



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

CLARISSA CARVALHO SANTANA

**EFEITO DE SUBSTRATOS NA EMERGÊNCIA DE PLÂNTULAS E NO
CRESCIMENTO INICIAL DE MUDAS DE *Cybistax antisyphilitica* (Mart.) Mart.,
Anadenanthera colubrina (Vell.) Brenan E *Melanoxylum brauna* Schott.**

Pesquisadora Dra. **MARIA ELIZABETH FERNANDES CORREIA**
Orientador

Pesquisadora Dra. **JULIANA MÜLLER FREIRE**
Coorientadora

SEROPÉDICA, RJ
JUNHO – 2025



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

CLARISSA CARVALHO SANTANA

**EFEITO DE SUBSTRATOS NA EMERGÊNCIA DE PLÂNTULAS E NO
CRESCIMENTO INICIAL DE MUDAS DE *Cybistax antisiphilitica* (Mart.) Mart.,
Anadenanthera colubrina (Vell.) Brenan E *Melanoxylum brauna* Schott.**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal, como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Florestal, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Pesquisadora Dra. **MARIA ELIZABETH FERNANDES CORREIA**
Orientadora

Pesquisadora Dra. **JULIANA MÜLLER FREIRE**
Coorientadora

SEROPÉDICA, RJ
JUNHO – 2025

**FEITO DE SUBSTRATOS NA EMERGÊNCIA DE PLÂNTULAS E NO
CRESCIMENTO INICIAL DE MUDAS DE *Cybistax antisyphilitica* (Mart.) Mart.,
Anadenanthera colubrina (Vell.) Brenan E *Melanoxylum brauna* Schott.**

CLARISSA CARVALHO SANTANA

APROVADA EM: 17/06/2025

BANCA EXAMINADORA:

Documento assinado digitalmente
 **MARIA ELIZABETH FERNANDES CORREIA**
Data: 07/07/2025 09:12:18-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Pesquisadora Dra. **MARIA ELIZABETH FERNANDES CORREIA** – EMBRAPA
AGROBIOLOGIA
Orientadora

JOSÉ CARLOS ARTHUR JUNIOR – UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
Membro

ÉRIKA FLÁVIA MACHADO PINHEIRO – UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
Membro

A Deus, pelo presente concedido.
A Ele, toda honra e glória. A Nilson,
Rosimere e Lorena, que tornaram esse
presente mais feliz, mais real, mais meu.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ser luz nos meus caminhos, por clarear minha mente nos momentos de dúvida e por me permitir seguir firme, mesmo diante dos tropeços. A Ele, minha eterna gratidão pelo presente que recebi em 2019, ao ingressar em uma Universidade Federal, em um curso que mal conhecia, mas que logo comprehendi: **estava escrito para mim**. A Ele, minha reverência por me fazer enxergar a beleza, a sabedoria e a importância de cada aprendizado ao longo desta jornada. Por despertar em mim um amor profundo pela natureza e a consciência de que este vínculo é, antes de tudo, espiritual. Gratidão eterna ao meu Criador, por cuidar de mim, me guiar pelos melhores caminhos e me presentear com oportunidades únicas, inimagináveis. Obrigada pela alma florestal que me foi concedida, que cresce e fica mais curiosa a cada descoberta, e por tudo que me tornei até aqui. Que eu nunca me esqueça da origem desse dom.

À minha família, que sempre me apoiou e investiu em minha educação da melhor maneira possível, reforçando continuamente a importância da busca por conhecimento, valores e práticas para o meu crescimento pessoal e profissional. À minha mãe, Rosimere, meu portal para essa vida, minha base. Obrigada por cada passagem de ônibus, cada marmita preparada, e todo o amor manifestado em gestos de cuidado, afeto e sensibilidade com a natureza que me inspira desde criança. Ao meu pai, Nilson, agradeço por cada esforço, cada impulso, cada vez que acreditou em mim mais do que eu mesma. Cada vez que, com sua paciência admirável, me tranquilizou e me ensinou que a vida segue do jeito que tem que seguir, e o que nos resta é tentar fazer as escolhas corretas com o máximo de excelência, mas que se errar, tudo bem também. Gratidão pelo amor, pelos esforços e por sempre me impulsionar a seguir em frente. Obrigada por ser força, poesia e música em minha vida. À minha irmã Lorena, cuja presença foi essencial para que essa caminhada continuasse e chegasse até aqui. Obrigada pelo amor, amizade, apoio e incentivo constante. Sem você, talvez a caminhada tivesse sido interrompida antes mesmo de encontrar o seu rumo. Obrigada por ser vida e me ajudar a viver! À minha Tia São, por ser minha segunda mãe e me apoiar em casa passo. Por toda ajuda, amor e carinho desde sempre.

Ao meu namorado Brent, que sempre viu com poesia e amarelo essa minha caminhada científica/florestal, me incentivando com arte e prosas inteligentes. Obrigada por transformar em beleza os dias de estresse, e por caminhar ao meu lado com visão e a mesma vontade de crescer. Sua presença é conforto. Sua inteligência é aroma que inspira.

Ao Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, aos professores, técnicos e demais colaboradores que, de alguma forma, esbarraram comigo e contribuíram para a minha formação. Obrigada por me formar Floresteira. À Flora Júnior, que me capacitou e me trouxe visão para o mundo empresarial na engenharia florestal e me proporcionou grandes oportunidades e aprendizados que vou levar para a vida.

Meu agradecimento especial ao técnico do viveiro de mudas do IF, Sebastião, que se tornou um dos pilares da minha trajetória no curso. Obrigada pelos cafés, cocadas, almoços, conselhos, ensinamentos sobre plantas e pela amizade construída ao longo da graduação. Levarei seus ensinamentos para toda a vida, Seu Tião. Amo você!

À minha amiga Ana Lidia, com quem dividi não só a graduação, mas uma trajetória de cumplicidade, risos e superações. Obrigada por estar ao meu lado nos momentos de alegria e nos perrengues, por cada conversa, apoio e companhia nos dias difíceis. Sua amizade foi um presente de Deus que tornou essa caminhada mais leve e divertida. À minha amiga Ana Beatriz, obrigada por topar essa jornada na Floresta comigo, por seu coração generoso e pela amizade que desejo cultivar por toda a vida. Do ensino médio para a vida! À minha amiga Thainá Almeida, por ser essa mulher forte e inspiradora. Obrigada por cada momento compartilhado, pelas conversas, risadas e aprendizados ao longo da caminhada. À minha prima Gabriela, por me ver como Engenheira Florestal, sem mesmo antes ser, e por acreditar em mim e me apoiar

tanto. À minha prima Nathália, que desde sempre esteve por aqui. Obrigada pelas conversas em inglês e outras prosas inteligentes que contribuíram muito na minha jornada.

