16	5,0	17	2,7
V25	Sem insumo	6,0	2,0	14	2,1
V50	Sem insumo	16	5,0	16	2,5
V3	NPK	21	11	19	3,4
V25	NPK	9,0	3,0	17	2,1
V50	NPK	6,0	2,0	15	2,1
V3	ORG	60	18	9,0	4,9
V25	ORG	123	42	13	5,9
V50	ORG	35	9,0	23	4,8

O crescimento em altura ao longo dos meses seguiu o mesmo padrão observado para a biomassa (Tabela 2-38). Os tratamentos com insumo orgânico tiveram os maiores valores de altura ao longo de todo o período de avaliação, enquanto os tratamentos com NPK valores intermediários e os tratamentos sem insumo os menores valores de crescimento em altura. Esse padrão foi consistente entre os diferentes níveis de calagem avaliados, com maior incremento em altura nos tratamentos com insumo orgânico ao final dos nove meses de monitoramento.

Tabela 2-38 Crescimento em altura do ipê-amarelo (*Handroanthus chrysotrichus*) ao longo de nove meses de monitoramento em casa de vegetação. Legenda: altura (Alt. cm) nos monitoramentos em 30, 60, 90, 120, 180, 210, 240 e 270 dias.

Calagem	Insumos	Alt. 30	Alt. 60	Alt. 90	Alt. 120	Alt. 150	Alt. 180	Alt. 210	Alt. 240	Alt. 270
V3	Sem insumo	3,0	4,7	5,7	5,8	5,7	6,4	7,8	9,7	12,4
V25	Sem insumo	2,4	3,1	3,4	3,5	4,5	3,7	4,0	5,0	6,9
V50	Sem insumo	2,9	3,8	4,0	4,1	4,5	5,2	6,4	13,4	9,8
V3	NPK	3,0	4,8	6,1	6,1	6,4	6,8	8,1	11,3	14,6
V25	NPK	3,7	4,7	4,7	5,5	4,8	5,4	6,0	6,9	8,8
V50	NPK	3,3	4,0	4,5	4,8	4,8	4,9	5,3	6,9	9,8
V3	ORG	2,4	5,1	7,5	8,0	8,1	9,6	12,9	16,7	33,7
V25	ORG	2,9	5,2	6,1	6,6	8,5	15,5	25,1	30,4	44,4
V50	ORG	3,1	5,6	6,1	6,5	6,5	7,3	8,5	15,7	32,5

#### 2.3.10.10 *Myrsine coriacea* (Capororoca)

A Tabela 2-39 apresenta os valores médios de biomassa e atributos morfológicos da capororoca após nove meses de monitoramento em casa de vegetação (considerando que a emergência deu início após o quarto mês). A análise estatística indicou efeito significativo do fator insumos sobre o peso fresco ( $p = 0,0087$ ), peso seco ( $p = 0,015$ ), número de folhas ( $p = 0,026$ ). Foi observado efeito da calagem ( $p = 0,027$ ) e dos insumos ( $p = 0,0069$ ) sobre o diâmetro do colo. De modo geral, os tratamentos com insumo orgânico registraram os maiores valores de peso fresco, peso seco, número de folhas e diâmetro do colo, enquanto os tratamentos sem insumo os menores valores e os tratamentos com NPK com valores intermediários.

Tabela 2-39 Desempenho médio da capororoca (*Myrsine coriacea*) após nove meses de monitoramento em casa de vegetação (quatro meses após a germinação). Legenda: peso fresco (PF), peso seco (PS), diâmetro do colo (DC)

e número de folhas (Folhas). Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente entre si ( $p < 0,05$ ).

Calagem	Insumos	PF (gr)	Ps (gr)	Folhas	DC (mm)
V3	Sem insumo	1.4 <sup>b</sup>	0.4 <sup>b</sup>	7 <sup>b</sup>	2.1 <sup>abc</sup>
V25	Sem insumo	0.8 <sup>b</sup>	0.2 <sup>b</sup>	6 <sup>b</sup>	1.0 <sup>c</sup>
V50	Sem insumo	1.2 <sup>b</sup>	0.3 <sup>b</sup>	6 <sup>b</sup>	1.3 <sup>abc</sup>
V3	NPK	3.8 <sup>b</sup>	1.0 <sup>b</sup>	8 <sup>b</sup>	1.4 <sup>abc</sup>
V25	NPK	2.5 <sup>b</sup>	0.6 <sup>b</sup>	8 <sup>b</sup>	1.3 <sup>bc</sup>
V50	NPK	2.6 <sup>b</sup>	0.7 <sup>b</sup>	8 <sup>b</sup>	2.6 <sup>ab</sup>
V3	ORG	11.2 <sup>a</sup>	2.4 <sup>a</sup>	13 <sup>a</sup>	4.0 <sup>a</sup>
V25	ORG	5.5 <sup>a</sup>	1.2 <sup>a</sup>	14 <sup>a</sup>	2.7 <sup>abc</sup>
V50	ORG	9.0 <sup>a</sup>	1.9 <sup>a</sup>	13 <sup>a</sup>	2.0 <sup>abc</sup>

