

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE FLORESTAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS  
AMBIENTAIS E FLORESTAIS**

**DISSERTAÇÃO**

**RAÍZES FINAS DE ESPÉCIES ARBÓREAS UTILIZADAS NA  
RESTAURAÇÃO FLORESTAL**

**Catharine Dias de Almeida**

**SEROPÉDICA – RJ  
2024**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE FLORESTAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS  
AMBIENTAIS E FLORESTAIS**

**RAÍZES FINAS DE ESPÉCIES ARBÓREAS UTILIZADAS NA  
RESTAURAÇÃO FLORESTAL**

**Catharine Dias de Almeida**

*Sob orientação do Professor:*  
**Eduardo Vinícius da Silva**

E coorientação do professor  
**Jeronimo Boelsums Barreto Sanserevo**

Dissertação submetida como requisito parcial  
para obtenção do grau de Mestre em Ciências,  
no Programa de Pós-graduação em Ciências  
Ambientais e Florestais, Área de Concentração  
em Silvicultura e Manejo Florestal

**SEROPÉDICA, RJ  
Abril de 2024**

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

A447r      Almeida, Catharine Dias de , 1993-  
                 Raízes finas de espécies arbóreas utilizadas na  
                 restauração florestal / Catharine Dias de Almeida. -  
                 Rio de Janeiro, 2024.  
                 44 f.: il.

                 Orientador: Eduardo Vinicius da Silva.  
                 Coorientador: Jeronimo Boelsums Barreto Sanserevo.  
                 Dissertação(Mestrado). -- Universidade Federal  
                 Rural do Rio de Janeiro, Ciências ambientais e  
                 florestais , 2024.

                 1. Raízes finas . 2. Espécies nativas . I. Silva,  
                 Eduardo Vinicius da, 1981-, orient. II. Sanserevo,  
                 Jeronimo Boelsums Barreto, -, coorient. III  
                 Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.  
                 Ciências ambientais e florestais . IV. Título.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE FLORESTAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E  
FLORESTAIS**

**CATHARINE DIAS DE ALMEIDA**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção de grau **Mestre em Ciências**, no Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais e Florestais, Área de Concentração em Silvicultura e Manejo Florestal.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 08/05/2024

---

Eduardo Vinícius da Silva. Dr. UFRRJ  
(Orientador)

---

José Carlos Arthur Junior. Dr. UFRRJ

---

Alexander Silva de Resende. Dr. EMBRAPA



**TERMO N° 50/2025 - PPGCAF (12.28.01.00.00.00.00.27)**

*(Nº do Protocolo: NÃO PROTOCOLADO)*

*(Assinado digitalmente em 10/02/2025 09:36)*

EDUARDO VINICIUS DA SILVA  
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR  
DeptSil (12.28.01.00.00.00.31)  
Matricula: ###176#4

*(Assinado digitalmente em 06/02/2025 08:07)*

JOSE CARLOS ARTHUR JUNIOR  
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR  
DeptSil (12.28.01.00.00.00.31)  
Matricula: ###700#6

*(Assinado digitalmente em 06/02/2025 07:18)*

ALEXANDER SILVA DE RESENDE  
ASSINANTE EXTERNO  
CPF: ####.###.497-##

Visualize o documento original em <https://sipac.ufrrj.br/documentos/> informando seu número: 50, ano: 2025, tipo: TERMO, data de emissão: 05/02/2025 e o código de verificação: 646508a131

## AGRADECIMENTOS

Agradecer a Deus, por sempre me ajudar a superar todos os momentos difíceis da minha vida, sentia em todos os momentos sua presença me orientando e me dando forças, não estaria aqui se não fosse por ele.

Agradeço aos meus pais, por toda oportunidade que me deram, por terem lutado pelo meu futuro e me incentivado a seguir o caminho que eu escolhi e a fazer as coisas que eu queria. Sem o sacrifício de cada um deles eu não chegaria aonde cheguei.

Agradeço também a minha irmã por me mostrar que a mulher é capaz de chegar aonde ela quiser, embora a caminhada seja desigual, obrigada por mostrar que também posso ir além.

Agradeço muito ao meu noivo Rafael, por sempre estar ao meu lado, por me apoiar em cada decisão, por nunca ter me deixado desistir, por ter confiado em mim e ter me ensinado a confiar em mim mesma. Obrigada por sempre ter me apoiado em tudo, sem você a caminhado teria muito mais obstáculos.

Agradeço a minha banca por aceitar participar.

Agradeço ao meu orientador prof. Eduardo Vinicius da Silva por ter aceitado essa jornada e ter perdurado à todas as dificuldades que apareciam.

Aos professores José Carlos Arthur Júnior e Paulo Sérgio dos Santos Leles pelo acompanhamento ao longo no mestrado.

Ao prof. Everaldo Zonta, por ceder o laboratório, e por ter me ajudado muito em cada dificuldade que aparecia no laboratório, desde o aparelho até os resultados. Sou muito grata por ter me disponibilizado seu tempo.

À CAPES, FAPERJ e ao CNPq pelo financiamento científico que possibilitou a realização deste trabalho.

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

## RESUMO

ALMEIDA, Catharine Dias de. **Raízes finas de espécies arbóreas utilizadas na restauração florestal.** 2024. 46p Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais). Instituto de Floresta, Departamento de Silvicultura, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2024.

Este trabalho tem como objetivo avaliar o crescimento de raízes finas de cinco espécies florestais frequentemente utilizadas em planos de restauração florestal. Um inventário da área foi realizado para verificar crescimento em altura, diâmetro e área basal das árvores. As amostras de raízes finas foram coletadas com a ajuda de uma sonda de aço inox. Elas foram separadas do solo com auxílio de uma peneira e água corrente, e armazenadas em potes transparentes com álcool 70° para preservação. Uma vez separadas, as amostras de raízes finas foram levadas para um scanner onde foram digitalizadas e com a ajuda do programa WinRhizo, calculou-se os valores de comprimento (cm), área ( $\text{cm}^2$ ) e volume das raízes finas ( $\text{cm}^3$ ). Depois desse processo concluído, as amostras de raízes foram secas em estufa para a obtenção da matéria seca (g). Finalmente, baseando-se no volume da amostra coletada através da sonda, calculou-se a densidade de raízes finas considerando a matéria seca (DRF -  $\text{g dm}^{-3}$ ) e o comprimento (DRF -  $\text{cm cm}^{-3}$ ). Em geral, a *Guarea guidonia* e a *Inga edulis* foram as espécies com maior DRF e a *Pseudobombax grandiflorum* foi aquela com menor DRF. As regressões lineares relacionando matéria seca (g) / comprimento (cm), evidenciaram que a *Alchornea triplinervia* e o *Calophyllum brasiliense* apresentaram o maior comprimento radicular em relação a uma menor matéria seca, sendo as de maior potencial de exploração do solo. Já a análise das regressões lineares entre massa seca (g) / área radicular ( $\text{cm}^2$ ) mostraram que a *Alchornea triplinervia* e a *Calophyllum brasiliense* foram as espécies com maior área radicular com menor matéria seca. Desta forma, além de explorarem satisfatoriamente o solo através do sistema radicular, possuem potencialmente alta capacidade em absorver água e nutrientes. Em relação as regressões entre matéria seca (g) / volume de raízes finas ( $\text{cm}^3$ ), a *Inga edulis* apresentaram raízes finas mais densas em comparação com as outras espécies, sendo assim potencialmente menos eficientes em relação à absorção de água e nutrientes, com o inverso acontecendo nas raízes finas da *Guarea guidonia* que apresentou menor densidade, caracterizando-se em uma espécie de potencial eficiência na absorção de água e nutrientes.

**Palavras-chave:** Espécies nativas; Mata Atlântica; Recuperação; Crescimento radicular; Arquitetura radicular.

## ABSTRACT

ALMEIDA, Catharine Dias de. **Fine roots of tree species used in forest restoration.** 2024. 46p Dissertation (Master's in Environmental and Forestry Sciences). Forest Institute, Department of Silviculture, Federal Rural University of Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2024.

This study aims to evaluate the growth of fine roots of five forest species commonly used in forest restoration plans. An inventory of the area was conducted to verify the growth in height, diameter, and basal area of the trees. Fine root samples were collected using a stainless-steel probe, separated from the soil using a sieve and running water, and stored in transparent containers with 70% alcohol for preservation. Once separated, the fine root samples were taken to a scanner where they were digitized, and using the WinRhizo program, values for length (cm), area ( $\text{cm}^2$ ), and volume of fine roots ( $\text{cm}^3$ ) were calculated. After this process, the root samples were dried in an oven to obtain dry matter (g). Finally, based on the volume of the sample collected through the probe, fine root densities were calculated considering dry matter (FRD -  $\text{g dm}^{-3}$ ) and length (FRD -  $\text{cm cm}^{-3}$ ). Overall, *Guarea guidonia* and *Inga edulis* were the species with the highest FRD, while *Pseudobombax grandiflorum* had the lowest FRD. Linear regressions relating dry matter (g) / length (cm) showed that *Alchornea triplinervia* and *Calophyllum brasiliense* had the longest roots relative to lower dry matter, indicating greater potential for soil exploration. Analysis of linear regressions between dry mass (g) / root area ( $\text{cm}^2$ ) showed that *Alchornea triplinervia* and *Calophyllum brasiliense* had the largest root area with lower dry matter, suggesting high potential for water and nutrient absorption. Regarding the regressions between dry matter (g) / volume of fine roots ( $\text{cm}^3$ ), *Inga edulis* showed denser fine roots compared to the other species, thus potentially being less efficient in water and nutrient absorption, with the opposite occurring in the fine roots of *Guarea guidonia*, which showed lower density, characterizing it as a species with potential efficiency in water and nutrient absorption.

**Keywords:** Native species; Atlantic Forest; Recovery; Root growth; Root architecture.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Localização da área de estudo.....	8
<b>Figura 2:</b> Imagem do Google Earth sobre o local do estudo no Parque Mico Leão Dourado no ano de 2023. A área experimental está delimitada em vermelho. ....	9
<b>Figura 3:</b> Imagem do Google Earth sobre o local do estudo no Parque Mico Leão Dourado no ano de 2016. A área experimental está delimitada em vermelho. ....	9
<b>Figura 4:</b> (A) Média de precipitação (mm) e temperatura (°C) do período de 2016 (implantação da área) à 2022 (coleta dos dados) e (B) Precipitação (mm) e temperatura média (°C) anual entre 2016 e 2022. Dados extraídos do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). ....	10
<b>Figura 5:</b> Plantio de 6 anos na Fazenda Igarapé, Silva Jardim, RJ.....	11
<b>Figura 6:</b> Sonda utilizada para a coleta de raízes finas.....	13
<b>Figura 7:</b> Esquema de coleta de raízes finas, onde os pontos verdes indicam o ponto de coleta. ....	13
<b>Figura 8:</b> Aparelho de escâner EPSON EXPRESSION 10000 XL.....	14
<b>Figura 9:</b> Digitalização das raízes e análise no equipamento. ....	15
<b>Figura 10:</b> Densidade de raízes finas ( $\text{g dm}^{-3}$ ) das espécies analisadas, sendo A: <i>Alchornea triplinervia</i> ; B: <i>Calophyllum brasiliense</i> ; C: <i>Pseudobombax grandiflorum</i> ; D: <i>Guarea guidonia</i> e E: <i>Inga edulis</i> .....	19
<b>Figura 11:</b> Densidade de raízes finas ( $\text{cm cm}^{-3}$ ) das espécies analisadas, sendo A: <i>Alchornea triplinervia</i> ; B: <i>Calophyllum brasiliense</i> ; C: <i>Pseudobombax grandiflorum</i> ; D: <i>Guarea guidonia</i> e E: <i>Inga edulis</i> .....	21
<b>Figura 12:</b> Relação entre matéria seca (g) e comprimento de raízes finas (cm) das espécies analisadas, sendo A: <i>Alchornea triplinervia</i> ; B: <i>Calophyllum brasiliense</i> ; C: <i>Pseudobombax grandiflorum</i> ; D: <i>Guarea guidonia</i> e E: <i>Inga edulis</i> . ....	24
<b>Figura 13:</b> Relação entre matéria seca (g) e área de raízes finas ( $\text{cm}^2$ ) das espécies analisadas, sendo A: <i>Alchornea triplinervia</i> ; B: <i>Calophyllum brasiliense</i> ; C: <i>Pseudobombax grandiflorum</i> ; D: <i>Guarea guidonia</i> e E: <i>Inga edulis</i> .....	26
<b>Figura 14:</b> Relação entre matéria seca (g) e volume de raízes finas ( $\text{cm}^3$ ) das espécies analisadas, sendo A: <i>Alchornea triplinervia</i> ; B: <i>Calophyllum brasiliense</i> ; C: <i>Pseudobombax grandiflorum</i> ; D: <i>Guarea guidonia</i> e E: <i>Inga edulis</i> . ....	28

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Caracterização química do solo da área experimental.....	12
<b>Tabela 2:</b> Altura, diâmetro (DAP) e área basal média das espécies analisadas.....	16
<b>Tabela 3:</b> Teste de média para as variáveis entre as espécies na camada de 0-10, 10-20 e 20-30 cm ( <i>At</i> - <i>Alchornea triplinervia</i> / <i>Cb</i> - <i>Calophyllum brasiliense</i> / <i>Gg</i> - <i>Guarea guidonia</i> / <i>Ie</i> - <i>Inga edulis</i> / <i>Pg</i> - <i>Pseudobombax grandiflorum</i> ). .....	17

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	1
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	2
2.1 Bioma Mata Atlântica e sua restauração.....	2
2.2 O solo no processo de restauração florestal.....	3
2.3 A importância do crescimento radicular.....	4
2.4 Espécies utilizadas na restauração florestal.....	5
2.4.1 <i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess. (Calophyllaceae).....	5
2.4.2 <i>Alchornea triplinervia</i> (Spreng.) Müll.Arg. (Euphorbiaceae).....	5
2.4.3 <i>Pseudobombax grandiflorum</i> (Cav.) Robyns (Malvaceae).....	6
2.4.4 <i>Guarea guidonia</i> (L.) Sleumer. (Meliaceae).....	7
2.4.5 <i>Inga edulis</i> (Mart.) (Fabaceae).....	7
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	8
3.1 Caracterização da área experimental.....	8
3.2 Inventário .....	11
3.3 Caracterização textural e química do solo.....	12
3.4 Coleta e análise de raízes finas.....	12
3.5 Análise dos dados.....	15
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	15
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	29
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	30

## 1 INTRODUÇÃO

A restauração florestal é a principal técnica de recuperação para sítios que sofreram demasiadamente com a degradação, sendo a primeira etapa para a reconstrução da comunidade no ecossistema e sendo um dos principais instrumentos para a recuperação de uma área degradada, restabelecendo o sistema ecológico, recompondo a estrutura vegetal e ajudando na retomada da fauna local, buscando reconstruir o equilíbrio no meio ambiente (ENGEL; PARROTA, 2003).