Aos professores que inspiraram e marcaram minha jornada: Tiago Breier, por dedicar seu tempo ao meu crescimento, oferecendo oportunidades valiosas que contribuíram para minha evolução pessoal e profissional. Obrigada pelas trocas sinceras, pelo Cine Guandu, Fiocruz Mata Atlântica, Rebio Araras e tantos outros espaços que pude conhecer e aprender graças às portas que você abriu. Obrigada por me inspirar e por enxergar em mim potencial. Seu olhar de admiração me deu coragem; Jerônimo Boelsums, por sua orientação atenta e experiente, por sua escuta sensível e por tantos momentos marcantes. Obrigada por Diamantina, Juazeiro/Petrolina, SOBRE, a orientação com e-book da Flora Jr., os campos na AMLD... Cada oportunidade foi aprendizado e inspiração. Obrigada por me mostrar, com humildade e sabedoria, o tipo de profissional que desejo ser um dia; André Felipe Nunes-Freitas, por seu brilho como educador e ser humano, e por me inspirar a trilhar o caminho da ciência com paixão. Obrigada por todas as palavras positivas, por enxergar em mim aquilo que, tantas vezes, me escapava. Por me chamar de cientista, até que eu mesma acreditasse. Hoje posso dizer, com segurança e orgulho: eu sou uma cientista. Sua amizade e carinho deixaram marcas bonitas em minha jornada; José Carlos Arthur Junior, por abrir as portas do viveiro de mudas do IF e possibilitar a descoberta da minha paixão pela produção de plantas. Pela oportunidade vivida em Itatinga-SP, e por sempre me olhar com admiração e incentivo, e ainda, por me dar a honra de ser membro da banca avaliadora deste trabalho; Alexandre Monteiro, por sua alegria contagIANTE e seu amor pela profissão, que me inspiraram a ver com outros olhos o universo dos produtos florestais madeireiros. Por ter aceitado levar tantos alunos à Expo Forest, tornando possível uma experiência e aprendizados inesquecíveis. Obrigada por ter esbarrado por aqui; À Érika Machado Pinheiro, por integrar a banca avaliadora deste trabalho e por me inspirar com sua experiência e entusiasmo pelo que estuda e ensina. Obrigada por contagiar e despertar em mim amor e curiosidade pelos estudos com matéria orgânica; À Natane Amaral, por ser essa profissional organizada e direcionada que inspira tanto. Obrigada pelos conselhos e direcionamentos, sua presença e orientação fizeram diferença no meu caminho.

E, com especial carinho, agradeço aos pesquisadores da Embrapa Agrobiologia, Juliana Müller Freire, Luiz Fernando Duarte de Moraes e Maria Elizabeth Fernandes Correia, que me acolheram com confiança e me apresentaram ao fascinante mundo da ciência. Vocês foram inspiração e impulso para que eu reconhecesse minha paixão pela pesquisa e desejasse trilhar esse caminho com mais coragem e clareza. Juliana, obrigada por abrir as portas para mim e por tantos ensinamentos preciosos ao longo da jornada. Luiz, gratidão por me ensinar tudo o que eu sei sobre restauração ecológica e por me mostrar, com tanta experiência, que a vida é um exercício contínuo de aprendizado. Sigamos, positivo e operante! Te admiro demais. Beth, gratidão por tudo. Por acreditar em meu potencial, por me dar autonomia e voz para fazer escolhas e desenvolver minha curiosidade, por ser essa pesquisadora e orientadora de referência. Obrigada por me direcionar com excelência e me mostrar a pesquisadora que um dia quero me tornar! Gratidão ao técnico de laboratório Roberto Silva, cuja colaboração foi essencial durante minha trajetória na Embrapa. Obrigada, Robertinho, por toda a ajuda e pela amizade ao longo do caminho. Ao Marcelo Antoniol, analista da Embrapa Agrobiologia, minha gratidão por todos os "esporros", ensinamentos e risadas. Se hoje sei me portar dentro de um laboratório, é graças a você, e à forma direta (e eficaz) com que orienta. Aos meus amigos do Laboratório de Leguminosas, Ariani, Isabelly e Davi, por todos os momentos compartilhados, aprendizados e perrengues vividos. Sem vocês, teria sido tudo bem menos leve. Aos meus colegas pós-graduandos do Laboratório de Fauna do Solo, meu reconhecimento e admiração pelos aprendizados. Ao Dr. Luiz Fernando de Sousa, amigo de laboratório, agradeço especialmente pela contribuição significativa para o desenvolvimento e qualidade desta monografia. E a todos os colaboradores e colegas da Embrapa Agrobiologia que, de alguma

forma, fizeram parte da minha caminhada: meu muito obrigada. À Embrapa Agrobiologia, minha gratidão, por ser solo fértil que me formou Cientista.

Gratidão a todos que, de alguma forma, contribuíram, inspiraram, iluminaram essa caminhada verde floresta!

No mais, viva à ciência!

BIOGRAFIA

Clarissa Carvalho Santana, mulher preta, nascida em 3 de maio de 2001 no Rio de Janeiro, RJ. É filha de Nilson Silva Santana e Rosimere Carvalho Santana. Concluiu o ensino médio no CIEP Brizolão 435 Hélio Pellegrino em 2018 e ingressou no curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) em 2019.

Durante sua formação, participou da vivência acadêmica no viveiro de mudas do Instituto de Florestas da UFRRJ e realizou estágio obrigatório na Embrapa Agrobiologia na área de produção e tecnologia de sementes florestais. Foi bolsista em três projetos de Iniciação Científica pelo CNPq, todos desenvolvidos na Embrapa Agrobiologia. Um dos projetos teve foco no estudo de atributos funcionais na restauração ecológica, enquanto os outros dois abordaram a avaliação de substrato orgânico obtido a partir do processamento de resíduos por diplópodes, com ênfase na produção de mudas florestais. Realizou estágio de férias na Estação Experimental de Ciências Florestais em Itatinga (SP) da Universidade Estadual de São Paulo, campus ESALQ.

Demonstrou interesse especial pelas áreas de conservação da natureza, ecologia funcional, restauração ecológica e produção de mudas. Atuou na Empresa Júnior de Engenharia Florestal por um ano e meio, desempenhando funções nas áreas de projetos e marketing.

Submeteu trabalhos científicos a eventos acadêmicos, como a V Conferência de Restauração Ecológica, participou de dois concursos promovidos pelo Comitê Guandu (Cine Guandu), entre outras atividades.

Tem como meta profissional ingressar em um programa de mestrado, seguido pelo doutorado, com o objetivo de atuar na área acadêmica, especialmente com pesquisa científica, contribuindo para o desenvolvimento da ciência no Brasil.

RESUMO

O uso de substratos orgânicos sustentáveis e de qualidade reconhecida é essencial na produção de mudas florestais nativas. Diante do aumento da demanda por projetos de restauração ecológica e da urgência na gestão adequada dos resíduos orgânicos, torna-se fundamental adotar alternativas eficientes, acessíveis e ambientalmente responsáveis. A gongocompostagem, conduzida pela atividade de diplópodes (gongolos), transforma resíduos vegetais recalcitrantes em composto orgânico estável (gongocomposto), configurando-se como uma solução inovadora. O biossólido, proveniente do lodo de esgoto, também apresenta potencial como substrato viável. Este estudo teve como objetivo avaliar a eficiência do gongocomposto e do biossólido, comparando-os a um substrato convencionalmente utilizado em viveiros, na produção de mudas de *Cybistax antisyphilitica* (Mart.) Mart. (ipê-verde), *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan (angico-branco) e *Melanoxylum brauna* Schott. (braúna). Foram analisadas variáveis de emergência (taxa de emergência, índice de velocidade de emergência e tempo médio de emergência) e crescimento (altura e diâmetro do colo) durante os três primeiros meses. Diferenças significativas foram observadas para a maioria dos parâmetros nas espécies *A. colubrina* e *C. antisyphilitica*. O gongocomposto favoreceu a emergência das plântulas, enquanto o biossólido promoveu maior crescimento. Para a braúna, a ausência de diferenças significativas pode indicar sensibilidade a doenças radiculares, possivelmente independentes do substrato utilizado. Conclui-se que o gongocomposto influencia positivamente a emergência das plântulas, enquanto o biossólido favorece o crescimento e o estabelecimento das mudas. Ambos os substratos demonstram potencial como alternativas sustentáveis para a produção de mudas florestais. Estudos futuros devem buscar o ajuste das características físicas e químicas do gongocomposto e investigar os possíveis fatores patogênicos que afetam o desenvolvimento da braúna.