A Tabela 2-40 apresenta o crescimento em altura da capororoca ao longo dos meses de monitoramento. A análise estatística indicou efeito significativo do fator insumos sobre a altura no oitavo mês ( $p < 0,05$ ) e no nono mês ( $p = 0,02$ ). O tratamento com insumo orgânico tiveram as maiores alturas nos meses finais de avaliação, seguidos pelos tratamentos com NPK, enquanto os tratamentos sem insumo os menores valores de altura.

Tabela 2-40 Crescimento em altura da capororoca (*Myrsine coriacea*) ao longo dos meses de monitoramento em casa de vegetação. Legenda: altura (Alt. cm) nos monitoramentos em 30, 60, 90, 120, 180, 210, 240 e 270 dias. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente entre si ( $p < 0,05$ ).

Calagem	Insumos	Alt. 30	Alt. 60	Alt. 90	Alt. 120	Alt. 150	Alt. 180	Alt. 210	Alt. 240	Alt. 270
V3	Sem insumo					3.0	2.5	3.0	6.1 <sup>b</sup>	7.1 <sup>b</sup>
V25	Sem insumo					2.3	2.4	2.8	3.1 <sup>b</sup>	3.1 <sup>b</sup>
V50	Sem insumo					2.1	2.6	3.1	3.2 <sup>b</sup>	3.6 <sup>b</sup>
V3	NPK					2.8	3.5	3.8	4.9 <sup>b</sup>	6.9 <sup>b</sup>
V25	NPK					4.4	3.2	3.3	4.4 <sup>b</sup>	5.0 <sup>b</sup>
V50	NPK					2.5	2.8	3.2	4.0 <sup>b</sup>	5.2 <sup>b</sup>
V3	ORG					2.3	3.2	4.3	9.5 <sup>a</sup>	15.9 <sup>a</sup>
V25	ORG					2.5	4.3	7.5	12.0 <sup>a</sup>	17.0 <sup>a</sup>
V50	ORG					2.8	4.1	5.4	9.8 <sup>a</sup>	13.5 <sup>a</sup>

As espécies diferiram quanto ao tempo de resposta e à intensidade de resposta as diferenças de fertilidade imposta pelos tratamentos. Espécies como arará responderam em aproximadamente 60 dias, maricá e pau-viola em torno de 90 dias, caquera e ipê-roxo em torno de 120 dias e capororoca apenas após 240 dias e jatobá, aroeira e guapuruvu sem diferenças estatísticas. Embora tenha sido observada uma tendência consistente de maior crescimento médio em condições de maior fertilidade e menor acidez, o curto período de avaliação para guapuruvu e aroeira limita inferências mais robustas sobre o desempenho. Já o Jatobá, pode estar relacionado a uma maior tolerância inicial a ambientes restritivos, padrão compatível com estratégias mais conservativas descritas na literatura (Sorreano, 2006).

Além da acidez e da toxicidade por Al, a disponibilidade de cátions básicos exerceu papel estruturante sobre o crescimento inicial, com destaque para Ca e Mg em determinados contextos, superando o efeito isolado de macronutrientes específicos (HOLSTE et al., 2011; ZEMUNIK et al., 2018). Em nível fisiológico, a omissão de N, Ca, B, Cu e Zn compromete o

crescimento estrutural de mudas, enquanto a produção de biomassa mostra-se particularmente sensível à deficiência de N, Cu, Fe e Zn, evidenciando que a variação nutricional foliar constitui um traço funcional determinante do desempenho inicial em contextos de restauração (Sorreano, 2006).