Uma área degradada que sofreu alterações durante muitos anos pela ação antrópica, acaba perdendo algumas funções no ecossistema, quando uma área é degradada, além da fauna e da flora, o solo também é afetado (GONÇALVES et al., 2006). É no solo que a planta encontra sua fonte de nutrientes e água, onde todo o processo de absorção é realizado através do seu sistema radicular (SALTON; TOMAZI, 2014).

O sistema radicular, além de exercer a função de sustentação, através das raízes grossas, e de absorção de água e nutrientes através das raízes finas, contribui para melhorar alguns atributos do solo e no acúmulo de matéria orgânica, melhorando a qualidade do mesmo, favorecendo a infiltração de água e contribuindo para a manutenção da meso e microfauna (SALTON; TOMAZI, 2014).

As raízes de sustentação são aquelas consideradas maiores de 5 mm, e as raízes finas, menores de 2 mm, sendo estas o objeto deste estudo. Segundo Laclau et al. (2004), o volume de raízes finas apresenta-se em abundância, sendo uma estratégia para que as árvores consigam alcançar nutrientes e água, principalmente em solos que sofrem com limitações hídricas ou que são inférteis.

As raízes finas são o principal meio para acessar água e nutrientes no solo, servindo também como matéria orgânica para o solo, sendo então a compreensão em relação à distribuição e à quantidade, fundamental para entendimento de seu funcionamento (GONÇALVES; MELLO, 2002). De acordo com Gonçalves & Mello (2002), as raízes finas podem contribuir com mais de 50% da produção anual de biomassa total das florestas por possuírem um ciclo de vida curta, cerca de um ano, devido a sua rápida decomposição e regeneração.

Witschoreck et al. (2003) observaram que há uma diferença na produção de biomassa das raízes finas em função da espécie, idade e condições edafoclimáticas. Os autores verificaram conjuntamente que a densidade das raízes finas diminui com o aumento da profundidade do solo, podendo concluir que nas primeiras camadas de solo se localizam a maior concentração de raízes finas, o que se deve ao fato de ser onde se detém a maior quantidade de nutrientes, graças ao acúmulo de matéria orgânica.

O fator limitante para um maior entendimento da estrutura e do comportamento das florestas tropicais está sobre a falta de informações sobre o sistema radicular, o que pode ser devido a dificuldade na produção de trabalhos. São escassos os estudos referentes as raízes de espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica. A maior parte dos trabalhos concentram-se ainda em processos que acontecem acima da superfície do solo (SOARES et al., 2008). Portanto, um melhor entendimento do crescimento das raízes finas em ambientes naturais se torna necessário para que se possa compreender quais espécies conseguem melhor se estabelecer e interagir propiciando uma restauração florestal eficiente.

Sendo assim este trabalho tem como objetivo avaliar o crescimento de raízes finas de cinco espécies florestais frequentemente utilizadas em planos de restauração florestal, identificando, portanto, a espécie que demonstrou melhor adaptação.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Bioma Mata Atlântica e sua restauração

A Mata Atlântica é o bioma mais devastado do Brasil e uma das florestas tropicais mais ameaçadas do mundo. Suas florestas, que se estendiam de forma contínua por toda a costa brasileira, são exploradas desde a época da descoberta. De acordo com o IBGE (2020), o bioma perdeu cerca de 90% da sua cobertura original, além disso estudos mostraram que é o bioma com mais espécies ameaçadas no Brasil. Segundo Cardoso (2016) a Mata Atlântica abriga uma das maiores biodiversidades do mundo, mas espécies tanto da fauna, como da flora, continuam a serem ameaçadas de extinção.

A fauna, é a mais impactada com a perda da floresta, cada vez mais espécies são ameaçadas de extinção, a Mata Atlântica abriga mais de 8000 espécies que são endêmicas, hoje restam menos de 12% da floresta original, e são fragmentos de floresta pequenos e espaçados uns dos outros, algumas espécies chegam a precisar de vários quilômetros quadrados para subsistir, como no caso das onças (PENTEADO, 2019). Esses fatores impactam essas espécies e tornam cada vez mais difícil para que se perpetuem e aumentem sua população. Muitas dessas espécies não são encontradas em área de preservação, o que desperta a importância do estudo em cima de espécies endêmicas e como elas se comportam para estabelecimento de um melhor plano de manejo dessas áreas (TABARELLI et al., 2005).

Santos et al. (2020) citam que os principais contribuintes para o desmatamento da Mata Atlântica são os avanços constantes da agropecuária, com a falta de planejamento para rotação de cultura e reutilização da terra, e principalmente ao aumento da atividade de pecuária; na expansão urbana, onde a população brasileira sofreu um alto crescimento populacional, tendo muitas áreas de mata degradadas para ocupação; e silvicultura, área que vem crescendo ao longo dos anos, embora ainda controverso, a silvicultura impacta áreas de mata nativa, influenciando tanto a fauna como na atividade de solo e disponibilidade hídrica (MOLEDO et al., 2016).

Uma das consequências do desmatamento da Mata Atlântica é a fragmentação da floresta. Esses fragmentos são decorrentes de ações antrópicas que vem crescendo em áreas naturais sendo uma grande ameaça para a conservação das espécies. Os fragmentos de floresta se alastram por áreas em pequenas proporções, e que não se conectam uns com os outros, o que dificulta o deslocamento das espécies e consequentemente a dispersão de sementes translocadas pela fauna, destacando ainda os efeitos sobre as espécies endêmicas e como os fragmentos da Mata Atlântica impactam sobre suas populações (RIBEIRO et al., 2011).

Ranta e colaboradores registraram em 1997 que aproximadamente 48% dos fragmentos de Mata Atlântica são menores que 10 hectares, enquanto apenas 7% são maiores que 100 hectares, fato que voltou a ser discutido no estudo de Ribeiro et al (2009), quando seus resultados revelaram que mais de 80% dos fragmentos têm menos que 50 hectares. Tabanez e Viana (2000) estudaram a estrutura e a composição de espécies de porções de fragmentos, com quatro unidades de diferentes tamanhos e fisionomias, mostrando que mesmo muito tempo depois do início de efeito de borda, a floresta pode continuar sofrendo efeitos da degradação, mesmo quando protegidos de atividades antrópicas, mas conservando ao mesmo tempo importantes parcelas da biodiversidade.

O efeito de borda pode ser bem complexo, outros fatores também podem afetar e aumentar o resultado encontrado, como incêndios ou dessecações (Putz et al., 2011). Espécies que antes controladas pelo sombreamento da floresta, acabam tendo efeito dominante, e o contrário também ocorre, com árvores menos tolerantes a exposição direta da luz. O nível mais

desafiador é identificar e encontrar modelos de manejo específicos para o fragmento, de como que se possa manter a estrutura e biodiversidade inicial (Putz et al., 2011).

Silva et al. (2017) propuseram em seu estudo uma rede de corredores que pudessem conectar fragmentos da Mata Atlântica e assim diminuir os impactos das ações antrópicas, em algumas regiões no estado de Minas Gerais. Os pesquisadores levaram em consideração algumas Unidades de Conservação e Áreas de Preservação Permanentes, usando suas referências para planejarem corredores que favoreçam sua conexão, levando em consideração também que muitos fragmentos importantes se encontram em propriedades privadas. A criação dos corredores ecológicos se mostrou importante para interligação entre os fragmentos e a possibilidade de conservação do ecossistema primário da região, assim como de toda a biodiversidade.

A Mata Atlântica possui uma das maiores diversidades biológicas do mundo, sendo fundamental a sua proteção e conservação (CARDOSO, 2016). A restauração florestal da Mata Atlântica é um ponto importante a ser discutido devido a crescente degradação ambiental que o bioma vem sofrendo.

A restauração florestal, segundo Engel & Parrotta (2003) é uma forma de recuperar o equilíbrio e a integralidade do ecossistema natural, não copiando um modelo da natureza. Os autores destacaram que é impossível o ambiente voltar ao seu estado natural, no entanto, a restauração pode trazer de volta as características e processos naturais que são desejáveis. Sendo assim, a restauração é o meio mais rápido para a recuperação de um ecossistema.

## 2.2 O solo no processo de restauração florestal

O solo é o principal meio para subsistência do homem, sendo ele suporte para infraestrutura de cidades, fator de qualidade da água, e insubstituível na agricultura. O solo é a camada referente a parte superior da crosta terrestre, onde nele se encontram diferentes comunidades de organismos que compõem um geoecossistema (KÄMPF; CURI, 2015).

Sendo o solo o principal componente para o desenvolvimento das plantas, a melhor maneira de compreendê-lo foi elaborar um meio para estudar suas atividades químicas, físicas e biológicas, passando a entendê-lo como um sistema aberto e complexo, com fluxos de energia e matéria, como exemplo, os minerais do solo são transferidos para a planta, assim como a planta em forma de resíduos transfere para os microrganismos, formando um grande sistema de transformações (KÄMPF; CURI, 2015).

Com um sistema em equilíbrio estabelecido, o solo interage com a vegetação em sua camada superior e assim com a macro e microfauna que se encontra nele (BROWN et al., 2015). Quando a vegetação nativa é removida e o solo fica exposto, a qualidade do solo é comprometida, podendo alterar a matéria orgânica acumulada, a comunidade de microrganismos e a composição de espécies vegetais que habitavam o ambiente, mas este pode recuperar seu equilíbrio de acordo com o seu manejo (ALVES et al., 2011).

A qualidade do solo, de acordo com Chaves et al. (2012), pode ser definida pela capacidade de exercer diferentes funções em um ecossistema, como alocar as raízes para sustentação das plantas, ser fonte de nutrientes, assim como suportar os animais, dentre outros. Os autores apontam que a qualidade de solo é mensurada de acordo com os atributos determinados no tipo de solo em relação ao seu estado natural, sendo a melhor maneira de se mensurar essa qualidade através da caracterização química e física do solo, o que pode ser apresentado através da retirada de uma amostra de solo do ambiente.

É possível dizer que a amostragem do solo é o caminho para o uso racional, sustentável e econômico dos solos, a partir dela podemos atestar a fertilidade do solo, podendo quantificar

os tipos de macro e micronutrientes presentes e sua quantidade encontrada por amostra, sendo estes fatores essenciais para o preparo do solo tendo como consequência um bom desenvolvimento e crescimento da planta (STEFANOSKI et al., 2013).

### 2.3 A importância do crescimento radicular

Segundo Salton & Tomazi (2014) os sistemas radiculares possuem um papel importante para a melhora de alguns atributos do solo, principalmente os relacionados a estrutura e acúmulo de matéria orgânica. Os autores destacaram as plantas de cobertura do solo, como as braquiárias, onde em apenas alguns meses seu sistema radicular pôde contribuir para o crescimento das raízes das plantas usadas posteriormente. Com a morte das suas raízes é iniciado um processo de decomposição, deixando canais no interior do solo, sendo favorável para o crescimento das raízes das plantas futuras.

Pacheco et al. (2015) destacam que plantas com elevado crescimento radicular, em camadas mais adensadas do solo, como as plantas de cobertura, contribuem para a descompactação biológica do solo, o que foi observado para a *Crotalaria juncea*, onde os autores observaram melhores resultados quanto a produção de fitomassa aérea e de raízes, em níveis para compactação do solo.

A distribuição de raízes é influenciada por fatores como o tipo de solo, assim como a sua estrutura, temperatura, densidade, fertilidade, matéria orgânica, e entre outros, mas o fator determinante e o que mais influência é o seu fator genético, a distribuição das raízes varia de acordo com cada espécie de planta (BEHLING et al., 2014). De acordo com Souza et al. (2017), a sazonalidade é um fator que interfere no crescimento de raízes finas, de acordo com o seu estudo o maior crescimento foi confirmado durante o período de janeiro a abril, meses de maiores precipitações na região.

Andrade e colaboradores (2020) atestaram que a produção de raízes finas ocorre principalmente no período chuvoso. A dinâmica das raízes finas na área de estudo dos autores, mostrou que no período seco foi fortemente limitada, ocorrendo perda de biomassa e de comprimento de raiz em todas as camadas avaliadas.

Navroski et al. (2010) trabalharam em um povoamento de *Eucalyptus cloeziana*, onde realizaram um estudo de caracterização das raízes finas nos primeiros 20 cm de profundidade do solo. Segundo eles, quase a metade da biomassa encontrada se concentrou nas primeiros 5 cm de solo, sendo bem diferenciado estatisticamente das demais profundidades. Verificou que com o aumento da profundidade, a quantidade de biomassa diminuía gradativamente.

Os autores relacionaram que a densidade das raízes possui uma relação direta com o crescimento, idade e o sítio dos indivíduos. O mesmo ocorreu para densidade, pode-se observar uma maior concentração das raízes finas nos primeiros 5 cm de profundidade, o que foi explicado por na superfície do solo acumular mais matéria orgânica, tendo maior distribuição de nutrientes, água e oxigênio.

O mesmo comportamento também foi encontrado para comprimento das raízes finas. Quanto maior a profundidade, menor o comprimento das raízes. A quantidade de raízes finas variou de acordo com o estado vegetativo das plantas, nos períodos de maior crescimento, como no verão, o que pode ser explicado por ser o período de maior incidência de chuvas, em comparação com outros períodos, onde há morte ou diminuição das raízes finas.

Em um povoamento de *Eucalyptus urophylla*, com cerca de 10 anos, Witschoreck et al. (2003), também encontraram o mesmo padrão de comportamento das raízes finas, quanto mais perto da superfície, maior o valor, quanto mais profundo no solo, menor seriam as concentrações de raízes finas, o mesmo ocorrendo para a densidade. Os autores também

observaram que densidade possui uma correlação com a taxa de crescimento de determinadas espécies.