Palavras-chave: Gongocomposto, Biossólido, Angico-branco, Ipê-verde, Braúna.

ABSTRACT

The use of high-quality, sustainable organic substrates is essential for producing native forest seedlings. With increasing demand for ecological restoration projects and the urgent need for proper organic waste management, it is crucial to adopt efficient, accessible, and environmentally friendly alternatives. Millicomposting, a process driven by diplopods (millipedes), transforms recalcitrant plant residues into a stable organic compound (millicompost) and emerges as an innovative solution. Biosolids, derived from sewage sludge, also present potential as a viable substrate. This study aimed to evaluate the effectiveness of millicompost and biosolids compared to a conventional nursery substrate in producing *Cybistax antisiphilitica* (Mart.) Mart., *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan, and *Melanoxylum brauna* Schott. seedlings. Emergence (emergence rate, emergence speed index, and mean emergence time) and growth (height and collar diameter) variables were assessed up to three months. Significant differences were observed in most parameters for *A. colubrina* and *C. antisiphilitica*. Millicompost enhanced seedling emergence, showing superior results in two emergence parameters, while biosolids promoted greater growth. For *M. brauna*, the lack of significant results may indicate sensitivity to root diseases, possibly unrelated to substrate type. In conclusion, millicompost positively influences seedling emergence, and biosolids support growth and establishment of native species. Both substrates show promise as sustainable alternatives in forest seedling production. Further studies should refine the physical and chemical properties of millicompost to optimize its performance and investigate the root health issues observed in *M. brauna*.

Keywords: Millicompost, Biosolid, Angico-branco, Ipê-verde, Braúna

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	2
2.1. Resíduos sólidos orgânicos e compostagem.....	2
2.2. Substratos para a produção de mudas florestais nativas.....	3
2.3. Gongocomposto.....	4
2.4. Biossólido	4
2.5. <i>Cybistax antisyphilitica</i> (Mart.) Mart. – Ipê-verde.....	5
2.6. <i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan – Angico-branco.....	6
2.7. <i>Melanoxylum brauna</i> Schott. – Braúna	6
3. MATERIAL E MÉTODOS	6
3.1. Substratos – Tratamentos	6
3.2. Análises das propriedades físicas, físico-químicas e químicas dos substratos.....	8
3.3. Local do experimento, delineamento experimental e parâmetros avaliados	11
3.4. Análises estatísticas	17
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	18
4.1. Propriedades físicas dos substratos avaliados	18
4.2. Propriedades físico-químicas e químicas dos substratos avaliados	19
4.3. <i>Cybistax antisyphilitica</i> (Mart.) Mart. – Ipê-verde.....	22
4.4. <i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan – Angico-branco.....	26
4.5. <i>Melanoxylum brauna</i> Schott. – Braúna	30
4.6. Visão geral	33
5. CONCLUSÃO	34
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	34
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	35

1. INTRODUÇÃO

A exploração contínua dos recursos naturais tem causado perdas significativas de habitat e extinções, comprometendo a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos dos quais a humanidade depende (LUCK; DAILY; EHRLICH, 2003). Diante disso, iniciativas globais têm ganhado destaque, como a Década da Restauração de Ecossistemas (2021–2030), proclamada pela Organização das Nações Unidas (ONU), que visa a recuperação da biodiversidade, saúde e integridade dos ecossistemas, promovendo também o bem-estar humano (FAO, 2021). Segundo Brancalion *et al.* (2010), o principal objetivo da restauração é restabelecer florestas autossustentáveis, sem a necessidade de intervenções humanas constantes. Quando bem planejada, a restauração ecológica pode proteger a biodiversidade, garantir a manutenção das funções ecológicas e aumentar a resiliência dos ecossistemas (GANN *et al.*, 2019). Isso reforça a importância de pesquisas voltadas à produção de mudas de forma econômica e sustentável, visando atender às demandas de projetos de restauração e recuperação de áreas (JOSÉ; DAVIDE; OLIVEIRA, 2005; KRATKA; CORREIA, 2015).

A produção de mudas desempenha um papel crucial na cadeia de restauração ecológica e na execução de projetos de recuperação de áreas degradadas. As mudas servem como unidades fundamentais para o estabelecimento e a regeneração de ecossistemas. O sucesso dos plantios de restauração depende da qualidade das mudas utilizadas, sendo necessário o uso de indivíduos vigorosos e bem desenvolvidos (GROSSNICKLE, 2012). Para tanto, de acordo com Cunha *et al.* (2005) é essencial o desenvolvimento de protocolos que permitam a produção de mudas de alta qualidade em menos tempo e com recursos acessíveis, especialmente para pequenos e médios produtores rurais e viveiristas florestais. A qualidade das mudas é influenciada por fatores como recipiente, sementes e, especialmente, o substrato (CALDEIRA *et al.*, 2012).

Nesse cenário, torna-se urgente promover o uso de substratos ecológicos e sustentáveis, considerando o aumento da geração de resíduos sólidos em virtude do crescimento populacional e da intensificação agrícola. Estima-se que, globalmente, são geradas cerca de 140 bilhões de toneladas de resíduos de biomassa agrícola por ano (SINGHANIA; PATEL; PANDEY, 2017). Esse aumento exige soluções eficientes de gerenciamento, incluindo o reaproveitamento desses resíduos (CAPANEMA; PIMENTEL, 2018), o que se alinha aos princípios da economia circular e contribui para a redução da poluição ambiental, incluindo odores desagradáveis e emissões de gases de efeito estufa (GEE) (KHAROLA *et al.*, 2022).

Para abordar as questões voltadas à problemática dos resíduos, foi instituída a Lei nº 12.305/2010, que estabeleceu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), definindo princípios e diretrizes para a gestão integrada dos resíduos e enfatizando que a disposição final em aterros deve ser apenas para rejeitos, ou seja, resíduos que não podem ser reutilizados e reciclados (BRASIL, 2010). Como resultado, diversas entidades, como empresas e instituições de ensino e pesquisa têm colaborado em pesquisas e projetos que visam a utilização de resíduos, especialmente orgânicos, para a produção de compostos. A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Unidade Agrobiologia, instituição pública que pesquisa e inova na área agrícola, é um exemplo de entidade que tem como uma de suas pesquisas, o uso de substratos orgânicos eficientes e sustentáveis na agricultura orgânica.

Tradicionalmente, o traço de viveiro (terra de subsolo, areia e esterco) é amplamente utilizado por seu baixo custo. No entanto, sua composição requer adubações complementares e envolve extração de recursos naturais, o que gera impactos ambientais. Alternativas inovadoras como a gongocompostagem, baseada na ação dos diplópodes - vulgarmente conhecidos como gongolos, piolhos-de-cobra, embuás etc. (ANTUNES *et al.*, 2018), surgem como opção para o processamento de resíduos vegetais. Esses animais que compõem a fauna no solo, desempenham um papel fundamental na decomposição da matéria orgânica vegetal (resíduos

de poda, frutos, folhas etc.), transformando-a em peletes fecais (gongocomposto), um composto orgânico que reúne características físicas, químicas e fisico-químicas diferentes do material de origem, como uma relação carbono/nitrogênio menor que 20, que conferem qualidade para uso como componente para formulação de substrato para plantas (ANTUNES *et al.*, 2016, 2018). Embora os estudos sobre o tema ainda sejam incipientes, pesquisas na Índia (RAMANATHAN; ALAGESAN, 2012) e no Brasil, pela Embrapa, têm evidenciado o potencial desse composto na produção de mudas de hortaliças.