Esse padrão reforça a interpretação de que a fertilidade do solo atua como filtro na montagem funcional das espécies, promovendo maior convergência sob condições restritivas e favorecendo a expressão de estratégias aquisitivas em ambientes mais férteis (PINHO et al., 2017). A plasticidade funcional entre espécies modulou as respostas aos manejos do solo, algumas apresentaram baixo crescimento em solos com pouca fertilidade e alta responsividade à fertilização (estratégias aquisitivas), enquanto outras exibiram ganhos modestos mesmo sob alta fertilidade (estratégias mais conservativas) (Baraloto et al., 2006; Browne et al., 2022; Zhang et al., 2024). O contraste entre o jatobá (*Hymenaea courbaril*), com baixa dependência nutricional inicial, e o pau-viola (*Citharexylum myrianthum*), altamente sensível e responsivo à fertilização, especialmente a insumos orgânicos, ilustra de forma clara a atuação das estratégias conservativas e aquisitivas (Sorreano, 2006).

Adicionalmente, respostas lineares de crescimento ao incremento de NPK (5-20-10) foram reportadas para *Schinus terebinthifolia* e *Luehea divaricata*, evidenciando elevada dependência nutricional dessas espécies em solos degradados (Scheer, 2017). Aos dois anos de plantio, *Schinus terebinthifolius* apresentou o melhor desempenho silvicultural, atribuível à maior eficiência no uso de nutrientes e à capacidade de tolerar estresse hídrico em solos com baixa cobertura vegetal, o que a caracteriza como espécie altamente plástica e indicada para o recobrimento rápido de áreas degradadas (Scheer, 2017).

Por fim, os resultados confirmam que teores foliares elevados em ambientes restritivos não implicam maior aquisição real de nutrientes. Em diversos casos, as concentrações foram mais altas sob baixo crescimento, enquanto os conteúdos (teor  $\times$  biomassa) foram maximizados nos tratamentos com maior crescimento, sobretudo sob insumo orgânico. Esse padrão é coerente com o balanço entre crescimento e absorção (efeito de diluição) e reforça que a interpretação nutricional em sistemas restaurados exige a integração entre crescimento, teor e conteúdo (Lawrence, 2003; Wright et al., 2018; Yang et al., 2021; Mao et al., 2021; Barros et al., 2021; Tandalla et al., 2024).

#### 2.3.11 Eficiência do uso de nutrientes (EUN)

Os resultados de EUN evidenciaram diferenças entre as espécies consistentes para todos os nutrientes avaliados, tanto na média quanto na amplitude de resposta as diferenças de

fertilidade do solo, expressa pelos desvios-padrão. Enquanto a média indica a quantidade de biomassa produzida por unidade de nutriente acumulado, a variabilidade sugere maior plasticidade funcional frente às condições do solo (Figura 2-8).