## 2.4 Espécies utilizadas na restauração florestal

### 2.4.1 *Calophyllum brasiliense* Cambess. (Calophyllaceae)

*Calophyllum brasiliense*, popularmente conhecido como guanandi, pertence à família das Calophyllaceae podendo chegar a 20-30m de altura, seu fruto é consumido por várias espécies da fauna, sendo uma das razões por ser uma espécie muito utilizada em planos de reflorestamento (LORENZI, 2014). A espécie condiciona a se adaptar às variações de sombreamento, uma espécie clímax tolerante a sombra, muito utilizada em reflorestamento de matas ciliares (NERY et al., 2007).

França et al. (2017) avaliaram as relações hídricas e as trocas gasosas em plantas juvenis da espécie, onde chegaram à conclusão de que sob déficit hídrico as mudas diminuíram o potencial hídrico foliar e regulam a abertura estomática, o que resulta na redução da fotossíntese e na transpiração, passando a investir mais na produção de clorofila b, observando que as plantas de guanandi utilizaram de forma eficiente a água que foi absorvida quanto submetidas a estresse hídrico.

Souza et al. (2018) realizaram um trabalho com quatro espécies sendo duas nativas, entre elas a espécie *Calophyllum brasiliense* e duas exóticas. O estudo consistiu em avaliar o desenvolvimento inicial e a eficiência do uso da água e nitrogênio. Os autores concluíram que ao final do experimento a espécie foi uma das que apresentaram maior produção de biomassa seca total, e maiores valores de razão de área foliar, assim como uma das espécies que foi mais eficiente do uso da água, corroborando com o estudo realizado por França et al. (2017).

Já Oliveira & Joly (2009) testaram a tolerância a inundação da espécie *C. brasiliense*. Foram estudadas por 150 dias, plantas controle e plantas inundadas. Embora as plantas inundadas continuassem incorporando carbono, apresentaram menores taxas de crescimento em relação ao outro grupo de estudo. O aumento de diâmetro do caule e desenvolvimento de raízes adventícias são as características observadas que explicaram a sobrevivência e sucesso das plantas inundadas. Os autores por fim concluíram que a espécie é uma ótima escolha para recuperação de áreas propensas a inundação. Assim como os autores, Marques & Joly (2000) testaram a germinação e crescimento de *C. brasiliense*, e concluíram que a inundação não foi um fator limitante de crescimento para espécie. A espécie apresentou indiferença em relação a luz e a capacidade de se desenvolver em solo inundado.

Holl (1997), constatou em seu estudo que o desenvolvimento das sementes de *Calophyllum brasiliense* foram significativamente afetados quando introduzidos em dois cenários, área de pastagem com gramínea e área de pastagem tropical abandonada. Em ambos os locais as sementes sofreram com a competição por recursos, obtendo baixo sucesso de germinação, reforçando a importância de reduzir a competição que acontece abaixo e acima do solo.

### 2.4.2 *Alchornea triplinervia* (Spreng.) Müll.Arg. (Euphorbiaceae)

A *Alchornea triplinervia* também conhecida como tamanqueira pertence à família das Euphorbiaceae, podendo chegar a 15-30m de altura, sendo seu fruto muito procurado por

pássaros que consomem o seu arilo vermelho, parte que envolve a semente (LORENZI, 2014). Rodrigues (2012), atestou em seu experimento que as sementes da espécie, em resposta germinativa, apresentam fotoblastismo positivo, e respostas mais positivas quando submetidas a temperaturas de cerca de 30°C, e em solos típicos de restinga.

Roças et al. (2000) averiguaram que a anatomia da folha da espécie responde a diferentes maneiras ao regime de luz e água no solo. O estudo separou dois grupos de populações, inundadas e não inundadas, e expostas e não expostas, onde foi mostrado que a luz afetava a variação da anatomia foliar mais do que a interação luz e água no solo. Concluindo que sua plasticidade ecológica está ligada à sua capacidade de ajustar a anatomia da folha de acordo com a variação sofrida no ambiente, podendo ser uma das razões por essa espécie se estender a uma ampla variedades de habitats.

De acordo com as contribuições de Scarano et al. (2009), que estudaram o fenótipo de seis espécies que ocorrem na restinga do Rio de Janeiro, dentre elas a *Alchornea triplinervia*, escolhida por ser comumente encontrada em outras habitats naturais além das restingas, foi atestado a adaptação da espécie para diferentes habitats, sendo capaz de se aclimatar em distintas situações ambientais, sendo verificado variações de características morfológicas, anatômicas e fisiológicas.

Além da espécie ser altamente adaptável a diferentes tipos de habitats, Calvo et al (2010) estudaram o potencial medicinal da espécie, tendo atestado no uso dos seus extratos, a sua não toxicidade e a atividade promissora na ação contra bactérias, assim como na ação gastroprotetora.

#### **2.4.3 *Pseudobombax grandiflorum* (Cav.) Robyns (Malvaceae)**

A *Pseudobombax grandiflorum* conhecida como embiruçu, pertence à família das Malvaceae, podendo chegar à altura de 15 a 25m. Muito utilizada em programas de reflorestamento por ser tolerante a insolação direta e ser de fácil multiplicação (LORENZI, 2014).

Buscando conhecer melhor o desenvolvimento da espécie, Lopes et al. (2007) avaliaram a germinação da semente de *Pseudobombax grandiflorum* colhidas em diferentes estágios de maturação e utilizando diferentes substratos (papel, areia e vermiculita). Os autores determinaram que em vermiculita a germinação das sementes com 60 dias após a antese apresentou uma maior porcentagem e velocidade. Já nas sementes dos frutos desíscentes, germinaram bem nos três substratos, mas se destacando no substrato areia. Um estudo para demonstrar qual substrato a espécie apresenta maiores chances de germinar, alcançando melhores resultados em crescimento de mudas.

Zamith & Scarano (2006) estudaram a restauração das restingas no Rio de Janeiro. Os autores monitoraram uma área de plantio por cerca de dois anos, ao final do experimento, a maior parte das espécies obtiveram sucesso na taxa de sobrevivência, em relação ao desenvolvimento e crescimento, a *Pseudobombax grandiflorum* foi uma das espécies que mais se destacou quanto a sua altura e desenvolvimento em diâmetro basal.

No estudo produzido por Martins et al (2022) sobre reflorestamento com mudas altas, no aspecto radicular, foi obtido um ótimo resultado quando associado mudas de qualidade com o estabelecimento e crescimento da raízes. Dentre as espécies analisada pelos autores, a *Pseudobombax grandiflorum* foi uma das espécies que mais se destacou quanto ao seu crescimento radicular.

Como forma de entender a melhor forma de produzir projetos para restauração, Alburquerque et al. (2019) analisaram os anéis das árvores para informações de crescimento a

longo prazo sobre as espécies arbóreas mais usadas em projetos de restauração, como a *Pseudobombax grandiflorum*. Ambas as espécies estudadas pelo autor produziam anéis de crescimento anualmente e o comportamento foi o mesmo tanto para florestas naturais como para plantadas. A associação dos períodos de dormência cambial com a fenologia foliar pode ser útil para entender melhor as estratégias das espécies para lidar com os estresses sazonais, como seca ou inundações.

#### **2.4.4 *Guarea guidonia* (L.) Sleumer. (Meliaceae)**

A *Guarea guidonia*, popularmente conhecida como carapeta vermelha, pertencente a família das Meliaceae, pode chegar a 15-20m de altura, sendo seus frutos muito consumidos pela fauna, o que contribui para a sua disseminação (LORENZI, 2014). Neves & Peixoto (2008) atestaram em seu estudo nos remanescentes em regeneração, na Reserva Biológica de Poço das Antas, que a espécie foi encontrada tanto no sub-bosque como no dossel da comunidade, atestando sua alta dispersão na região.

Dan et al. (2010), analisando a comunidade arbórea de fragmentos na bacia hidrográfica do rio São Domingos, no Rio de Janeiro, também atestaram que a *Guarea guidonia* foi uma das espécies mais abundantes da região na área do estudo.

Conforme o estudo de Gama et al. (2003), a *Guarea guidonia* foi uma das espécies mais importantes da regeneração natural na área do estudo dos fragmentos no estado do Pará, desempenhando papel importante nas funções ambientais e socioeconômicas, sendo sua madeira muito utilizada na produção de canoa e outras construções, além do seu fruto servir de alimento para a fauna.

Na pesquisa realizada por Chada et al. (2004), sobre sucessão em uma área de encosta reflorestada, os autores atestaram que nas três áreas reflorestadas estudadas, a *Guarea guidonia* foi a espécie de maior valor de importância, com maior número de indivíduos e com maiores valores tanto de densidade quanto de dominância relativa. Comprovando o quanto a espécie consegue se adaptar a diferentes habitats.

Oliveira et al. (2013) pesquisaram em seu estudo um histórico ecológico da *Guarea guidonia*, onde constatou tratar se de uma espécie pioneira longeva e de rápido crescimento, se tratando ser uma espécie com preferência por ambientes úmidos, de grande resposta a pleno sol, o que justifica exemplares encontrados de grande porte e baixa densidade, que pode ter sido resultado da abertura de clareiras artificiais.

#### **2.4.5 *Inga edulis* (Mart.) (Fabaceae)**

*Inga edulis* também conhecida como ingá cipó, apresenta porte médio a alto, podendo chegar a 6-25m de altura, sendo de rápido crescimento. Seus frutos são muito utilizados para consumo da fauna, ajudando na sua disseminação (LORENZI, 2016). Segundo Carvalho (2014), é uma espécie característica de solos brejosos e ácidos.

A espécie é conhecida pelo seu rápido crescimento, o que foi atestado por Abril-Saltos et al. (2018), quando os autores compararam as medidas de altura e diâmetro de caule ao longo do tempo, com as variações de chuvas, para averiguar se há interação, o que foi confirmado no estudo.

Falcão e Clament (2000) avaliaram a produção e a fenologia da *Inga edulis* na Amazônia, atestando que a espécie apresentou quatro florações durante o ano, o que a leva a

frutificação também por quatro vezes, ou seja, frutos quase o ano todo, sendo muito utilizada pela população e pela fauna local.

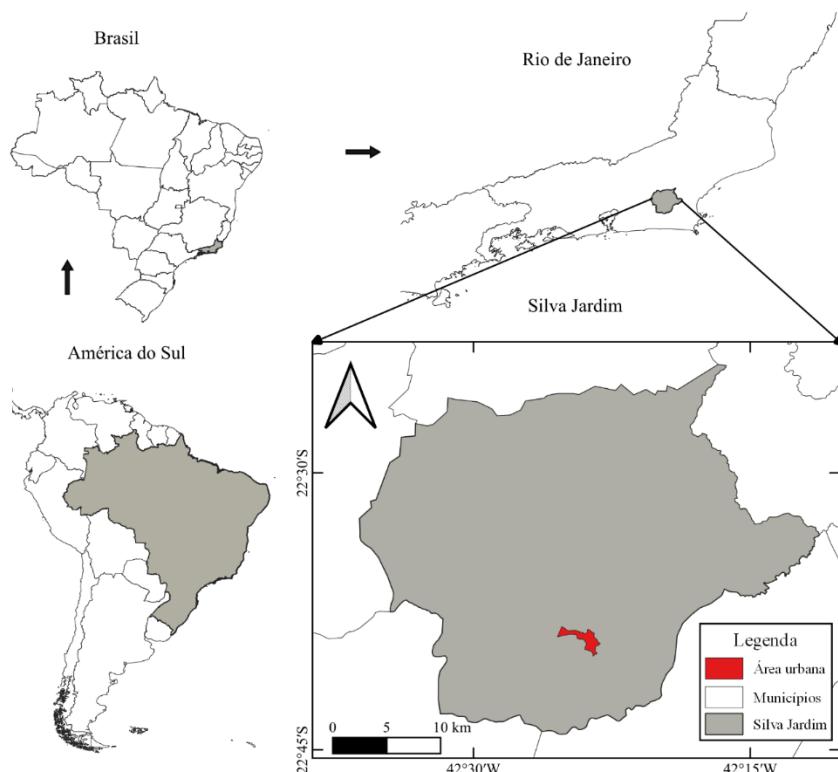
A *Inga edulis* é uma planta de crescimento rápido e que é tolerante a solos ácidos, sendo comumente utilizada para áreas de restauração florestal, principalmente para recuperação de solos degradadas, ajudando na fertilização do solo através da fixação de nitrogênio, além de ser utilizada tradicionalmente para sombrear culturas perenes (LOJKA ET AL, 2010).

Como parte do seu estudo, Nygren e colaboradores (2012) atestaram em seu estudo que as raízes do *Inga edulis* forneceram interações positivas de N para a nutrição do cacau no sistema agroflorestal, pelo fato do Ingá se associar a bactérias fixadoras de nitrogênio. Os autores concluíram que as raízes formaram uma espessa camada superficial do solo, o que provavelmente se deve pela farta serrapilheira.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

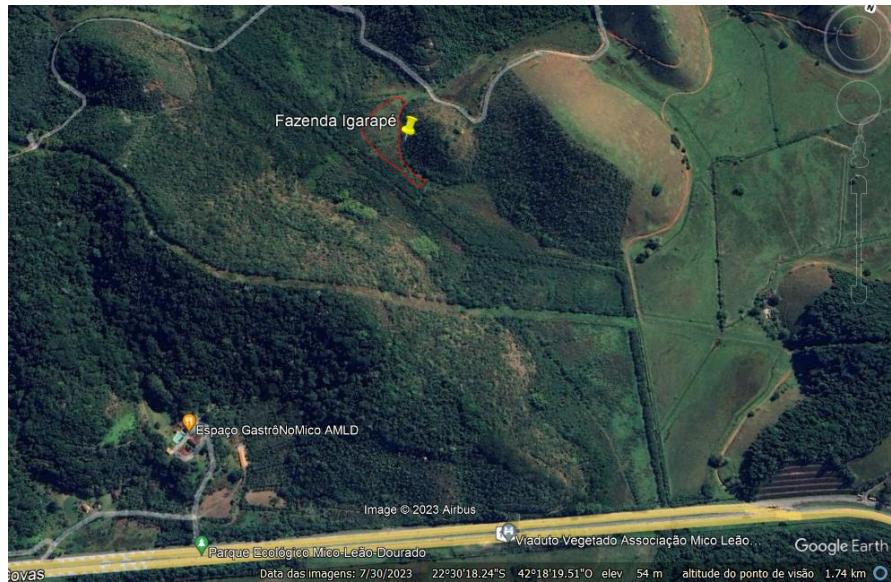
#### 3.1 Caracterização da área experimental

A área do estudo se encontra na Fazenda Igarapé, localizada dentro da área protegida pelo Parque Ecológico Mico Leão Dourado, cerca de 2 km da sede do parque, próximo ao município de Silva Jardim, no estado do Rio de Janeiro (Figura 1).