Uma alternativa relevante é o biossólido, ou lodo de esgoto, que pode ser usado como substrato na produção de mudas nativas da Mata Atlântica. Rico em matéria orgânica, nitrogênio e fósforo, ele se destaca como condicionador de solo (BROFAS; MICHOPPOULOS; ALIFRAGIS, 2000), sendo eficiente na redução de resíduos urbanos e na promoção da sustentabilidade (CABREIRA, 2017; SILVA *et al.*, 2022). Diante disso, a utilização do biossólido na produção de mudas é vista como uma estratégia que não apenas reduz a quantidade de resíduos destinados a aterros, mas também beneficia a sociedade ao promover a recuperação ambiental e a sustentabilidade.

Os substratos mencionados como alternativa sustentável, contribuem para uma gestão eficaz dos resíduos orgânicos e promovem o desenvolvimento sustentável, mostrando-se como potenciais alternativas para a produção de mudas. Ademais, não há registros na literatura sobre estudos que explorem o uso do gongocomposto e seus benefícios na produção de mudas nativas florestais.

Diante do exposto, o presente estudo teve como objetivo avaliar a eficiência de dois substratos orgânicos (gongocomposto e biossólido), comparando-os com um substrato convencionalmente utilizado em viveiro (mistura de terra argilosa, esterco curtido de boi e terra arenosa), avaliando sua influência na produção de mudas de *Cybistax antisyphilitica* (Mart.) Mart., *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan e *Melanoxylum brauna* Schott.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Resíduos sólidos orgânicos e compostagem

Com o aumento da demanda por alimentos, há também um crescimento significativo na quantidade e variedade de resíduos provenientes da biomassa agrícola, que somam cerca de 140 bilhões de toneladas por ano (SINGHANIA, PATEL e PANDEY, 2017). Ferreira (2019) comenta que o gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos no Brasil enfrenta grandes desafios devido ao crescimento populacional, ao aumento da geração per capita de resíduos, à falta de espaço para novos aterros e à escassez de tecnologias adequadas. Isso reforça a necessidade de um gerenciamento adequado desses resíduos, com foco na destinação correta e sustentável. A situação dos resíduos sólidos no Brasil, mudou seu direcionamento, especialmente após a implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) pela Lei nº 12.305/2010 (BRASIL, 2010). Essa política estabelece diretrizes para a gestão integrada dos resíduos, enfatizando a responsabilidade compartilhada entre governo, empresas e cidadãos. A PNRS diferencia "destinação" de "disposição". A destinação final ambientalmente adequada inclui práticas como reutilização, reciclagem, compostagem, recuperação e aproveitamento energético. Essas práticas visam minimizar os impactos ambientais e proteger a saúde pública (BRASIL, 2010). Essa lei representou um avanço significativo nas práticas de descarte adequado de resíduos e, de maneira inovadora, promove hábitos de consumo sustentável. A PNRS, além de definir princípios, objetivos e instrumentos, reforça a responsabilidade dos municípios na gestão dos resíduos sólidos, estabelece a

corresponsabilidade entre o poder público e a cadeia produtiva e proíbe a destinação inadequada dos resíduos urbanos (CAPANEMA; PIMENTEL, 2018).

Uma alternativa para destinação, que vem sendo utilizada e estudada por ser sustentável e eficiente, é a reciclagem desses resíduos a partir da compostagem para a criação de substratos para a produção de mudas. Isso não só ajudaria no descarte adequado, como também garantiria uma fonte contínua e de baixo custo de matéria orgânica para os viveiros (CALDEIRA *et al.*, 2012). Essa abordagem permite reciclar os nutrientes presentes nos resíduos e utilizar o composto final na agricultura, promovendo um reaproveitamento sustentável dos materiais (BARATTA e PUNARO, 2007).

A compostagem da fração orgânica biodegradável dos resíduos sólidos urbanos é uma das formas de reciclagem mais consolidadas, pois consome pouca energia e permite o reaproveitamento tanto da parte orgânica dos resíduos urbanos quanto do lodo, que juntos correspondem à maior parte de resíduos orgânicos gerados (DE BERTOLDI; VALLINI; PERA, 1983). A compostagem é um processo de decomposição, no que se refere à transformação da matéria orgânica de resíduos em um composto estável que pode ser utilizado como adubo ou diretamente como substrato para a produção de mudas (CAMPBELL, 1995; DE BERTOLDI; VALLINI; PERA, 1983). O composto originado de resíduos orgânicos não resolve, por si só, os problemas da escassez de alimentos ou do saneamento ambiental. No entanto, pode desempenhar um papel importante na redução dos impactos negativos causados pelo descarte inadequado do lixo nas áreas urbanas (LIMA, 1995). Além disso, esse composto pode auxiliar na recuperação de solos agrícolas degradados pelo uso excessivo ou incorreto de fertilizantes químicos (LIMA, 1995). Dentro desse cenário, o reaproveitamento de resíduos gerados em áreas urbanas, especialmente os provenientes de podas de árvores e alimentação, pode contribuir significativamente para a redução dos custos de produção, uma vez que diminui a dependência da compra de matérias-primas (SOUZA *et al.*, 2013). Nesse sentido, a utilização de resíduos orgânicos compostados como fonte de nutrientes e como base para formulação de substratos pode ser uma alternativa eficaz para reduzir os custos na produção de mudas, trazendo eficiência e eficácia no sistema produtivo.

2.2. Substratos para a produção de mudas florestais nativas

A produção de mudas de qualidade é uma etapa essencial para sistemas de produção de espécies nativas e programas de restauração ecológica, seja para atender às demandas da economia local ou para fornecer mudas para iniciativas de conservação e preservação da natureza. De acordo com o trabalho de Cunha *et al.* (2005), é essencial o desenvolvimento de protocolos que visem a produção de mudas de alta qualidade, de forma rápida e com recursos acessíveis para pequenos e médios produtores rurais e viveiristas. Ademais, Caldeira *et al.* (2012) ressalta que, para alcançar resultados satisfatórios na produção e plantios de mudas, o sistema depende da correta escolha das espécies, do recipiente escolhido, da qualidade das sementes utilizadas e do substrato empregado na produção dessas mudas. Diante disso, se faz necessária a adoção de métodos que busquem a otimização da produção de mudas de interesse econômico e ecológico, trazendo alternativas sustentáveis e relevantes para o mercado.