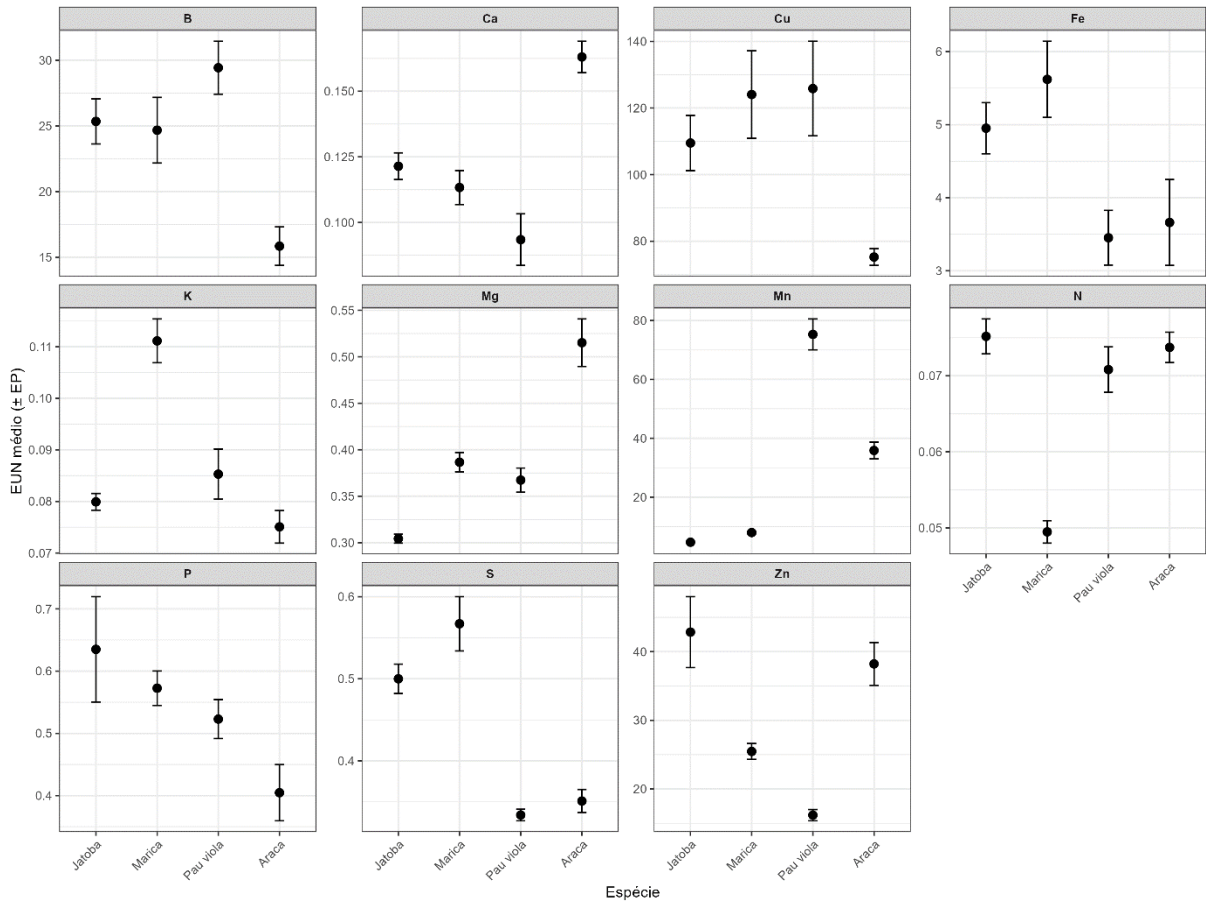


Figura 2-8 Eficiência de uso de nutrientes (EUN; média  $\pm$  desvio-padrão) expressa em g MS mg<sup>-1</sup> para macro e micronutrientes em quatro espécies arbóreas nativas estabelecidas por semeadura direta sob diferentes gradientes de fertilidade do solo. Barras de erro indicam o desvio-padrão entre tratamentos.

Para o nitrogênio, as médias foram semelhantes entre jatobá, pau-viola e araçá, enquanto o maricá registrou valor inferior e baixa dispersão, indicando baixa eficiência de uso desse nutriente. No fósforo, o jatobá revelou altas médias e ampla variação entre tratamentos, sugerindo forte responsividade; maricá e pau-viola situaram-se em valores intermediários e menor dispersão, enquanto araçá exibiu menor EUN-P e média variabilidade, caracterizando comportamento mais conservativo.

Quanto aos teores de potássio, maricá destacou-se pela maior EUN e variabilidade, ao passo que jatobá e pau-viola mostraram valores intermediários e com variação, e araçá manteve menores valores e baixa dispersão. Entre os cátions básicos, o araçá alcançou maior EUN-Ca, com relativa estabilidade, enquanto pau-viola exibiu maior plasticidade e menor EUN-Ca. Para magnésio, o araçá deteve maior média e maior variação, contrastando com o comportamento mais estável de maricá, jatobá e pau-viola.

Os micronutrientes revelaram padrões mais contrastantes. Para Mn, o pau-viola teve valores médios elevados e variação, indicando forte responsividade ao gradiente, enquanto jatobá e maricá mantiveram valores menores e estáveis. Para Fe, as maiores médias ocorreram em maricá e jatobá, com maior dispersão em maricá. Em Cu e B, maricá e pau-viola registraram médias superiores, mas com maior variabilidade em maricá. Para Zn, jatobá e araçá exibiram maiores médias, enquanto o pau-viola valores menores e baixa plasticidade aparente.

O pau-viola evidencia um contraste entre EUN Mn e EUN Zn que indica sensibilidade na regulação desses micronutrientes. A elevada EUN Mn sugere baixa concentração média de manganês no tecido, possivelmente refletindo maior sensibilidade ao seu acúmulo e ativação de mecanismos de controle, como restrição de absorção ou translocação, diante do potencial efeito tóxico desse elemento. Em contraste, a menor EUN Zn indica maior concentração de zinco por unidade de biomassa, sugerindo maior exigência metabólica e dependência funcional desse micronutriente. Assim, o padrão observado aponta para maior controle fisiológico frente ao Mn e maior investimento relativo em Zn, evidenciando diferenças na importância funcional desses elementos para o desempenho da espécie. Esse padrão contrasta com o observado para o jatobá, que apresenta valores inversos ao pau viola de EUN para Mn e Zn.