**Figura 1:** Localização da área de estudo.

A Fazenda Igarapé possui 100 hectares, tendo sido o estudo realizado em uma área de 1,58 ha, entre os paralelos 22°30'08" S e 42°18'25" O (Figura 2).



**Figura 2:** Imagem do Google Earth sobre o local do estudo no Parque Mico Leão Dourado no ano de 2023. A área experimental está delimitada em vermelho.

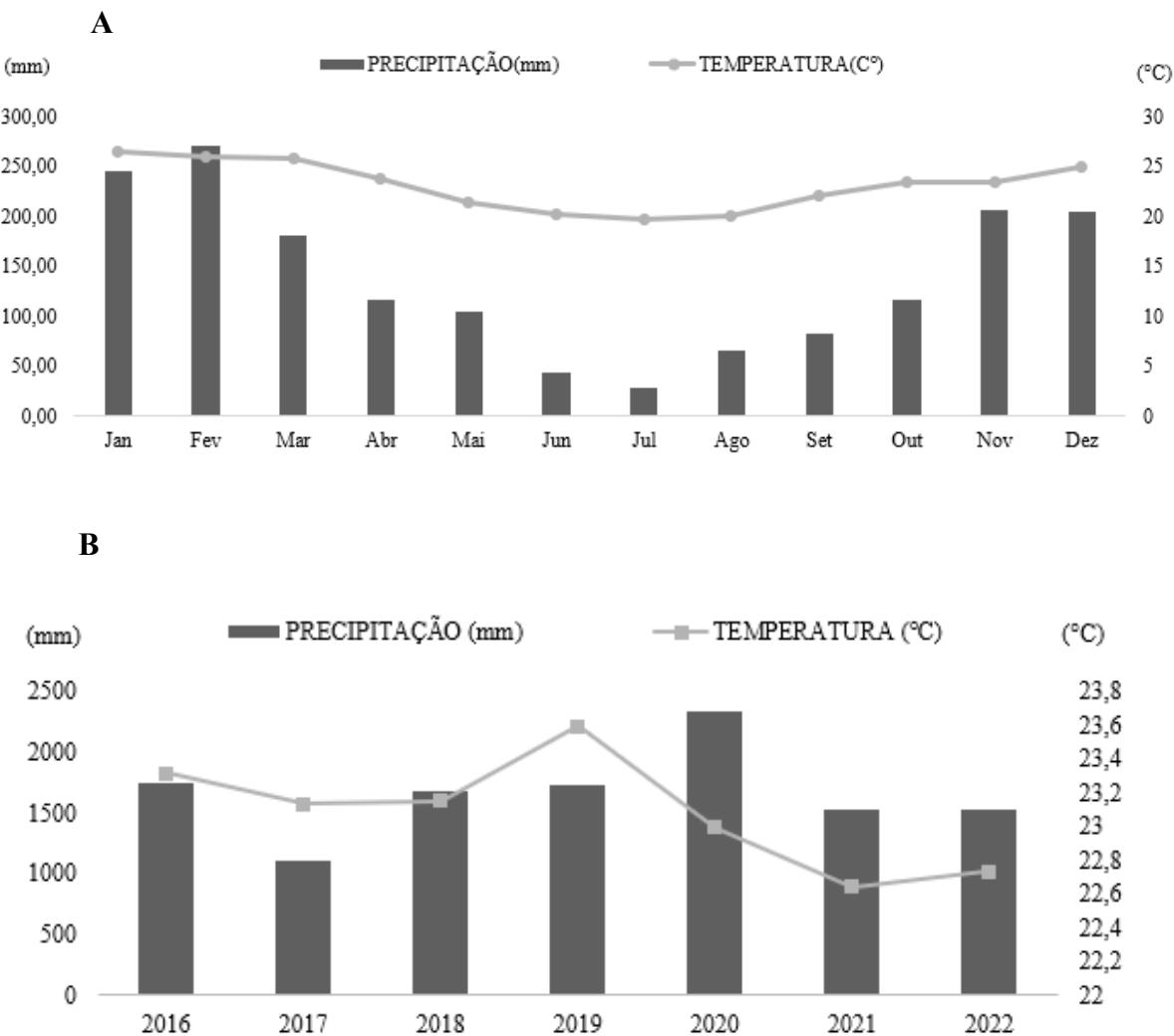
Antes de 2016, a área fazia parte de uma propriedade privada, tendo sido após este ano adquirida pelo Parque Mico Leão Dourado. Historicamente, as terras eram utilizadas em sua essencialidade para pastagem de gado (Figura 3).



**Figura 3:** Imagem do Google Earth sobre o local do estudo no Parque Mico Leão Dourado no ano de 2016. A área experimental está delimitada em vermelho.

O clima da região é considerado tropical úmido do tipo AW (Köppen), com verão characteristicamente quente e chuvoso e inverno seco, tendo a temperatura média anual de 22,8° C - com máxima média mensal variando entre 30°C e 32°C (Figura 4). Entre os anos de 2016

até 2022, as épocas mais chuvosas se estenderam de meados de outubro até princípio de abril (Figura 4A). Através da análise da média anual entre o ano de 2016 e 2022 pode-se observar que 2016 não foi um ano caracteristicamente quente, e que apresentou precipitação superior à 1500 mm (Figura 4B).



**Figura 4:** (A) Média de precipitação (mm) e temperatura (°C) do período de 2016 (implantação da área) à 2022 (coleta dos dados) e (B) Precipitação (mm) e temperatura média (°C) anual entre 2016 e 2022. Dados extraídos do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia).

O relevo apresenta pequenos morros, com predomínio de Latossolo vermelho amarelo, Cambissolo latossólico e planícies aluviais com Gleissolo (TAKIZAWA, 1995). As baixadas aluviais estão sujeitas a alagamento permanente ou periódico do solo (PRIMO; VOLKER, 2003).

A área, uma vez já pertencente ao Parque, foi reflorestada com espécies nativas da região em março de 2016, selecionadas de acordo com sua abundância nas proximidades (Figura 5).



**Figura 5:** Plantio de 6 anos na Fazenda Igarapé, Silva Jardim, RJ.

Cinco espécies foram escolhidas para fazer parte do estudo das raízes finas. A escolha baseou-se naquelas de maior ocorrência natural na região e consideradas importantes para a restauração por serem consideradas facilitadoras do processo de restauração, podendo promover o crescimento de outras espécies.

Sendo assim, neste trabalho, avaliou-se o crescimento da *Alchornea triplinervia* (Tamanqueiro); *Calophyllum brasiliense* (Guanandi); *Guarea guidonia* (Carrapeta vermelha); *Inga edulis* (Ingá cipó); *Pseudobombax grandiflorum* (Embiruçu).

### 3.2 Inventário

Em 2022 foi realizado um inventário da área do estudo, sendo coletadas informações sobre altura total, diâmetro do tronco e área basal; sendo estas medidas essenciais para se acompanhar o desenvolvimento das mudas ao longo de 6 anos após o plantio.

A altura das árvores foi estimada visualmente com o auxílio que uma vara graduada de 2,5m, que foi utilizada para fazer uma aferição aproximada da altura com a extração do número de varas até a copa da árvore. Inicialmente o aparelho Vertex seria utilizado para a aferição, porém a densidade da copa das árvores limitou a visualização, impedindo o seu uso.

A circunferência a altura do peito (CAP) das árvores selecionadas para o estudo foram medidas com fita métrica para posteriormente ser calculado o diâmetro do tronco (DAP). A área basal foi estimada através da fórmula  $G = (\pi * (d^2))/4$ , sendo d=diâmetro.

### 3.3 Caracterização textural e química do solo

Para caracterização textural e química do solo foram coletadas amostras simples para composição de uma amostra composta ao longo da área do estudo, em forma de ziguezague, a cada 20 metros entre um ponto e outro.

A cada ponto, coletou-se o solo em duas profundidades, 0-20 cm e 20-40 cm, com o auxílio de um trado holandês. Com isso, o solo foi classificado como franco-argilo-arenoso distrófico (0-20 cm) e franco-argilo-arenoso álico (20-40 cm). Observou-se pH ácido, com a presença de alumínio ( $Al^{3+}$ ) acima de 0,6 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> (Tabela 1).

**Tabela 1:** Caracterização química do solo da área experimental.

Atributo químico	Unidade	Profundidade	
		0-20 cm	20-40cm
pH <sub>H2O</sub>	pH (1:2,5)	4,7	4,6
Hidrogênio (H <sup>+</sup> )	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	6,3	5,2
Alumínio (Al <sup>3+</sup> )	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	0,6	0,8
Nitrogênio(N)	g kg <sup>-1</sup>	1,6	0,8
Cálcio (Ca <sup>2+</sup> )	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	0,6	0,3
Magnésio (Mg <sup>2+</sup> )	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	0,4	0,3
Potássio (K <sup>+</sup> )	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	0,09	0,04
Sódio (Na <sup>+</sup> )	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	0,02	0,02
Fósforo (P)	mg kg <sup>-1</sup>	2,0	1,0
Valor T	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	8,0	6,4
Valor S	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	1,1	0,4
Saturação por bases (V)	%	14,0	6,0
Carbono orgânico (CO)	g kg <sup>-1</sup>	16,4	11,7
Relação C/N		10,0	15,0

### 3.4 Coleta e análise de raízes finas

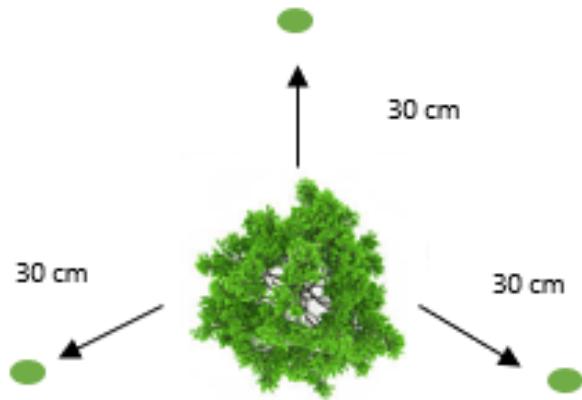
Considerou-se neste trabalho como raízes finas aquelas com diâmetro inferior à 2 mm. Sendo assim, para a avaliação do crescimento de raízes finas selecionou-se 35 indivíduos no total, sendo 7 de cada espécie, *Alchornea triplinervia*, *Calophyllum brasiliense*, *Pseudobombax grandiflorum*, *Inga edulis* e *Guarea guidonia*.

As amostras foram coletadas em março de 2022, utilizando uma sonda de aço inox de 130 cm de altura e 4,5 cm de diâmetro interno (Figura 6).



**Figura 6:** Sonda utilizada para a coleta de raízes finas.

As amostras foram coletadas em três pontos ao redor e distanciadas à 30 cm das árvores (Figura 7) para que não houvesse interferência de raízes de outras espécies. A coleta foi realizada em três profundidades diferentes, 0-10 cm, de 10-20 cm e 20-30 cm.



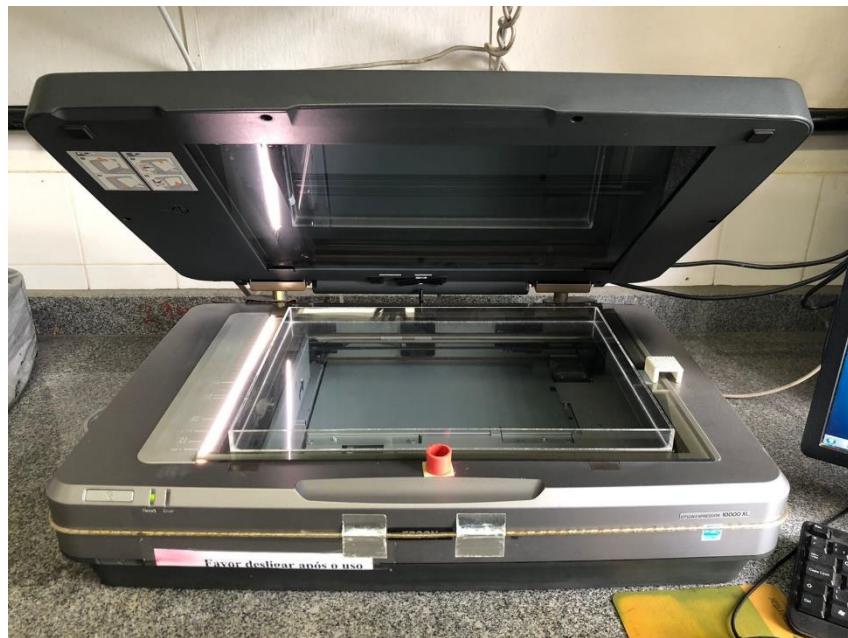
**Figura 7:** Esquema de coleta de raízes finas, onde os pontos verdes indicam o ponto de coleta.

Inicialmente, as amostras de solo foram acondicionadas em sacos plásticos transparentes, sendo posteriormente levadas para o laboratório e armazenadas em um freezer para preservação das raízes.

Cada amostra depois de descongelada e colocada em uma peneira (malha de 550  $\mu\text{m}$ ), foi lavada em água corrente para separação das raízes. O restante (raízes e resquícios de grânulos do solo), foi armazenado em frascos contendo álcool 70° para posterior separação das raízes finas. Posteriormente, as raízes finas foram separadas em uma bandeja branca, continuando estas armazenadas nos frascos com álcool.

Após todo este processo de separação das raízes finas calculou-se o comprimento (cm), área da superfície radicular ( $\text{cm}^2$ ) e volume ( $\text{cm}^3$ ). Para isso, foi utilizado o escâner EPSON

EXPRESSION 10000 XL associado ao programa WinRhizo Basic, Reg, Pro e Arabidopsis for Roots Measurement 2012b, para processamento das imagens, digitalização e caracterização das raízes finas (Figura 8).