Uma das principais funções do substrato é sustentar a muda e proporcionar condições adequadas para a germinação e crescimento. Nesse contexto, o substrato utilizado deve proporcionar condições físicas, químicas e físico-químicas adequadas à germinação de sementes. De acordo com Meerow (1995), as principais características físicas de um substrato que influenciam no processo de germinação incluem a capacidade de retenção de água, a densidade e porosidade. Ademais, o substrato deve estar livre de substâncias tóxicas ou fitopatogênicos que possam prejudicar o crescimento da muda

(ARENAS *et al.*, 2002). Adicionalmente, as propriedades químicas sofrem influência da disponibilidade de nutrientes mineralizados presentes no substrato, influenciando assim o desenvolvimento (CARNEIRO, 1995). Além das propriedades físicas e químicas, outros fatores como a presença de reguladores de crescimento, fitormônios e inibidores de crescimento podem influenciar na germinação de sementes (BORGHETTI; FERREIRA, 2004). Alguns trabalhos já comprovaram que compostos orgânicos, como vermicomposto, possuem substâncias bioativas que podem estimular o crescimento vegetal devido à presença de substâncias húmicas (ALBUZIO; FERRARI; NARDI, 1986; NARDI *et al.*, 1991; RODDA *et al.*, 2006). Mota *et al.* (2015) observaram que substâncias húmicas na concentração entre 0 e 0,25% promoveram um efeito positivo na germinação de sementes de Aroeira-do-Sertão (*Myracrodroodon urundeuva* Fr. All.). Com isso, fica evidente que os substratos orgânicos reúnem diversos benefícios que justificam o seu uso na propagação vegetal.

2.3. Gongocomposto

Uma inovação com potencial é a gongocompostagem, método desenvolvido a partir de pesquisas sobre o papel de espécies de diplópodes na ciclagem de nutrientes em florestas (CORREIA, 2003), onde a espécie *Trigoniulus corallinus* De (diplópodes vulgarmente conhecidos como gongolos, piolho-de-cobra, embuá etc.) se destacou por sua alta taxa de consumo de serrapilheira. Pesquisas subsequentes confirmaram a habilidade dessa espécie em fragmentar e decompor resíduos recalcitrantes com alta relação carbono/nitrogênio, como os provenientes de podas urbanas (BUGNI *et al.*, 2019). Esses animais desempenham um papel fundamental na decomposição da matéria orgânica vegetal, transformando-a em húmus de gongo (gongocomposto), um composto orgânico estável com uma relação C/N inferior a 20. Esse processo é facilitado pela estrutura bucal dos gongolos, que lhes permite triturar resíduos vegetais com uma alta relação C/N, constituído por um par de mandíbulas e um par de maxilas, permitindo que eles transformem resíduos vegetais com relação C/N superiores a 35, em fragmentos menores (AQUINO; CORREIA, 2005). Como isso, ocorre um aumento na velocidade de decomposição e aumentando na superfície de contato para a atividade de outros organismos menores. Até agora, o principal uso do gongocomposto tem sido como substrato orgânico na produção de mudas de espécies agrícolas, uma vez que esse é um insumo crítico e as opções comerciais disponíveis geralmente precisam de complementação nutricional (ANTUNES *et al.*, 2016, 2018, 2022). Testes realizados em casa de vegetação indicam que o gongocomposto é um substrato de excelente qualidade para a produção de mudas de espécies agrícolas, sendo de baixo custo, com desempenho superior às alternativas comerciais e sem necessidade de complementos adicionais pois fornece nutrientes, retém umidade e, devido à sua baixa densidade, facilita o crescimento do sistema radicular (ANTUNES *et al.*, 2016, 2018, 2022). Não há registros na literatura sobre estudos que explorem o uso do gongocomposto e seus benefícios na produção de mudas florestais nativas. É importante ressaltar que a gongocompostagem tem uma aplicação significativa na conversão de resíduos de poda de árvores em ambientes urbanos em substratos de alta qualidade para uso diversificado. Isso é demonstrado na produção orgânica de mudas de vegetais, conforme evidenciado por Bugni *et al.* (2019).

2.4. Biossólido

O lodo de esgoto, também conhecido como biossólido, que corresponde à fração sólida resultante do tratamento e estabilização do esgoto (FARIA *et al.*, 2013), apresenta potencialidades relevantes no contexto da recuperação de áreas degradadas e reflorestamento em uma escala mais ampla, particularmente no estado do Rio de Janeiro para a formulação de

substratos para produção de mudas florestais (SILVA *et al.*, 2022). Seu uso no solo é visto como uma alternativa ambientalmente apropriada para a destinação de resíduos, conforme estabelece a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). A Resolução CONAMA nº 498, de 19 de agosto de 2020, que substituiu a Resolução nº 375/2006, estabelece os critérios e procedimentos para a produção e aplicação do bioassólido em solos e dá outras informações.

O bioassólido é rico em matéria orgânica e nutrientes essenciais para o crescimento das plantas, tornando-o uma escolha vantajosa para a criação de substratos na produção de mudas florestais (ABREU *et al.*, 2017). Essa prática traz benefícios para os produtores de bioassólido, oferecendo uma destinação mais sustentável ao resíduo, e para os receptores, que recebem um material rico em nutrientes e abundante a baixo custo (ABREU *et al.*, 2017). A Companhia Estadual de Águas e Esgotos (CEDAE), por meio do programa Replantando Vida, faz uso do bioassólido para aprimorar o substrato de terra peneirada, o que contribui para a redução dos custos com sacos plásticos, que demandariam maior volume de material (ALONSO, 2018). Estudos indicam que seu uso pode favorecer o desenvolvimento de mudas de espécies florestais nativas, embora os resultados dependam tanto da proporção do lodo utilizada quanto das características da espécie cultivada (DELARMINA, 2014; FARIA *et al.*, 2013; SIQUEIRA *et al.*, 2018). Assim, o bioassólido apresenta características relevantes que justificam sua investigação, tanto pelo seu potencial econômico quanto pelos benefícios ambientais. Ele pode oferecer um meio físico e químico adequado para a produção de mudas, além de contribuir para uma gestão eficiente dos resíduos ao possibilitar uma destinação apropriada e sustentável desse material.

2.5. *Cybistax antisyphilitica* (Mart.) Mart. – Ipê-verde

Cybistax antisyphilitica (Mart.) Mart., conhecida popularmente como ipê-verde ou caroba-de-flor-verde, é uma árvore nativa do Brasil que possui propriedades medicinais. Essa espécie pode ser utilizada em plantios mistos em áreas de preservação permanente, para recuperação de áreas degradadas ou para fins paisagísticos (LORENZI, 1992). Pertencente à família Bignoniaceae e pode ser encontrada em uma vasta área que se estende desde a região amazônica até o Rio Grande do Sul, em diversos tipos de florestas, sendo especialmente comum no Cerrado (DURIGAN *et al.*, 2004).

A madeira desta árvore é útil na construção civil para obras internas, ripas, carpintaria, e na fabricação de caixas e pasta celulósica. De acordo com Lorenzi (1992), a árvore floresce várias vezes ao longo do ano, com maior intensidade entre dezembro e março, e os frutos amadurecem principalmente entre maio e outubro.

Segundo Silva *et al.* (2022), é uma espécie com potencial para ser utilizada em programas de reflorestamento. Esta árvore é adaptada a ambientes que recebem bastante luz solar direta (heliófita) e pode ser encontrada naturalmente em diversas formações florestais no Brasil (LORENZI, 2002) e em outros países da América Latina (ARAÚJO, 2008). Existem diferentes interpretações sobre o grupo ecológico ao qual pertence, podendo ser classificada desde pioneira até climax, o que demonstra sua capacidade de se adaptar a diferentes estágios de sucessão ecológica (RIBEIRO-OLIVEIRA; SANTANA; LOBO, 2019).