No araçá, os valores mais elevados de EUN para Ca e Mg sugere maior eficiência no uso de cátions básicos, permitindo à espécie manter produção de biomassa mesmo sob menor disponibilidade de Ca e Mg. Esse padrão é particularmente relevante em solos ácidos, nos quais a baixa saturação por bases e a maior presença de alumínio trocável frequentemente limitam a disponibilidade desses nutrientes. Assim, a elevada eficiência no uso de Ca e Mg pode representar uma estratégia adaptativa que favorece o desempenho do araçá em ambientes químicos mais restritivos.

Embora jatobá e maricá pertençam à família Fabaceae, as espécies demonstraram padrões distintos de eficiência no uso de nitrogênio. O jatobá exibiu valores mais elevados de EUN-N, indicando maior produção de biomassa por unidade de nitrogênio acumulado, enquanto o maricá apresentou menores valores, sugerindo maior acúmulo relativo desse nutriente no tecido. Esse padrão pode refletir diferenças nas estratégias de aquisição e utilização de nitrogênio dentro da própria família, uma vez que espécies do gênero *Mimosa* frequentemente caracteriza-se por elevada capacidade de fixação biológica e maiores concentrações foliares de N, associadas a estratégias mais aquisitivas.

Desvios-padrão elevados sugerem maior plasticidade da EUN e maior sensibilidade às variações edáficas, enquanto baixa variabilidade indica estratégias mais conservativas, com

eficiência relativamente estável. Esses padrões são consistentes com evidências de que síndromes multitraço relacionadas à aquisição de recursos, economia foliar e alocação explicam melhor as respostas à fertilidade do que traços isolados, sendo a vantagem funcional dependente do contexto ambiental (Baraloto et al., 2006; Báez et al., 2018; Vleminckx et al., 2021; Browne et al., 2022; Zhang et al., 2024; Tandalla et al., 2024; Boisseaux et al., 2024).

A EUN emerge, assim, como uma dimensão funcional informativa, especialmente quando interpretada em conjunto com crescimento (biomassa, altura e diâmetro do coleto) e métricas nutricionais (teor e conteúdo), permitindo distinguir eficiência de investimento nutricional (Jager et al., 2015; Guilbeault-Mayers et al., 2024). Neste processo, ambientes menos férteis tendem a favorecer estratégias conservativas, associadas a maior EUN e menor crescimento absoluto, enquanto o aumento da fertilidade promove maior crescimento e redução da EUN média, refletindo estratégias mais aquisitivas (Zemunik et al., 2018).

A literatura indica que a limitação de N, Ca, B, Cu e Zn constitui eixo crítico do crescimento inicial de espécies nativas, podendo orientar diretrizes de fertilização em plantios de restauração (Sorreano, 2006). Nesse contexto, a EUN, integrada às métricas de crescimento e concentração tecidual, permite distinguir estratégias funcionais ao longo de diferenças de fertilidade, diferenciando espécies mais responsivas, dependentes de alta fertilidade, e espécies mais conservativas.

Esses padrões evidenciam que as diferenças de fertilidade estruturou a organização funcional, sugerindo que a coexistência entre espécies pode ser favorecida pela complementariedade no uso de recursos. No entanto, a complementariedade funcional não se traduz necessariamente em ganhos imediatos de biomassa, sendo frequentemente superada pelo efeito de espécies dominantes e pela competição entre espécies (Finegan et al., 2015; Rayome et al., 2018; Fagundes et al., 2023). Ainda assim, a combinação de espécies com estratégias diferentes amplia o espectro de respostas ao ambiente e reduz o risco de falha diante da heterogeneidade do local, tornando-se mais relevante ao longo da sucessão e contribuindo para trajetórias próximas às florestas de referência (Ali et al., 2019; Manhães et al., 2024; Souza et al., 2024; Manhães et al., 2022).

## 2.4 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Os resultados reforçam a importância do manejo do solo associado à seleção funcional de espécies para o sucesso da restauração por semeadura direta. Considerando as diferenças de doses de insumos, o insumo orgânico promoveu a intervenção mais consistente, elevando pH, reduzindo  $Al^{3+}$ , aumentando bases trocáveis, disponibilidade de P e matéria orgânica, com efeitos estruturais mais duradouros sobre o solo (Ngo et al., 2014; Chen et al., 2018; Martín-Lammerding et al., 2021). Em contraste, a fertilização mineral teve efeito mais pontual, atuando como ajuste direcionado, especialmente para K, S, P residual e B, sem reestruturar o ambiente edáfico.