**Figura 8:** Aparelho de escâner EPSON EXPRESSION 10000 XL.

As raízes finas de cada amostra foram distribuídas em uma bandeja acrílica transparente com água destilada sobre o scanner, de forma a se minimizar possíveis sobreposições. O programa WinRhizo foi utilizado para digitalização e leitura dos dados processados no escâner (Figura 9).

Tendo o programa iniciado, foi necessário realizar a sua calibração, onde foi utilizada calibração em 600 dpi mm, para processamento da raízes. Após todas as amostras das raízes finas terem sido devidamente escaneadas e caracterizadas, estas foram depositadas em sacos de papel kraft e secadas em uma estufa a 65°C por 72 horas. Após a secagem, todo o material foi pesado e assim obtendo-se a matéria seca de raízes finas (g).

Obtidas todas as variáveis calculou-se a densidade de raízes finas (DRF –  $\text{cm cm}^{-3}$ ). Além disso, através de análise de regressão verificou-se as relações entre comprimento (cm): matéria seca (g); área ( $\text{cm}^2$ ): matéria seca (g); e volume ( $\text{cm}^3$ ): matéria seca (g). Determinando-se também valores específicos tendo como base a matéria seca radicular.



**Figura 9:** Digitalização das raízes e análise no equipamento.

### 3.5 Análise dos dados

Com a utilização do software estatístico R, considerando  $p < 0,10$ , foi possível verificar a homogeneidade das variâncias a fim de se atender aos critérios de normalidade dos resíduos. Atendendo estas premissas, analisou-se a variância (ANOVA) e havendo diferença entre as espécies, fez-se o teste de média (Tukey).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No presente trabalho, observou-se que a *Inga edulis* apresentou os maiores valores de altura (8,7 m), diâmetro (20,0 cm) e área basal (0,0313 cm<sup>2</sup>). A *Alchorne triplinervia* foi a segunda espécie com maior crescimento aéreo. As espécies que menos cresceram foram a *Calophyllum brasiliense* e a *Guarea guidonia*.

De acordo com LOJKA et al. (2010), *Inga edulis* é uma espécie que se desenvolve bem em solos ácidos e de textura argilosa, características presentes no solo da área experimental da pesquisa.

Behling et al. (2018) estudaram a relação entre a parte aérea e as raízes em um povoamento de teca. Os autores observaram a existência de relações significativas entre o crescimento aéreo e radicular, concluindo que a área foliar é um bom estimador da área superficial de raízes. Tendo em vista também que no ano do plantio das mudas, foi um ano caracteristicamente chuvoso, a *Inga edulis* é uma espécie que se desenvolve naturalmente em solos mais úmidos (CARVALHO, 2014).

**Tabela 2:** Altura, diâmetro (DAP) e área basal média das espécies analisadas.

Espécie	Altura (m)	DAP (cm)	Área basal (cm <sup>2</sup> )
<i>Inga edulis</i>	8,7	20,0	0,0313
<i>Calophyllum brasiliense</i>	2,6	3,0	0,0006
<i>Alchornea triplinervia</i>	6,1	13,0	0,0132
<i>Pseudobombax grandiflorum</i>	3,8	9,4	0,0069
<i>Guarea guidonia</i>	2,7	3,0	0,0006

Ao analisar as variáveis referentes à arquitetura das raízes finas e ao crescimento, observou-se que na profundidade de 0-10 cm não ocorreram diferenças significativas entre as espécies em relação ao comprimento radicular (cm), a área radicular (cm<sup>2</sup>), crescimento baseando-se na densidade de raízes finas através do comprimento radicular (DRF cm cm<sup>-3</sup>), e em relação a algumas relações específicas, tais como matéria seca específica/área (g cm<sup>-2</sup>) e a matéria seca específica/volume (g cm<sup>-3</sup>) (Tabela 3).

Diante disso, para volume (cm<sup>-3</sup>), massa seca (g) e densidade de raízes finas (DRF g dm<sup>-3</sup>) foi possível observar que as espécies *Guarea guidonia*, *Inga edulis* e *Alchornea triplinervia* se diferenciaram significativamente em comparação com as espécies *Pseudobombax grandiflorum* e *Calophyllum brasiliense*. Em relação à matéria seca específica/comprimento (g cm<sup>-1</sup>), a *Guarea guidonia* se diferenciou significativamente em relação as demais (Tabela 3).

Verificou-se que na camada 10-20 cm não ocorreram diferenças significativas para as variáveis comprimento (cm), DRF (cm cm<sup>-3</sup>) e matéria seca específica/volume (g cm<sup>-3</sup>).

Para área (cm<sup>2</sup>), volume (cm<sup>-3</sup>), massa seca (g), DRF (g dm<sup>-3</sup>) e matéria seca específica/comprimento (g cm<sup>-1</sup>), observou-se que a *Guarea guidonia* foi superior em comparação com *Inga edulis*, *Alchornea triplinervia*, *Pseudobombax grandiflorum* e *Calophyllum brasiliense* (Tabela 4). Já para matéria seca específica/área (g cm<sup>-2</sup>), verificou-se que *Guarea guidonia* e todas as outras espécies se diferenciaram da *Pseudobombax grandiflorum* (TABELA 4).

Na camada 20-30 cm não ocorreram diferenças significativas entre as espécies para as variáveis massa seca (g), DRF (g dm<sup>-3</sup>), matéria seca específica/área (g cm<sup>-2</sup>), matéria seca específica/volume (g cm<sup>-3</sup>) e matéria seca específica/comprimento (g cm<sup>-1</sup>).

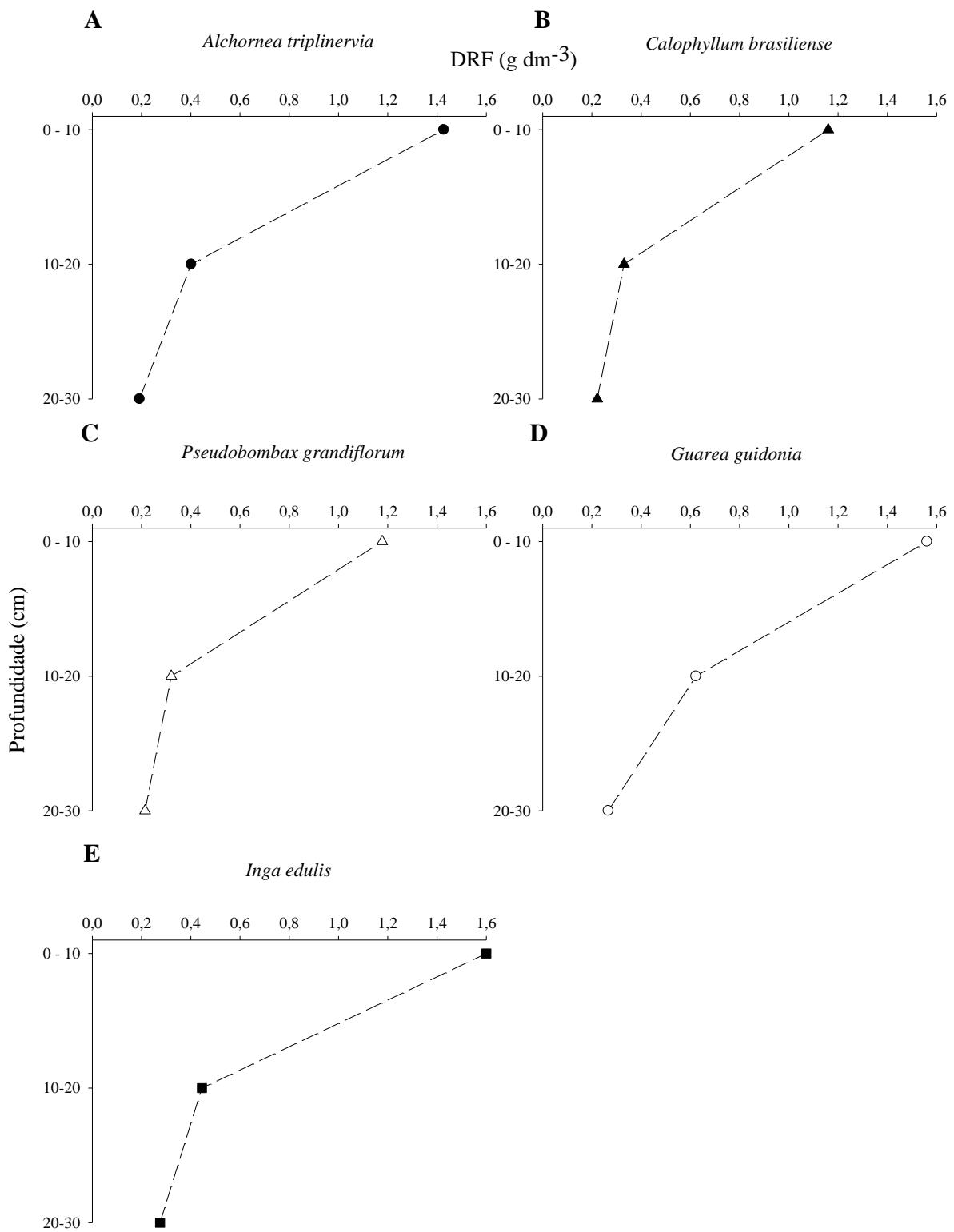
Sendo assim, em relação à área (cm<sup>2</sup>) e ao volume (cm<sup>-3</sup>), observou-se que a *Pseudobombax grandiflorum*, se diferenciou significativamente em comparação as outras espécies, apresentando os menores valores para estas variáveis (Tabela 5). Já para comprimento (cm) e DRF (cm cm<sup>-3</sup>), verificou-se que a *Inga edulis* e as demais espécies apresentaram maiores valores para estas variáveis em comparação com a *Pseudobombax grandiflorum*.

**Tabela 3:** Teste de média para as variáveis entre as espécies na camada de 0-10, 10-20 e 20-30 cm (*At* - *Alchornea triplinervia* / *Cb* - *Calophyllum brasiliense* / *Gg* - *Guarea guidonia* / *Ie* - *Inga edulis* / *Pg* - *Pseudobombax grandiflorum*).

Profundidade	Espécie	Comprimento (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Volume (cm <sup>3</sup> )	MS (g)	DRF (g dm <sup>-3</sup> )	Densidade (cm cm <sup>-3</sup> )	MSEC (g cm <sup>-1</sup> )	MSEA (g cm <sup>-2</sup> )	MSEV (g cm <sup>-3</sup> )
0-10 cm	At	511.77 a	68.73 a	0.76 ab	0.23 a	1.43 a	3.22 a	0.00045 b	0.0033 a	0.31 a
	Cb	444.21 a	56.97 a	0.60 b	0.18 b	1.16 b	2.79 a	0.00043 b	0.0032 a	0.31 a
	Gg	413.47 a	67.35 a	0.91 a	0.25 a	1.56 a	2.60 a	0.00062 a	0.0037 a	0.28 a
	Ie	525.79 a	70.52 a	0.76 ab	0.24 a	1.49 a	3.31 a	0.00048 b	0.0035 a	0.32 a
	Pg	448.01 a	58.53 a	0.63 b	0.19 b	1.18 b	2.82 a	0.00041 b	0.0031 a	0.30 a
10-20 cm	At	137.94 a	18.95 b	0.22 b	0.06 b	0.40 a	0.87 a	0.00048 ab	0.0033 ab	0.30 a
	Cb	141.13 a	17.56 b	0.18 b	0.05 b	0.33 a	0.89 a	0.00042 b	0.0030 ab	0.29 a
	Gg	166.65 a	26.17 a	0.34 a	0.10 a	0.62 a	1.05 a	0.00061 a	0.0038 a	0.31 a
	Ie	152.06 a	19.40 ab	0.20 b	0.07 ab	0.42 ab	0.96 a	0.00046 ab	0.0035 ab	0.33 a
	Pg	136.17 a	17.43 b	0.18 b	0.05 b	0.32 a	0.86 a	0.00036 b	0.0027 b	0.27 a
20-30 cm	At	85.24 ab	10.55 ab	0.11 ab	0.03 a	0.19 a	0,54 ab	0.00037 a	0.0027 a	0.27 a
	Cb	84.29 ab	11.35 ab	0.13 ab	0.04 a	0.22 a	0,53 ab	0.00040 a	0.0029 a	0.28 a
	Gg	91.75 ab	13.08 a	0.15 a	0.04 a	0.27 a	0,58 ab	0.00045 a	0.0030 a	0.27 a
	Ie	103.77 a	13.01 a	0.14 a	0.04 a	0.28 a	0,65 a	0.00057 a	0.0041 a	0.39 a
	Pg	67.97 b	8.31 b	0.08 b	0.03 a	0.21 a	0,43 b	0.00051 a	0.0043 a	0.48 a

Analisando mais especificamente o crescimento radicular, observou-se que a camada 0-10 cm apresentou a maior densidade de raízes finas (DRF), tanto baseando-se na matéria seca ( $\text{g dm}^{-3}$ ) quanto no comprimento radicular ( $\text{cm cm}^{-3}$ ) (Figura 10 e 11).

Ao se verificar os valores da DRF baseando na matéria seca ( $\text{g dm}^{-3}$ ), as espécies *Guarea guidonia* e *Inga edulis* se destacaram, com maior crescimento radicular nas três camadas analisadas, com DRF variando de 1,6  $\text{g dm}^{-3}$  na camada 0-10 cm à 0,3  $\text{g dm}^{-3}$  na camada 20-30 cm, valores estes para ambas as espécies (Figura 10D e 10 E). Já a espécie com menor DRF ( $\text{g dm}^{-3}$ ) foi a *Pseudobombax grandiflorum*, com valores variando de 1,2  $\text{g dm}^{-3}$  na camada superior à 0,2  $\text{g dm}^{-3}$  na camada 20-30 cm (Figura 10C).