No entanto, há uma escassez de estudos silviculturais dedicados a esta espécie (SILVA *et al.*, 2022). No que diz respeito à produção de mudas, ainda são necessárias investigações adicionais. Ribeiro-Oliveira, Santana e Lobo (2019) indicam que são necessários estudos para determinar as proporções ideais de minerais, condicionadores de substrato e o tipo de substrato que proporcionem um melhor desenvolvimento das mudas em viveiro.

2.6. *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan – Angico-branco

Anadenanthera colubrina (Vell.) Brenan é uma espécie pertencente ao gênero *Anadenanthera*, da família Fabaceae (MORIM, 2025). É nativa da flora brasileira, sendo típica do bioma Caatinga, e é conhecida popularmente como angico-branco (MORIM, 2025). Segundo Queiroz (2009), no Brasil, a espécie ocorre principalmente em florestas estacionais, com destaque para a região nordeste onde predomina o Semiárido e a vegetação característica da Caatinga. Além disso, é encontrada nos biomas da Mata Atlântica e Cerrado (MORIM, 2025).

A madeira densa do angico-branco é valorizada na construção civil. Além disso, a espécie é adequada para arborização de parques e para a recomposição de áreas degradadas (CARVALHO, 2002; LORENZI, 2002). É notável sua capacidade de recuperação de áreas degradadas, controle de erosão e, consequentemente, melhoria do solo, destacando-se como uma espécie nativa do Brasil com grande potencial nesses aspectos (NERY *et al.*, 2018). A espécie é tolerante ao frio, apresenta crescimento de moderado a rápido e suas sementes têm alto poder de germinação, o que a torna promissora para projetos de reflorestamento (CARVALHO, 1994). Com isso, a produção de suas mudas é justificável para atender à crescente demanda por espécies versáteis e eficazes em projetos de reflorestamento e recuperação de áreas.

2.7. *Melanoxylum brauna* Schott. – Braúna

Melanoxylum brauna, conhecida popularmente como braúna, braúna preta, graúna, maria-preta ou rabo de macaco (LORENZI, 2002), é uma espécie nativa e endêmica do Brasil, sendo naturalmente encontrada em todo Nordeste e Sudeste (RANDO; CARVALHO; SILVA, 2025).

A madeira da braúna é extremamente pesada, com densidade de 1,05 g/cm³, compacta, muito dura e altamente durável, mesmo em condições adversas. Por essas características, é adequada para uso em obras externas e hidráulicas (Flores *et al.*, 2014). Além disso, a braúna é uma espécie com potencial para reflorestamentos (LORENZI, 2002). No entanto, devido à exploração intensa de sua madeira e à falta de plantios adequados, a braúna está incluída na "lista oficial de flora ameaçada de extinção" estabelecida pela Instrução Normativa N° 6, de 23 de setembro de 2008 (BRASIL, 2008). Diante disso, a braúna é uma espécie que pode ser demandada em programas de reflorestamento, visto a sua perda populacional ao longo dos anos. De acordo com Carvalho (2010), existem poucas informações sobre a produção e crescimento da braúna. Dessa forma, sugere-se estudos que investiguem a produção de mudas de braúna.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Substratos – Tratamentos

Foram testados três substratos, um que classicamente é utilizado (convencional T1) (Figura 1.A), outro que vem ganhando relevância que é proveniente da reciclagem de resíduos do tratamento de esgoto (biossólido – T2) (Figura 1.B) e ainda, uma alternativa, que é um composto oriundo de material vegetal produzido com o auxílio de diplópodes, conhecidos vulgarmente como gongolos, piolhos-de-cobra e embuás, o (gongocomposto – T3) (Figura 1.C).

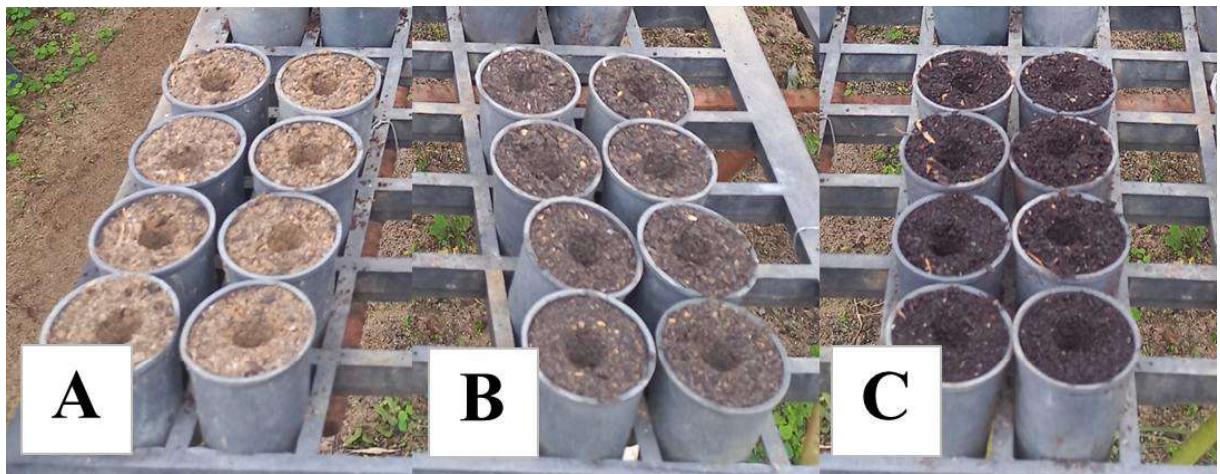


Figura 1. Substratos utilizados no experimento (A- T1: Substrato convencional; B- T2: Biossólido; C- T3: Gongocomposto).

O gongocomposto foi produzido em uma área aberta próxima a uma pequena mata de floresta secundária, situada no município de Seropédica, no estado do Rio de Janeiro, Brasil (Figura 2-A/B). Para sua produção, foram utilizados resíduos vegetais provenientes de atividades de jardinagem, como podas de espécies florestais presentes próximo a mata, tais como *Ficus* sp., *Khaya* sp. (Mogno) e *Syzygium cumini* (L.) Skeels (Jamelão), além de aparas de grama. Esses materiais foram acumulados em uma pilha com cerca de 1,50 metros de altura. Os gongolos presentes na pilha de compostagem, essenciais para o processo de gongocompostagem, foram de duas espécies: *Trigoniulus corallinus* (Gervais, 1847), e *Rhinocricus padbergi* (Verhoeff, 1938). Os gongolos foram naturalmente introduzidos na pilha de resíduos, todos provenientes da mata secundária próxima à área de gongocompostagem.



Figura 2. A- Pilha de gongocompostagem com de resíduos de jardinagem (folhas, aparas de grama, galhos); **B-** Coleta do gongocomposto utilizado no experimento.

O Biossólido utilizado no experimento foi disponibilizado pela empresa de compostagem VideVerde, localizada no estado do Rio de Janeiro.

O substrato convencional de viveiro foi produzido no local do experimento, sendo realizado o traço composto por uma mistura de 1/3 de terra de subsolo (solo argiloso), 1/3 de areia lavada e 1/3 de esterco bovino curtido, ou seja, proporções iguais de cada material.

3.2. Análises das propriedades físicas, físico-químicas e químicas dos substratos

Realizou-se a caracterização das propriedades físicas, físico-químicas e químicas do gongocomposto, do substrato convencional de viveiro e do biossólido, com três réplicas para cada parâmetro avaliado.