A calagem, embora tenha atenuado o  $Al^{3+}$ , correção da acidez e melhorado parcialmente a fertilidade, ela não converteu, de forma isolada, ambientes restritivos em ambientes funcionalmente favoráveis ao crescimento inicial. Em projetos de campo, a calagem deve ser tratada como pré-condição, mas isoladamente insuficiente para sustentar crescimento expressivo. Assim, em áreas severamente degradadas, a combinação entre calagem e insumo orgânico constitui a base do manejo, com NPK atuando como ajuste fino direcionado.

O manejo do solo define quais espécies conseguem se estabelecer inicialmente: em condições mais restritivas, espécies tolerantes garantem o estabelecimento, enquanto o aumento da fertilidade favorece espécies mais responsivas, com maior crescimento. Assim, a escolha de espécies deve considerar a adequação ao estado do solo. Ao mesmo tempo, a combinação de espécies com estratégias diferentes aumenta a capacidade do sistema de responder à variabilidade do local. Embora a complementariedade não resulte necessariamente em maior biomassa no curto prazo, ela contribui para maior estabilidade e melhor desempenho da restauração ao longo do tempo.

Os resultados da casa de vegetação devem ser interpretados como expressão do potencial sob controle parcial dos filtros ambientais. No campo, esse potencial é modulado por fatores adicionais, déficit hídrico, compactação, competição com gramíneas e herbivoria, o que pode reduzir o desempenho absoluto, mas não invalida as hierarquias funcionais observadas.

A semeadura direta bem-sucedida depende menos da seleção de espécies com maior crescimento em condições ideais e mais de como o manejo do solo modifica a fertilidade e de como a composição funcional das misturas explora essa diferença do solo de forma estratégica. Recomendações operacionais, portanto, devem ser tomadas por contexto local e grupo funcional, evitando generalizações.

## 2.5 CONCLUSÕES

- O manejo da fertilidade reconfigura as condições químicas do solo degradado, sendo o insumo orgânico o principal responsável pelo aumento do crescimento e da biomassa. A calagem mostrou-se condição necessária, porém não suficiente, enquanto a fertilização mineral (NPK) apresentou efeito complementar.
- As diferenças de fertilidade do solo influenciam mais o crescimento do que o estabelecimento inicial das espécies.
- Em sistemas de restauração por semeadura direta em solos degradados, o manejo deve priorizar a combinação de calagem e insumo orgânico como base da reabilitação do solo, com uso complementar de NPK e adoção de misturas de espécies, visando explorar a plasticidade funcional e reduzir riscos associados a solos degradados.
- As espécies apresentaram respostas contrastantes ao gradiente de fertilidade, variando entre estratégias mais plásticas e responsivas e estratégias mais conservativas, indicando que o efeito do manejo depende da síndrome funcional.

## 2.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abedi, M.; Bartelheimer, M.; Poschod, P. Aluminium toxic effects on seedling root survival affect plant composition along soil reaction gradients: a case study in dry sandy grasslands. *Journal of Vegetation Science*, v. 24, p. 1074–1085, 2013.
- Baraloto, C.; Bonal, D.; Goldberg, D. E. Differential seedling growth response to soil resource availability among nine neotropical tree species. *Journal of Tropical Ecology*, v. 22, p. 487–497, 2006.
- Barros, I. et al. Integrating forest residue and mineral fertilization: effects on nutrient acquisition, nutrient use efficiency and growth of eucalypt plants. *Forest Ecology and Management*, v. 496, 119461, 2021.
- Báez, S.; Homeier, J. Functional traits determine tree growth and ecosystem productivity of a tropical montane forest: results from a long-term nutrient manipulation experiment. *Global Change Biology*, v. 24, p. 5682–5696, 2018.
- Boisseaux, M. et al. Shifting trait coordination along a soil–moisture–nutrient gradient in tropical forests. *Functional Ecology*, 2024.
- Breugel, M. van et al. Early growth and survival of 49 tropical tree species across sites differing in soil fertility and rainfall in Panama. *Forest Ecology and Management*, v. 261, p. 1580–1589, 2011.
- Browne, L. et al. Widespread variation in functional trait–vital rate relationships in tropical tree seedlings across a precipitation and soil phosphorus gradient. *Functional Ecology*, 2022.
- Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para análise de sementes. Brasília: MAPA, 2009.
- Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instruções para análise de sementes de espécies florestais. Brasília: MAPA, 2013.
- Borrelli, P.; et al. An assessment of the global impact of 21st century land use change on soil erosion. *Nature Communications*, London, v. 8, p. 2013, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-017-02142-7>
- Chapin, F. S. The mineral nutrition of wild plants. *Annual Review of Ecology and Systematics*, Palo Alto, v. 11, p. 233-260, 1980.