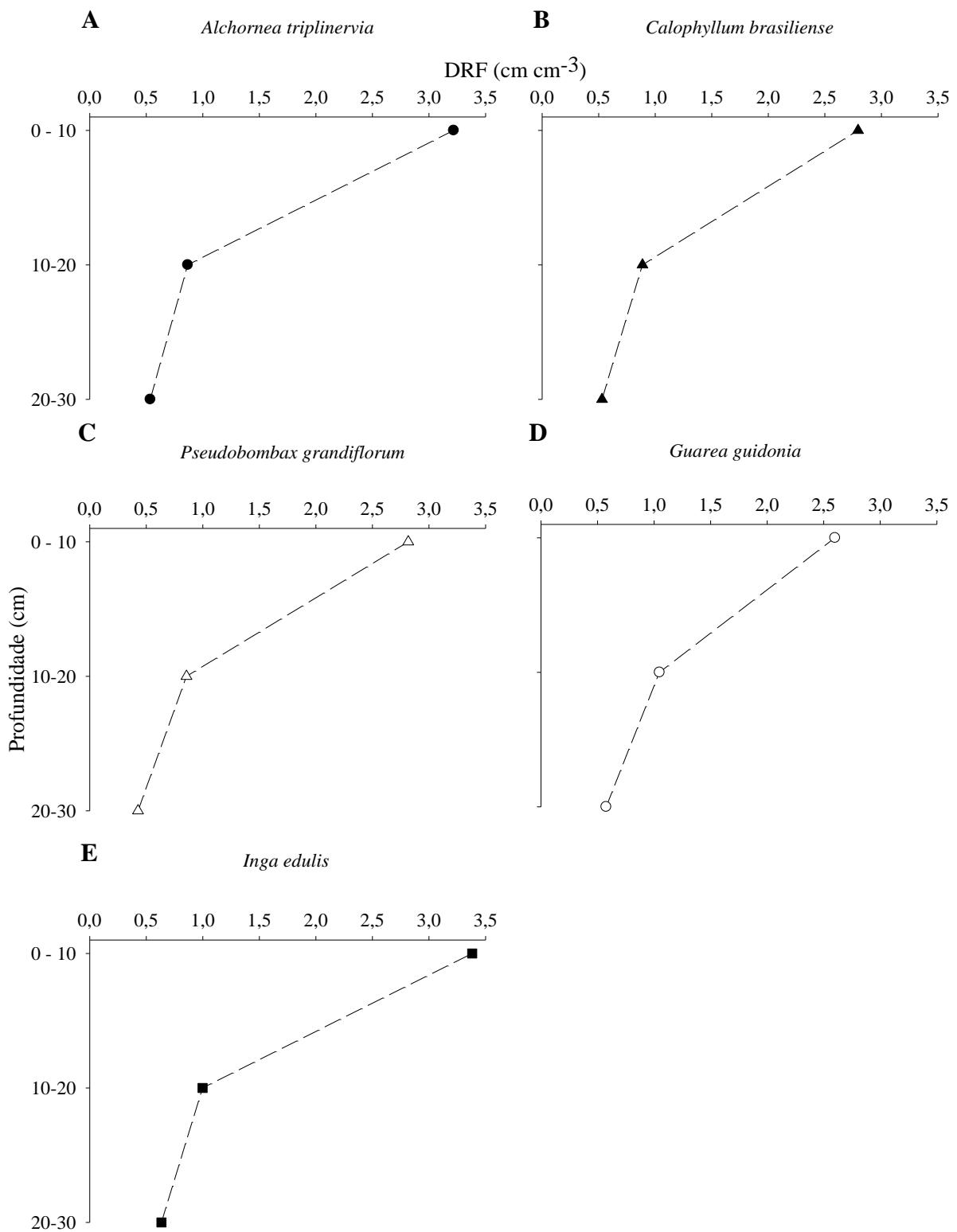
**Figura 10:** Densidade de raízes finas ( $\text{g dm}^{-3}$ ) das espécies analisadas, sendo A: *Alchornea triplinervia*; B: *Calophyllum brasiliense*; C: *Pseudobombax grandiflorum*; D: *Guarea guidonia* e E: *Inga edulis*.

Por outro lado, analisando-se o crescimento radicular levando em consideração a DRF calculada através do comprimento radicular ( $\text{cm cm}^{-3}$ ), observou-se algumas diferenças de crescimento em relação àquelas descritas para a DRF baseada no matéria seca (g) (Figura 11).

Assim sendo, foi possível observar que a *Inga edulis* manteve-se como a espécie com maior crescimento radicular, principalmente na camada 0-10 cm, apresentando DRF de aproximadamente  $3,4 \text{ cm cm}^{-3}$  nesta camada (Figura 11E). Outra espécie que se destacou quanto ao crescimento de raízes finas nesta camada foi a *Alchornea triplinervia*, apresentando uma DRF na camada 0-10 cm de  $3,2 \text{ cm cm}^{-3}$  (Figura 11A).

Em contrapartida, diferente ao observado da DRF baseada na matéria seca, a *Guarea guidonia* foi a espécie com menores valores, apresentando uma DRF de  $2,6 \text{ cm cm}^{-3}$  (Figura 11D). Tanto a *Calophyllum brasiliense* e a *Pseudobombax grandiflorum* apresentaram valores intermediários na camada 0-10 cm, ambos com uma DRF de  $2,8 \text{ cm cm}^{-3}$  (Figura 11B e 10C).

E assim nas camadas inferiores, semelhante ao observado na DRF ( $\text{g dm}^{-3}$ ), é importante destacar que a *Guarea guidonia* e a *Inga edulis* continuaram sendo as espécies com maior crescimento de raízes finas (Figura 11D e 11E). Ambas, na camada 10-20 cm apresentaram uma DRF acima de  $1,0 \text{ cm cm}^{-3}$  e na camada 20-30 cm a DRF superior a  $0,6 \text{ cm cm}^{-3}$ . Além disso, a espécie com menor crescimento de raízes finas à medida que se aumentou a profundidade de avaliação continuou sendo a *Pseudobombax grandiflorum*, com uma DRF de  $0,4 \text{ cm cm}^{-3}$  na camada 20-30 cm (Figura 10 C).



**Figura 11:** Densidade de raízes finas ( $\text{cm cm}^{-3}$ ) das espécies analisadas, sendo A: *Alchornea triplinervia*; B: *Calophyllum brasiliense*; C: *Pseudobombax grandiflorum*; D: *Guarea guidonia* e E: *Inga edulis*.

As características de crescimento de raízes finas apresentadas para todas as espécies analisadas neste trabalho, diminuindo a DRF à medida que a profundidade aumenta, são compatíveis com aqueles encontrados por Valcarcel et al (2007). Os autores encontraram a maior concentração de raízes na profundidade de 0-10 cm no solo, mostrando que este resultado pode estar associado ao acúmulo da serrapilheira nas camadas superficiais dos solos, o que corresponde a uma maior concentração de nutrientes disponibilizados pelos processos decorrentes de sua decomposição.

Navroski et al (2007) observaram o mesmo resultado em seu estudo de raízes finas em um povoamento de *Eucalyptus cloeziana* F. Muell. Os autores verificaram que quase metade da biomassa de raízes finas se concentravam nos primeiros 10 cm de solo, se diferenciando das demais profundidades, ou seja, quanto maior a profundidade, menor a quantidade de raízes finas.

No estudo conduzido por Witschoreck et al. (2003) em *Eucalyptus urophylla* S.T., ao estimar a biomassa e o comprimento de raízes finas, foi mostrado que mais de 70% das raízes finas são encontradas nos primeiros 30 cm de profundidade do solo, assim como a biomassa. Da mesma forma, os autores também observaram que quanto maior a profundidade, menor a concentração de raízes finas, indicando serem as raízes dessa camada as principais responsáveis pelos processos de absorção de nutrientes e água.

De acordo com Lopes et al. (2010), a variação na densidade de raízes finas pode estar relacionada ao genótipo das árvores, podendo ser também um comportamento resultante de modificações nutricionais e condições ambientais.

Em contrapartida para a *Inga edulis*, não foram observados os mesmos resultados no estudo de Ferraz et al (2006), em que os autores observaram que esta foi a espécie que obteve os piores resultados em relação ao crescimento, apresentando baixa produção de biomassa. Ainda segundo os autores, este resultado pode ter sido ocasionado pela espécie ter sido plantada em condições edafoclimáticas não ideais, assim como pela presença de outras espécies, podendo estas terem prejudicado a *Inga edulis* pelo aumento da competição.

No estudo de Cardoso et al. (2022), a *Inga edulis* se mostrou uma espécie facilitadora para o crescimento em consórcio com o cupuaçu, sendo esta a espécie com maior crescimento em altura e diâmetro.

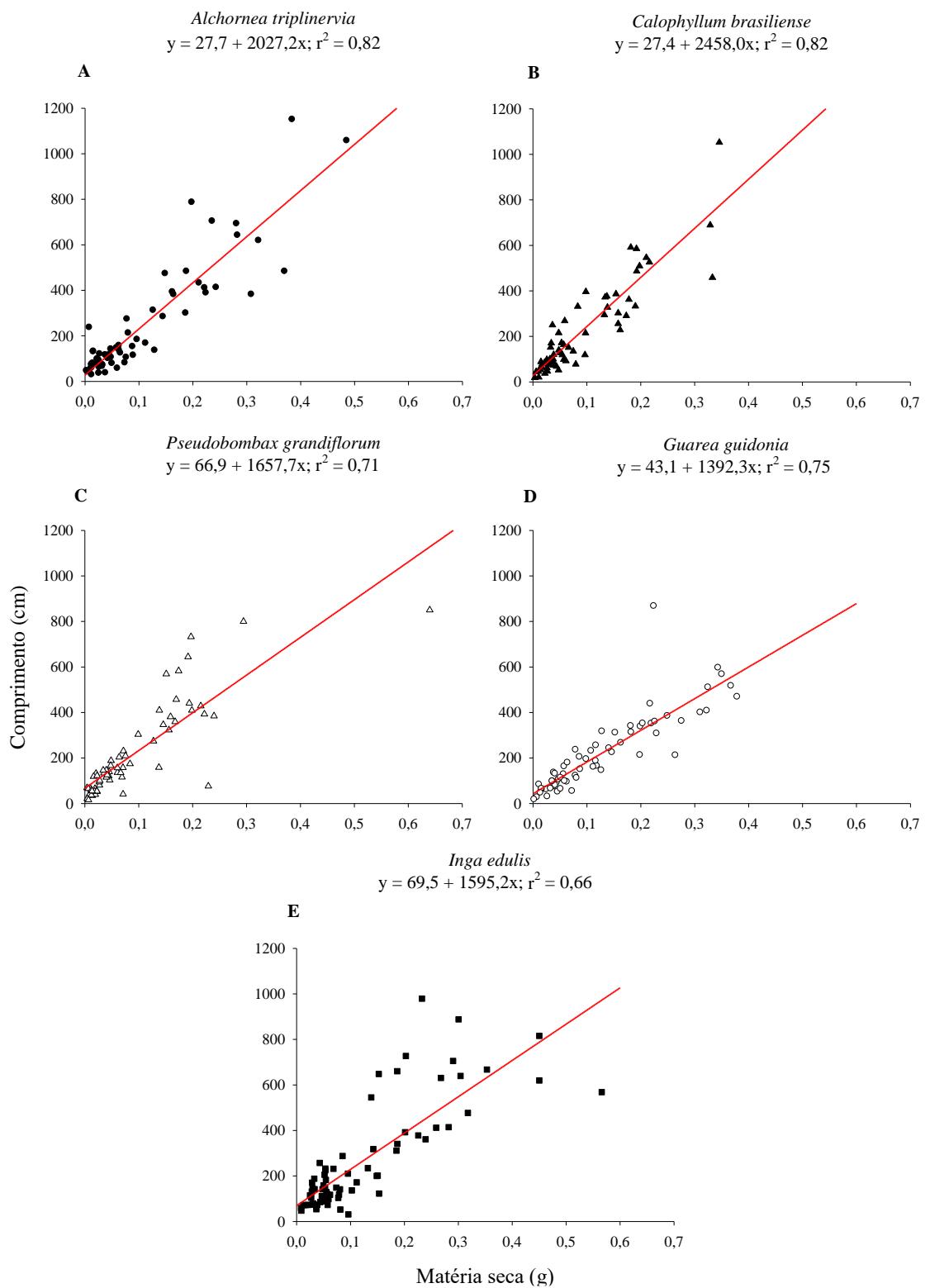
Diante desta diferença de padrão de crescimento de raízes finas em relação a DRF baseado na matéria seca ( $g\ dm^{-3}$ ) e comprimento ( $cm\ cm^{-3}$ ), foi importante analisar as diferenças na arquitetura radicular entre as espécies levando-se em consideração as relações entre matéria seca (g) / comprimento (cm) (Figura 12), matéria seca (g) / área radicular ( $cm^2$ ) (Figura 13) e matéria seca (g) / volume radicular ( $cm^3$ ) (Figura 14).

Para todas as espécies a relação foi a de quanto maior a matéria seca (g) maior foi o comprimento radicular (cm) (Figura 12). Porém, para a diferenciação entre as espécies é importante se observar a inclinação da linha linear do modelo de regressão. Diante disso, se tem dois comportamentos a destacar. O primeiro se dá diante de uma maior inclinação da linha linear em direção ao comprimento radicular. Isto representa um comportamento da espécie em que uma menor matéria seca possui maior comprimento radicular. O segundo comportamento é de uma inclinação da linha linear em direção à matéria seca. Diferente do primeiro comportamento, uma maior matéria seca significa um menor comprimento radicular.

Com isso, durante o processo de restauração florestal, a característica mais desejável será a de que uma espécie com uma relação menor matéria / maior comprimento pois apresenta uma maior capacidade de exploração do solo, do que uma espécie com uma menor relação matéria seca / comprimento. O resultado poderá ser uma característica determinante para adaptação e maior crescimento da árvore durante este processo.

Sendo assim no presente trabalho, ao se analisar a regressão linear decorrente da relação matéria seca (g) com o comprimento (cm), observou-se um padrão semelhante para a *Alchornea*

*triplinervia* e o *Calophyllum brasiliense* (Figura 12A e Figura 12B). Estas espécies, de acordo como o modelo linear, apresentaram os maiores coeficientes angulares, sendo este 2027,2 e 2458,0, respectivamente. Sendo assim, estas espécies apresentaram o maior comprimento radicular em relação a uma menor matéria seca, sendo as de maior potencial de exploração do solo. Já a *Pseudobombax grandiflorum* e a *Inga edulis* apresentaram também uma linha linear mais inclinada em direção ao comprimento radicular, porém com coeficientes angulares mais intermediários (Figura 12C e Figura 12E). Em contrapartida, a *Guarea guidonia* foi a espécie que apresentou o menor coeficiente angular (1392,3) (Figura 12D). Diferentemente, esta característica representou que uma maior matéria seca radicular da *Guarea guidonia* apresentou um menor comprimento radicular em comparação com as outras espécies. Podendo isso representar uma possível desvantagem competitiva.