No que diz respeito às características físicas, toda análise foi realizada no Laboratório de Fauna do Solo da Embrapa Agrobiologia, onde foram determinados os valores de densidade volumétrica, macroporosidade, microporosidade e porosidade total, bem como a capacidade de retenção de água, utilizando a metodologia da mesa de tensão conforme descrito por Teixeira *et al.* (2017). Essa abordagem segue a metodologia adaptada e contida na Instrução Normativa SDA nº 17, de 21 de maio de 2007, que estabelece os Métodos Analíticos Oficiais para a Análise de Substratos e Condicionadores de Solos (BRASIL, 2007). Para essas análises, foram utilizados nove cilindros de alumínio (Figura 3), cada um com uma capacidade volumétrica de 100 cm³, distribuídos em três repetições para cada um dos três tratamentos. Os cilindros foram preenchidos com os substratos até atingirem seu volume total e vedados na abertura inferior com folhas de TNT e elásticos. Em seguida, os nove cilindros foram saturados com água e mantidos em drenagem, com a parte inferior em contato com uma folha de papel absorvente de pequenos poros, comumente chamado de papel mata-borrão. Os cilindros foram posicionados sobre o papel absorvente e mantidos por 24 horas a uma sucção de 60 cm de altura de lâmina d'água para determinar a porosidade total, macroporosidade, microporosidade e densidade volumétrica. Posteriormente, os substratos foram saturados e submetidos a uma sucção de 10 cm por 24 horas para determinar a capacidade de retenção de água (CRA10). Após esse período, os cilindros com os substratos drenados foram colocados em uma estufa a 65 °C por 72 horas e posteriormente pesadas sua massa seca.



Figura 3. Cilindros para a mensuração dos parâmetros físicos dos substratos (capacidade de retenção de água, macroporosidade, microporosidade e porosidade total).

Quanto as análises químicas, os teores totais de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) foram quantificados no Laboratório de Química Agrícola da Embrapa Agrobiologia, por meio da digestão das amostras de substrato, conforme descrito por Teixeira *et al.* (2017). A quantificação dos teores de carbono (C) e nitrogênio (N) foi realizada no Laboratório de Ciclagem de Nutrientes, da Embrapa Agrobiologia, utilizando o analisador elementar (CHN), também conhecido como método de Dumas (NELSON; SOMMERS, 2015). Para todas as análises químicas, as amostras de substrato foram moídas previamente no moinho de facas (Figuras 4-A/B/C).

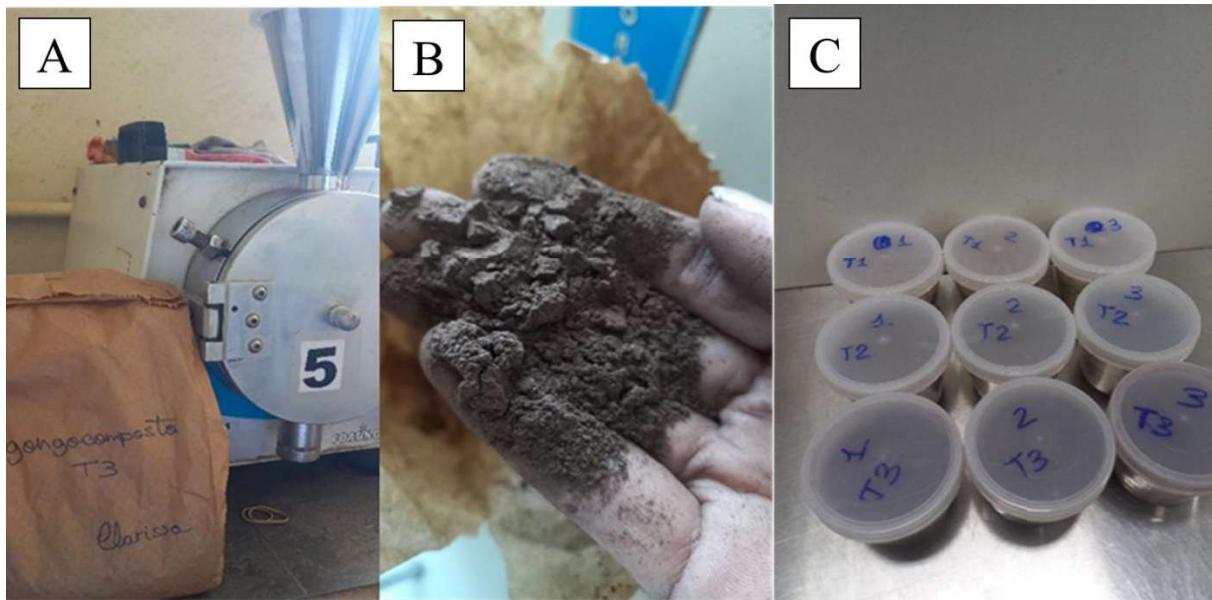


Figura 4. **A-** Moinho de facas utilizado no processamento das amostras de substrato; **B-** Amostra de substrato moída e reduzida à pó para as análises químicas; **C-** Organização das amostras de substrato em triplicata para serem enviadas para as análises químicas.

Dado que os substratos são empregados em recipientes com volumes pré-determinados, os teores de nutrientes são determinados com base na massa da amostra. Como os recipientes onde as plantas crescem possuem um volume de substrato conhecido, é essencial converter os resultados laboratoriais para uma unidade baseada nesse volume (g L^{-1}). Para isso, os valores de densidade volumétrica de cada substrato em base seca (kg m^{-3}) foram multiplicados pelos teores de nutrientes (g kg^{-1}), seguindo a abordagem proposta por Fermino (2014).

No mais, foram conduzidas análises de pH (Figura 5) e condutividade elétrica, sendo realizadas no Laboratório de Agricultura orgânica da Embrapa Agrobiologia. O método utilizado para avaliar os dois parâmetros foi descrito por Brasil (2007) utilizando solução de água destilada (5:1 v/v).



Figura 5. Medidor de pH para caracterização físico-química dos substratos analisados.

A caracterização física, físico-química e química dos substratos utilizados é etapa essencial em experimentos que avaliam a emergência de plântulas e o crescimento inicial de mudas, uma vez que essas propriedades determinam diretamente a qualidade do ambiente radicular. A densidade, a porosidade, a capacidade de retenção de água, o pH, a condutividade elétrica e os teores de nutrientes são fatores que afetam a disponibilidade de água, oxigênio e elementos essenciais às plantas. Dessa forma, a análise detalhada desses parâmetros permite uma melhor compreensão das condições oferecidas por cada substrato, possibilitando estabelecer relações consistentes entre as características físico-químicas dos materiais e o desempenho das espécies testadas. Além disso, tal abordagem contribui para a seleção mais precisa de substratos adequados à produção de mudas florestais, com base em evidências técnicas.

3.3. Local do experimento, delineamento experimental e parâmetros avaliados

O experimento foi conduzido em área experimental da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), mais conhecida como terraço, situada no município de Seropédica, no estado do Rio de Janeiro (Figura 6). As coordenadas geográficas aproximadas são

22°45'19''S e 43°40'04'' W. O clima na região é caracterizado como quente e úmido, classificado como Aw, de acordo com a classificação de Köppen, com chuvas concentradas principalmente entre novembro e março (OLIVEIRA JÚNIOR *et al.*, 2014).