- Chen, Y. et al. Long-term organic amendments and chemical fertilizers improve soil fertility and crop yield: a meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 264, p. 38–50, 2018.
- Embrapa. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018.
- Estrada-Villegas, S. et al. Successional trajectories of tropical forests are strongly influenced by soil nutrients and climate. *Ecological Applications*, v. 29, e01843, 2019.
- Feltran-Barbieri, R.; Féres, J. G. Degraded pastures in Brazil: improving livestock production and forest restoration. *Royal Society Open Science*, London, v. 8, n. 201854, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1098/rsos.201854>
- Gomes, S. H. S. et al. Tolerance of Eucalyptus and Pinus seedlings to exchangeable aluminium. *Scientia Agricola*, v. 76, n. 6, p. 447–456, 2019.
- Guerra, A.; REIS, L. K.; BORGES, F. L. G. et al. Ecological restoration in Brazilian biomes: Identifying advances and gaps. *Forest Ecology and Management*, Amsterdam, v. 458, p. 117802, fev. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117802>
- Guilbeault-Mayers, X.; Lambers, H.; Laliberté, E. Coordination among leaf and fine-root traits along a strong natural soil fertility gradient. *Plant and Soil*, 2024.
- Holste, E. K.; Kobe, R. K.; Venterink, H. O. Soil nutrients predict species performance and distribution of tropical tree seedlings across a fertility gradient. *Journal of Ecology*, v. 99, p. 224–234, 2011.
- Ibge. *Manual técnico da vegetação brasileira*. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.
- Jager, M. M. et al. Soil fertility induces coordinated responses of multiple independent functional traits. *Journal of Ecology*, v. 103, p. 374–385, 2015.
- Jouquet, P. et al. Do compost and vermicompost improve macronutrient retention and plant growth in degraded tropical soils? *Compost Science & Utilization*, v. 19, n. 1, p. 15–24, 2011.
- Laurans, M. et al. Functional traits and their plasticity predict tropical trees regeneration niche even among species with intermediate light requirements. *Journal of Ecology*, v. 100, p. 1440–1452, 2012.
- Lal, R. Managing soils and ecosystems for mitigating anthropogenic carbon emissions and advancing global food security. *BioScience*, v. 60, n. 9, p. 708–721, 2010

- Lawrence, D. The response of tropical tree seedlings to nutrient supply: meta-analysis for understanding a changing tropical landscape. *Journal of Tropical Ecology*, v. 19, p. 239–250, 2003.
- Luo, G. et al. Organic amendments increase crop yields by improving microbe-mediated soil functioning of agroecosystems: a meta-analysis. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 124, p. 105–115, 2018.
- Malavolta, E.; Vitti, G. C.; Oliveira, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997.
- Mao, L. et al. Mixture compound fertilizer and super absorbent polymer application significantly promoted growth and increased nutrient levels in *Pinus massoniana* seedlings. *Frontiers in Plant Science*, v. 12, 2021.
- Martín-Lammerding, D. et al. Long-term effects of organic amendments and mineral fertilization on soil fertility and crop yield: a 10-year field experiment. *Agronomy*, v. 11, 2021.
- Meli, P. et al. Optimizing seeding density of fast-growing native trees for restoring the Brazilian Atlantic Forest. *Restoration Ecology*, v. 26, 2018.
- Mori, E. S.; Piña-Rodrigues, F. C. M.; Freitas, N. P. Sementes florestais: guia para germinação de 100 espécies nativas. São Paulo: Instituto Refloresta, 2012.
- Morgan, R. P. C.; Nearing, M. A. Handbook of erosion modelling. Chichester: John Wiley & Sons, 2010.
- Ngo, P.-T. et al. Use of organic substrates for increasing soil organic matter quality and carbon sequestration of tropical degraded soil: a 3-year mesocosms experiment. *Geoderma*, v. 232–234, p. 371–382, 2014.
- Ofoe, R. et al. Aluminum in plants: benefits, toxicity and tolerance mechanisms. *Frontiers in Plant Science*, v. 13, 2023.
- Pellizzaro, K. F. et al. Cerrado restoration by direct seeding: field establishment and initial growth of 75 trees, shrubs and grass species. *Brazilian Journal of Botany*, v. 40, p. 681–693, 2017.
- Pidjath, C. et al. Morpho-physiological changes of four tropical tree seedlings under aluminum stress. *Biodiversitas*, v. 22, p. 1321–1331, 2021.