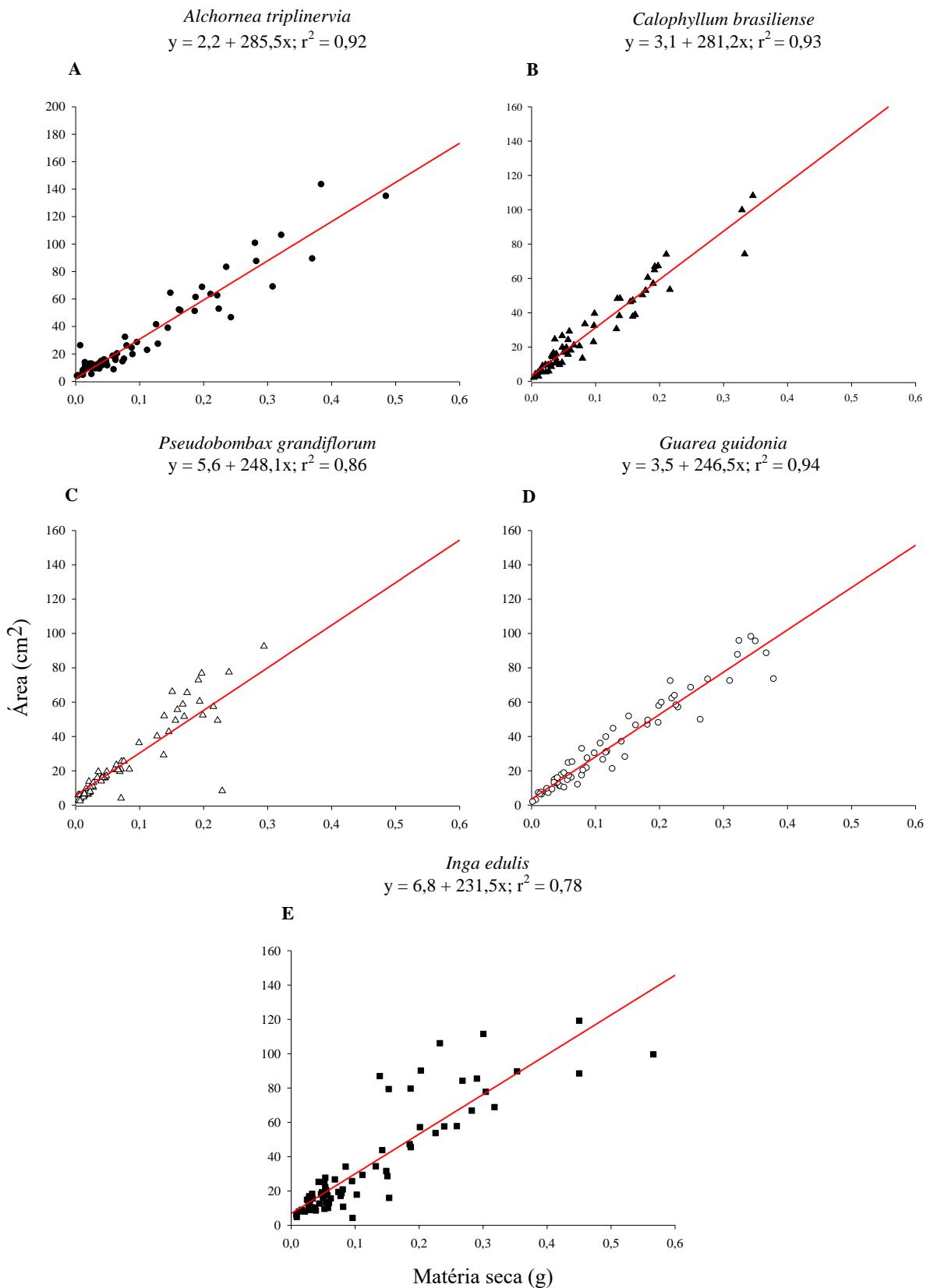
**Figura 12:** Relação entre matéria seca (g) e comprimento de raízes finas (cm) das espécies analisadas, sendo A: *Alchornea triplinervia*; B: *Calophyllum brasiliense*; C: *Pseudobombax grandiflorum*; D: *Guarea guidonia* e E: *Inga edulis*.

Seguindo o mesmo padrão descrito acima, em que para todas as espécies a relação foi positiva em que quanto maior a matéria seca (g) maior foi a área radicular ( $\text{cm}^2$ ) (Figura 13).

A área radicular ( $\text{cm}^2$ ) representa uma variável que também reflete a ocupação do solo, mas complementar ao comprimento (cm), demonstra o potencial da espécie em absorver água e nutriente. Desta forma, uma maior inclinação da linha linear em direção à área radicular em relação à matéria seca (g) representa não somente uma maior ocupação, mas também um maior potencial em absorver água e nutrientes.

Diante disso, observou-se que a *Alchornea triplinervia* e a *Calophyllum brasiliense* apresentaram os maiores coeficientes de inclinação em direção à área radicular, 285,5 e 281,2, respectivamente (Figura 13A e 13B). Já a *Inga edulis* apresentou a menor inclinação (231,5) (Figura 13E).

Sendo assim, potencialmente, a *Alchornea triplinervia* e a *Calophyllum brasiliense*, além de explorarem o solo através do sistema radicular, possuem uma maior capacidade de absorver água e nutrientes em comparação com as outras espécies analisadas, embora quando comparado a resultados de crescimento em altura, não tenham obtido resultados favoráveis. O ponto observado pode ser derivado de diversos fatores, como competitividade, ou condições edafoclimáticas não propícias ao seu desenvolvimento.

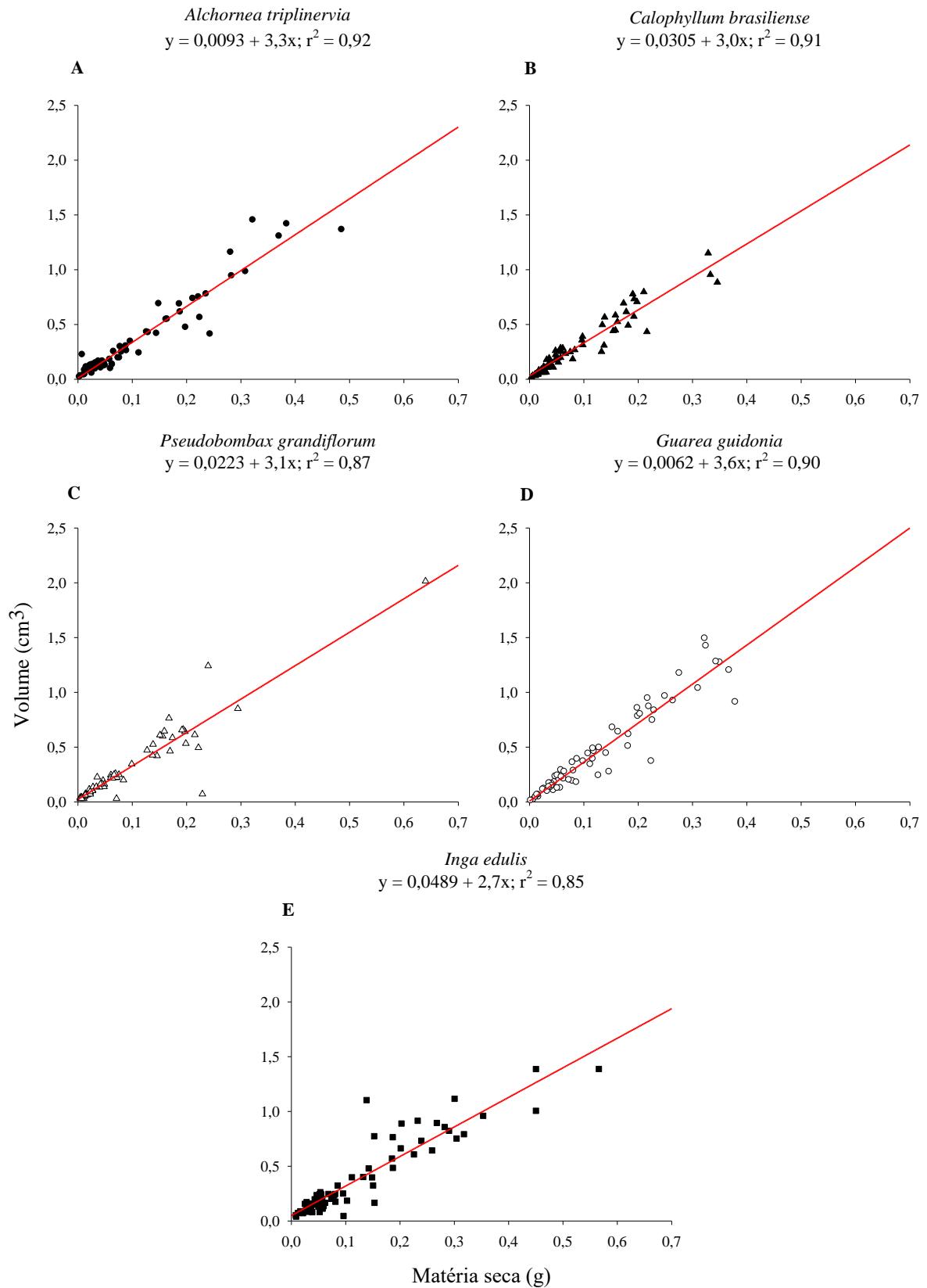


**Figura 13:** Relação entre matéria seca (g) e área de raízes finas (cm<sup>2</sup>) das espécies analisadas, sendo A: *Alchornea triplinervia*; B: *Calophyllum brasiliense*; C: *Pseudobombax grandiflorum*; D: *Guarea guidonia* e E: *Inga edulis*.

Analisando a relação linear entre a matéria seca (g) e o volume de raízes finas ( $\text{cm}^3$ ), assim como para as outras variáveis relacionadas à arquitetura radicular descritas anteriormente, observou-se que todas as espécies também apresentaram uma relação positiva, ou seja, quanto maior matéria seca (g) maior foi o volume de raízes finas ( $\text{cm}^3$ ) (Figura 14).

Esta relação reflete a densidade da raiz fina. Desta forma, quanto maior a densidade da raiz fina (mais matéria seca com menor volume), potencialmente menos eficiente será a absorção de água e nutrientes.

Diante disso, ao se analisar os modelos de regressões das espécies, observou-se um padrão semelhante entre todas elas, em que a maioria apresentou coeficientes de inclinação acima de 3. A exceção foi a *Inga edulis* cujo coeficiente de inclinação foi de 2,7. Isso significa que para esta espécie, em comparação com as outras, suas raízes são mais densas e assim menos eficientes em relação à absorção de água e nutrientes. Já a *Guarea guidonia* apresentou o maior coeficiente (3,6), ou seja, suas raízes finas são menos densas e, portanto, mais propensas a serem eficientes na absorção de água e nutrientes (Figura 14D).



**Figura 14:** Relação entre matéria seca (g) e volume de raízes finas (cm<sup>3</sup>) das espécies analisadas, sendo A: *Alchornea triplinervia*; B: *Calophyllum brasiliense*; C: *Pseudobombax grandiflorum*; D: *Guarea guidonia* e E: *Inga edulis*.

## 5 CONCLUSÃO

Para todas as espécies estudadas no presente trabalho, foi possível concluir que o crescimento de raízes finas nas profundidades analisadas foi satisfatório, demonstrando um excelente potencial adaptativo destas para o uso em áreas degradadas, o pôde ser observado através do desenvolvimento das plantas em campo.

Em geral, a *Guarea guidonia* e a *Inga edulis* foram as espécies com maior DRF ( $\text{cm}/\text{cm}^3$ ) e a *Pseudobombax grandiflorum* foi aquela com menor densidade.

As regressões lineares relacionando matéria seca (g) / comprimento (cm), evidenciaram que a *Alchornea triplinervia* e o *Calophyllum brasiliense* apresentaram o maior comprimento radicular em relação a uma menor matéria seca, sendo as de maior potencial de exploração do solo.

Já a análise das regressões lineares entre massa seca (g) / área radicular ( $\text{cm}^2$ ) mostraram que a *Alchornea triplinervia* e a *Calophyllum brasiliense* foram as espécies com maior área radicular, com menor matéria seca. Desta forma, além de explorarem satisfatoriamente o solo através do sistema radicular, possuem potencialmente alta capacidade em absorver água e nutrientes.

Em relação as regressões entre matéria seca (g) / volume de raízes finas ( $\text{cm}^3$ ), a *Inga edulis* apresentaram raízes finas mais densas em comparação com as outras espécies, sendo assim potencialmente menos eficientes em relação à absorção de água e nutrientes. Já as raízes finas da *Guarea guidonia* foram as de menor densidade, o que pode caracterizar em uma espécie mais eficiente na absorção de água e nutrientes.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRIL-SALTOS, R. V., RUIZ-VÁZQUEZ, T. E., ALONSO-LAZO, J., Cabrera-Murillo, G. M., & MERIC, O. A. Crecimiento inicial de *Eugenia stipitata*, *Inga spectabilis* e *Inga edulis* en Napo, Ecuador. **Agronomía Mesoamericana**, v.29, p.275-291, 2018.
- ALBUQUERQUE, R. P., BRANDES, A. F., Lisi, C. S., MORAES, L. F. D. D., & BARROS, C. F. Tree-ring formation, radial increment, and climate-growth relationship: assessing two potential tree species used in Brazilian Atlantic Forest restoration projects. **Trees**. v.33, 877-892, 2019.
- ALVES, T. D. S., CAMPOS, L. L., ELIAS NETO, N., MATSUOKA, M., & LOUREIRO, M. F. Biomassa e atividade microbiana de solo sob vegetação nativa e diferentes sistemas de manejos. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.33, p.341-347, 2011.
- BEHLING, M., NEVES, J. C. L., BARROS, N. F. D., KISHIMOTO, C. B., & Smit, L. Eficiência de utilização de nutrientes para formação de raízes finas e médias em povoamento de teca. **Revista Árvore**, v.38, p.837-846, 2014.
- BEHLING, M., FELIPE, R. T. A., FARIAS, J. B., CARVALHO, G. D., & NEVES, J. C. L. Relações entre parte aérea e raízes em povoamentos de teca. **Revista Ceres**, v.65, p.463-473, 2018.
- BROWN, G. G., NIVA, C. C., ZAGATTO, M. R. G., FERREIRA, S. D. A., NADOLNY, H. S., CARDOSO, G. B. X. & CARVALHO, F. **Biodiversidade da fauna do solo e sua contribuição para os serviços ambientais**, 2015.
- CALVO, T. R. et al. Phenolic compounds in leaves of *Alchornea triplinervia*: anatomical localization, mutagenicity, and antibacterial activity. **Natural product communications**, v. 5, n. 8, p. 1934578X1000500816, 2010.
- CARDOSO, J. T. A Mata Atlântica e sua conservação. **Revista Encontros Teológicos**, v. 31, n. 3, 2016.
- CARDOSO, J. F., PEREIRA, M. P., DE LIMA, A. F. B., NASCIMENTO, L. O., do Vale MOREIRA, J. G., ORTEGA, G. P., & de MORAIS, M. D. Potencialidade do *Inga edulis* Mart. como planta facilitadora ao início de desenvolvimento do cupuaçu (bris-carimbó). **South American Journal of Basic Education, Technical and Technological**, v.9(1), p.125-133, 2022.
- CARVALHO, PER. **Ingá-cipó: Inga edulis**. 2014.
- CHADA, S. S.; CAMPELLO, E. F. C.; FARIA, S. M. de. Sucessão vegetal em uma encosta reflorestada com leguminosas arbóreas em Angra dos Reis, RJ. **Revista árvore**, v. 28, p. 801-809, 2004.
- CHAVES, A. A. A.; LACERDA, M. P. C.; GOEDERT, W. J.; RAMOS, M. L. G.; KATO, E. Indicadores de qualidade de latossolo vermelho sob diferentes usos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v42, n4, p 446-454, 2012.

CYSNEIROS, V. C. et al. Diversity, community structure and conservation status of an Atlantic Forest fragment in Rio de Janeiro State, Brazil. **Biota Neotropica**, v. 15, 2015.

DA SILVEIRA NEVES, G. M.; PEIXOTO, A. L. **Florística e estrutura da comunidade arbustivo-arbórea de dois remanescentes em regeneração de floresta atlântica secundária na reserva biológica de poço das antas, Silva Jardim, Rio de Janeiro**, 2008.

DAN, M. L.; BRAGA, J. M. A.; NASCIMENTO, M. T. Estrutura da comunidade arbórea de fragmentos de floresta estacional semidecidual na bacia hidrográfica do rio São Domingos, Rio de Janeiro, Brasil. **Rodriguésia**, v. 61, p. 749-766, 2010.

DE ANDRADE, E. M., ROSA, G. Q., DE ALMEIDA, A. M. M., DA SILVA, A. G. R., & SENA, M. G. T. Dinâmica da produção de raízes finas em floresta tropical sazonalmente seca ante o regime pluviométrico. **Revista Caatinga**, v.33(2), p.458-469, 2020.

DE OLIVEIRA, V. C.; JOLY, C. A. Flooding tolerance of *Calophyllum brasiliense* Camb. (Clusiaceae): morphological, physiological and growth responses. **Trees**, v. 24, p. 185-193, 2010.

ENGEL, V. L.; PARROTTA, J. A. Definindo a restauração ecológica: tendências e perspectivas mundiais. In: KAGEYAMA, P. Y. et al. (Org.). Restauração ecológica de ecossistemas naturais. Botucatu/ SP: **Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais**, p. 3-26, 2003.

FALCÃO, M. A.; CLEMENT, C. R. Fenologia e produtividade do Infá-Cipó (*Inga edulis*) na Amazônia Central. **Acta amazônica**, v. 30, p. 173-180, 2000.

GAMA, J. R. V., BOTELHO, S. A., BENTES-GAMA, M. D. M., & SCOLFORO, J. R. S. Estrutura e potencial futuro de utilização da regeneração natural de floresta de várzea alta no município de Afuá, Estado do Pará. **Ciência Florestal**, v.13, p.71-82, 2003.

GONÇALVES, J.L.M.; MELLO, S.L.M. **O sistema radicular das árvores**. In: **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba/SP, 2000.

GONÇALVES, W. G., JIMENEZ, R. L., ARAÚJO FILHO, J. V. D., ASSIS, R. L. D., SILVA, G. P., & PIRES, F. R. Sistema radicular de plantas de cobertura sob compactação do solo. **Engenharia Agrícola**, v.26, p.67-75, 2006.

HOLL, K. D. Effects of above-and below-ground competition of shrubs and grass on *Calophyllum brasiliense* (Camb.) seedling growth in abandoned tropical pasture. **Forest ecology and management**, v. 109, n. 1-3, p. 187-195, 1998.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE), “**Em 2014, Mata Atlântica era o bioma com maior número de espécies ameaçadas de extinção**”, 2020.

JUSTINO, G. C., OMENA-GARCIA, R. P., DOS SANTOS, A. M. S., DE CAMARGOS, L. S., SODEK, L., & GONÇALVES, J. F. D. C. Nitrogen used strategies of nodulated amazonian legume: *Inga edulis*. **Journal of Tropical Forest Science**, p.1-9, 2017.

KÄMPF N.; CURI N. **Conceito de Solo e sua Evolução Histórica**. Sociedade brasileira de ciência do solo, Pedologia Fundamentos, 2015.

LACLAU, J. P.; TOUTAIN, F.; M'BOU, A. T.; ARNAUD, M.; JOFFRE, R.; RANGER, J. The function of the superficial root mat in the biogeochemical cycles of nutrients in Congolese Eucalyptus plantations. **Annals of Botany**, v. 93, p.249-261, 2004.

LOJKA, B., Dumas, L., PREININGER, D., POLESNY, Z., & BANOUT, J. The use and integration of *Inga edulis* in agroforestry systems in the Amazon-review article. **Agricultura Tropica et Subtropica**, v.43, n.4, p. 352-359, 2010.

LOPES, J. C., MATHEUS, M. T., CORRÊA, N. B., & SILVA, D. D. Germinação de sementes de embiruçu (*Pseudobombax grandiflorum* (Cav.) A. Robyns) em diferentes estádios de maturação e substratos. **Floresta**, v.38, n.2, p.331-337, 2008.

LOPES, V. G., SCHUMACHER, M. V., CALIL, F. N., VIERA, M., & WITSCHORECK, R. Quantificação de raízes finas em um povoamento de *Pinus taeda* L. e uma área de campo em Cambará do Sul, RS. **Ciência Florestal**, v.20, p.569-578, 2010.

MARQUES, M.; JOLY, C. A. Germinação e crescimento de *Calophyllum brasiliense* (Clusiaceae), uma espécie típica de florestas inundadas. **Acta Botanica Brasilica**, v. 14, p. 113-120, 2000.

MARTINS, S. V., FONSECA, W. S., ANDRADE, C. F., BARROS, R. S., PAIVA, J. M., SILVA, C. H., & BRITO, M. A. F. **Reflorestamento com mudas altas: uma inovação da restauração florestal na mineração de bauxita em Minas Gerais**. Engenharia florestal: contribuições, análises e práticas em pesquisa. Guarujá: Editora Científica Digital. 2022.

MOLEDO J. C.; SAAD A. R.; DALMAS F. B.; ARRUDA R. O. M.; CASADO F. **Impactos ambientais relativos à silvicultura de eucalipto: uma análise comparativa do desenvolvimento e aplicação no plano de manejo florestal**, 2016.

NAVROSKI, C. M.; BIALI, J. L.; BIANCHIN, E. J.; CAMARGO, L.; SCHUMACHER, V. M. Quantificação de biomassa e comprimento de raízes finas em povoamento de *Eucalyptus cloeziana* F. Muell. Recife/PE, **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.5 n.4 p.535-540, 2010.

NYGREN, P., LEBLANC, H. A., Lu, M., & GÓMEZ LUCIANO, C. A. Distribution of coarse and fine roots of *Theobroma cacao* and shade tree *Inga edulis* in a cocoa plantation. **Annals of forest science**, v.70, p.229-239, 2013.

OLIVEIRA, R. R., SOLÓRZANO, A., SALES, G. D. S., OLIVEIRA, M. B. D., & SHEEL-YBERT, R. Ecologia histórica de populações da carrapeta (*Guarea guidonia* (L.) Sleumer) em florestas de encosta do Rio de Janeiro. **Pesquisas Botânica**, v.64, p.323-339, 2013.

PACHECO, L. P., MIGUEL, A. S. D. C. S., BONFIM-SILVA, E. M., SOUZA, E. D. D., & SILVA, F. D. D. Influência da densidade do solo em atributos da parte aérea e sistema radicular de crotalária. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.45, p.464-472, 2015.

VIEIRA P. S., DOS SANTOS R. L., EUGENIA PEREIRA C. G., SANTOS M. B. C., GUEDES V. H. F. Amostragem de solo sob mata atlântica em regeneração para fins de fertilidade. **Revista Geama**, Scientific Journal of Environmental Sciences and Biotechnology, v. 6, p. 5-11, 2020.

PENTEADO, H. M. et al. A onça no condomínio: o papel dos corredores ecológicos urbanos. **Revista de Morfologia Urbana**, v. 7, n. 2, p. e00109-e00109, 2019.

PRIMO P. B. & VÖLKER C. M. **Bacias hidrográficas dos rios São João e das Ostras - águas, terras e conservação ambiental**. Rio de Janeiro, CILSJ, 2003.

PÜTZ, S. et al. Fragmentation drives tropical forest fragments to early successional states: a modelling study for Brazilian Atlantic forests. **Ecological Modelling**, v. 222, n. 12, p. 1986-1997, 2011.

RANTA, P., BLOM, T. O. M., NIEMELA, J. A. R. I., JOENSUU, E., & SIITONEN, M. The fragmented Atlantic rain forest of Brazil: size, shape and distribution of forest fragments. **Biodiversity & Conservation**, v. 7., p.385-403, 1998.

RIBEIRO, M. C., MARTENSEN, A. C., METZGER, J. P., TABARELLI, M., SCARANO, F., & FORTIN, M. J. **The Brazilian Atlantic Forest: a shrinking biodiversity hotspot. Biodiversity hotspots: distribution and protection of conservation priority areas**, p.405-434, 2011.

RIBEIRO, M. C. et al. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological conservation**, v. 142, n. 6, p. 1141-1153, 2009.

RÔÇAS, G.; SCARANO, F. R.; BARROS, C. F. Leaf anatomical variation in *Alchornea triplinervia* (Spreng) Müll. Arg.(Euphorbiaceae) under distinct light and soil water regimes. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 136, n. 2, p. 231-238, 2001.

RODRIGUES, M. A. **Ecofisiologia e aspectos morfológicos de frutos, sementes e plântulas de Alchornea triplinervia (Spreng.) Mull. Arg.(Euphorbiaceae) e Eugenia umbelliflora O. Berg.(Myrtaceae)**, 2012.

RODRIGUES, R. R.; GANDOLFI, S.; BRANCALION, P. H. S. **Restauração florestal**. Oficina de Textos, 2015.

SALTON, J. C.; TOMAZI, M. **Sistema radicular de plantas e qualidade do solo**. 2014.

SANTOS, D. L.; SCHLINDWEIN, L. S.; FANTINI, C. A.; HENKES, A. J.; BERDERRAIN, N. C. M. Dinâmica do desmatamento da mata atlântica: causas e consequências. **Revista Gestão e sustentabilidade ambiental**, Florianópolis, v.9, n. 3, p. 378-402, 2020.

SCARANO, F. R., BARROS, C. F., LOH, R. K. T., MATTOS, E. A. D., & Wendt, T. Plant morpho-physiological variation under distinct environmental extremes in restinga vegetation. **Rodriguésia**, v.60, p.221-235, 2009.

SILVA, R. A., PEREIRA, J. A. A., de BARROS, D. A., DE OLIVEIRA NASCIMENTO, G., & BORGES, L. A. C. Análise da conectividade estrutural frente às atividades econômicas na mata atlântica. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, v.15, n.1, 2017.

SOUZA, G. N. B., C. C. S., da SILVA, D. J. V., VASCONCELOS, S., & de ARAUJO, A. C. **Produção de raízes finas em ecossistema de floresta na Amazônia Oriental**. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, SBCS, v. 36, 2017.

STEFANOSKI, D. C., SANTOS, G. G., MARCHÃO, R. L., PETTER, F. A., & PACHECO, L. P. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, v.17, p.1301-1309, 2013.

TABANEZ, A. A. J.; VIANA, V. M. Patch structure within Brazilian Atlantic forest fragments and implications for conservation 1. **Biotropica**, v. 32, n. 4b, p. 925-933, 2000.

TABARELLI, M.; PINTO, P. L.; SILVA, M. J.; HIROTA, M. M.; BEDÊ, C. L. Desafios e oportunidades para a conservação da biodiversidade na mata atlântica. **Megadiversidade**, v.1, n. 1, 2005.

TAKIZAWA F. H. **Levantamento pedológico e zoneamento ambiental da Reserva Biológica de Poço das Antas**. Monografia de Graduação. Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz/ USP, Piracicaba, p.56, 1995.

VALCARCEL, R., VALENTE, F. D. W., MOROKAWA, M. J., CUNHA NETO, F. V., & PEREIRA, C. R. Avaliação da biomassa de raízes finas em área de empréstimo submetida a diferentes composições de espécies. **Revista Árvore**, v.31, p.923-930, 2007.

WITSCHORECK, R.; SCHUMACHER, M. V.; CALDEIRA, M. V. W. Estimativa da biomassa e do comprimento de raízes finas em *Eucalyptus urophylla* s.t. Blake no município de Santa Maria/RS. **Revista Árvore**, v.27, n.2, p. 177-183, 2003.

ZAMITH, L. R.; SCARANO, F. R. Restoration of a restinga sandy coastal plain in Brazil: survival and growth of planted woody species. **Restoration Ecology**, v. 14, n. 1, p. 87-94, 2006.