- Piotrowski, I. et al. Seeds' early traits as predictors of performance in direct seeding restoration. *Forests*, v. 14, n. 3, 547, 2023.
- Poesen, J. et al. Gully erosion and environmental change: importance and research needs. *Catena*, v. 50, p. 91–133, 2003.
- 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.
- Raij, B. van et al. *Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais*. Campinas: Instituto Agrônômico, 2001.
- R Core Team. *R: a language and environment for statistical computing*. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2024.
- Scheer, M. B. et al. Crescimento inicial de quatro espécies florestais nativas em área degradada com diferentes níveis de calagem e adubação. *Floresta*, 2017.
- Silva, C. M. R. Efeitos das condições iniciais do solo na estrutura da floresta e no estoque de carbono numa área em restauração. 2025. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2025.
- Silva, R. R. P. et al. Direct seeding of Brazilian savanna trees: effects of plant cover and fertilization on seedling establishment and growth. *Restoration Ecology*, v. 23, p. 393–401, 2015.
- Sorreano, M. C. M. Avaliação da exigência nutricional na fase inicial do crescimento de espécies florestais nativas. 2006. Tese (Doutorado) – ESALQ/USP, Piracicaba, 2006.
- Tandalla, D.; Homeier, J.; Batáry, P. Responses of tropical tree seedlings to nutrient addition: a meta-analysis. *Current Forestry Reports*, v. 11, 2024.
- Viani, R. A. G. et al. Savanna soil fertility limits growth but not survival of tropical forest tree seedlings. *Plant and Soil*, v. 349, p. 341–353, 2011.
- Vleminckx, J. et al. Resolving whole-plant economics from leaf, stem and root traits of 1467 Amazonian tree species. *Oikos*, 2021.
- Wright, S. J. et al. Plant responses to fertilization experiments in lowland, species-rich tropical forests. *Ecology*, v. 99, n. 5, p. 1129–1138, 2018.
- Yang, M. et al. Effect of low pH and aluminum toxicity on the photosynthetic characteristics of different fast-growing Eucalyptus clones. *PLoS ONE*, v. 10, e0130963, 2015.

Yang, Z. et al. Fertilization regulates accumulation and allocation of biomass and nutrients in *Phoebe bournei* seedlings. *Agriculture*, v. 11, 2021.

Zemunik, G.; Davies, S. J.; Turner, B. L. Soil drivers of local-scale tree growth in a lowland tropical forest. *Ecology*, v. 99, n. 12, p. 2844–2852, 2018.

Zhang, C.; GU, R.; LIN, L.; RUSSO, S. E. Functional traits and ecological niches as correlates of the interspecific growth–mortality trade-off among seedlings of 14 tropical tree species. *Functional Ecology*, 2024.

## 2.7 APÊNDICE

Desempenho média das espécies ao longo dos meses por meio do monitoramento da altura (cm) e diâmetro do colo no 12º mês.

Espécie	Família	1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º	8º	9º	9º (DC)
<i>Annona cacans</i>	Annonaceae	0	0	0	0	5	6	6	7	9	1.4
<i>Citharexylum myrianthum</i>	Verbenaceae	3	5	7	9	10	14	0	0	0	2.6
<i>Handroanthus chrysotrichus</i>	Bignoniaceae	3	4	5	5	6	7	9	13	18	2.7
<i>Handroanthus impetiginosus</i>	Bignoniaceae	2	3	4	5	5	6	7	9	12	6.5
<i>Hymenaea courbaril</i>	Fabaceae	17	29	34	36	37	41	45	52	0	7.9
<i>Mimosa bimucronata</i>	Fabaceae	8	22	37	53	0	0	0	0	0	3.9
<i>Myrsine coriacea</i>	Primulaceae	0	0	0	0	3	3	4	5	7	1.9
<i>Psidium cattleyanum</i>	Myrtaceae	0	2	2	3	4	5	6	8	10	1.6
<i>Schinus terebinthifolia</i>	Anacardiaceae	3	5	8	13	17	26	35	0	0	4.7
<i>Schizolobium parahyba</i>	Fabaceae	22	45	62	0	0	0	0	0	0	16.4
<i>Senna multijuga</i>	Fabaceae	4	12	22	30	34	0	0	0	0	4.8