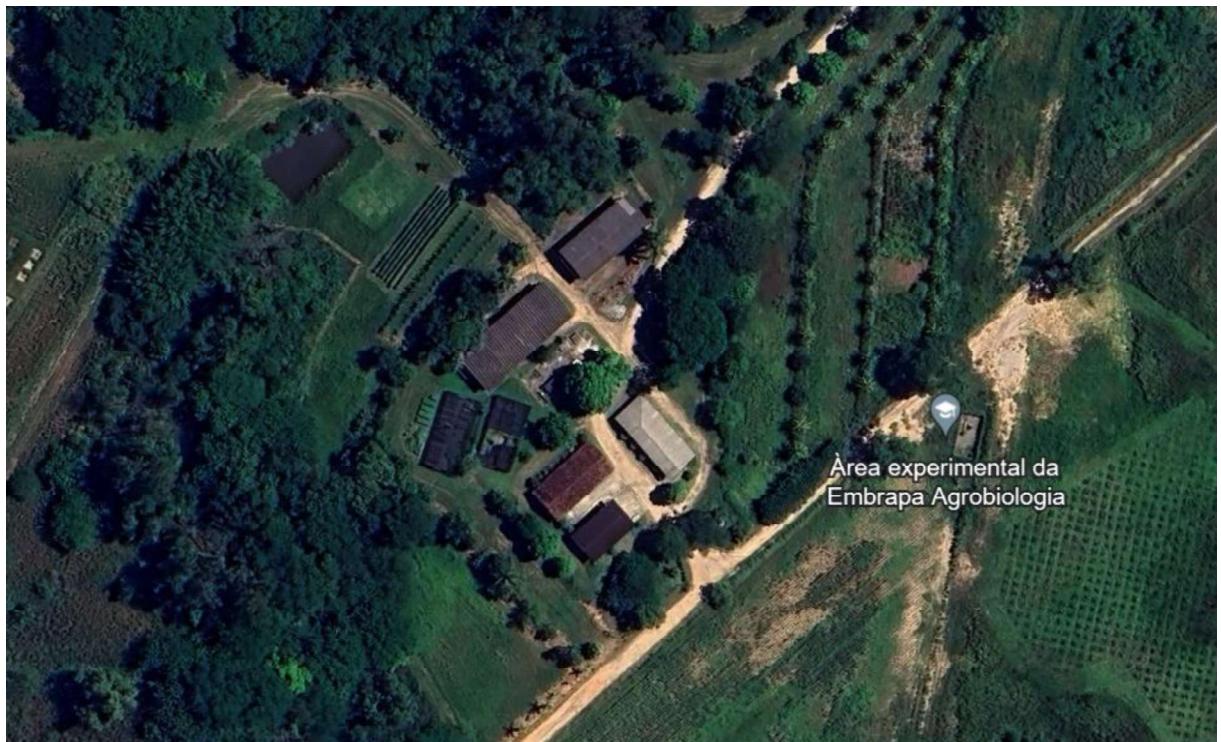


Figura 6. Área experimental da Embrapa Agrobiologia onde os experimentos foram conduzidos. Fonte: Google Earth (2024).

Foram realizados três experimentos simultâneos, executados no período de 27/10/2023 a 01/02/2024, nos quais cada um envolveu uma espécie florestal nativa diferente. As espécies selecionadas foram: *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan (Angico-branco); *Cybistax antisyphilitica* (Mart.) Mart. (Ipê-verde); e *Melanoxylum brauna* Schott. (Braúna). Cada experimento testou os três diferentes tipos de substratos, resultando em três tratamentos distintos: T1 (Substrato convencional), T2 (Biossólido); e T3 (Gongocomposto).

Após a aquisição dos substratos, foram retiradas amostras representativas de cada tratamento para análises físicas, físico-químicas e químicas (Figuras 7-A/B).



Figura 7.A/B- Sacos com as amostras dos substratos utilizados para a determinação das análises físicas, físico-químicas e químicas.

Cada experimento foi conduzido utilizando o Delineamento em Blocos Casualizados (DBC), com os três tratamentos repetidos cinco vezes e distribuídos em cinco blocos. Cada tratamento consistiu em oito mudas, totalizando 120 mudas por experimento. O delineamento em blocos casualizados (DBC) foi escolhido por permitir o controle da variabilidade ambiental, aumentando a precisão na comparação entre os substratos testados. O croqui com o delineamento experimental está apresentado na Figura 8.

Passagem												Passagem	
B5	B4	B5	B4	B3	B2	B1	B5	B4	B3	B2	B1		
brauT3R5	brauT3R4	angT3R5	angT3R4	angT1R3	angT2R2	angT3R1	ipêT2R5	ipêT2R4	ipêT1R3	ipêT3R2	ipêT2R1		
brauT1R5	brauT1R4	angT1R5	angT2R4	angT3R3	angT3R2	angT1R1	ipêT3R5	ipêT1R4	ipêT3R3	ipêT1R2	ipêT3R1		
brauT2R5	brauT2R4	angT2R5	angT1R4	angT2R3	angT1R2	angT2R1	ipêT1R5	ipêT3R4	ipêT1R3	ipêT2R3	ipêT2R2		
Passagem												Passagem	
B3	B2	B1	Repicados										
brauT2R3	brauT1R2	brauT1R1											
brauT3R3	brauT2R2	brauT2R1											
brauT1R3	brauT3R2	brauT3R1	Passagem										

Trat.	Substrato	Espécie
T1	Substrato convencional	Ipê-verde (<i>Cybistax antisiphilitica</i>)
T2	Biossólido	Angico-branco (<i>Anadenanthera colubrina</i>)
T3	Gongocomposto	Braúna (<i>Melanoxylum brauna</i>)

Figura 8. Croqui com o delineamento experimental dispondo a localização dos blocos e tratamentos.

Para a identificação das plaquinhas, foi utilizado o início do nome vulgar + tratamento e repetição como mostra as Figuras 9-A/B/C.



Figura 9. Placas para a identificação de cada parcela dos experimentos (Tratamento e Repetição). **A-** Placa de identificação do Tratamento 2/Repetição 3 para Angico-branco; **B-** Placa de identificação do Tratamento 1/Repetição 1 para Ipê-verde; **C-** Placa de identificação do Tratamento 3/Repetição 2 para Braúna.

As sementes de *Anadenanthera colubrina* e *Cybistax antisyphilitica* utilizadas nos experimentos foram coletadas e doadas pelo Programa Mutirão Reflorestamento, da Prefeitura do Rio de Janeiro. As matrizes coletadas estão localizadas na Zona Oeste do município do Rio de Janeiro. Além disso, as sementes de *Melanoxylum brauna* foram coletadas no estado da Bahia e doadas ao Laboratório de Leguminosas Florestais da Embrapa Agrobiologia para a condução do experimento.

Os testes de germinação foram realizados no Laboratório de Leguminosas Florestais da Embrapa Agrobiologia com o objetivo de determinar a porcentagem de germinação do lote de sementes, para a posterior escolha do número de sementes a serem semeadas.

A produção de mudas seguiu com irrigação por aspersão automática e limpeza de plantas espontâneas, utilizando tubetes de 180 cm³ de volume. A semeadura direta foi realizada nos tubetes dentro de uma casa de sombra (Figuras 10-A/B/C).



Figura 10. **A-** Sementes de angico-branco semeadas em cada tubete; **B-** Semeadura direta em casa de sombra; **C-** Semeadura do ipê-verde no gongocomposto.

Com base na porcentagem de germinação calculada após os testes de germinação em laboratório, determinou-se o número de sementes a serem semeadas por tubete: Angico-branco:

quatro sementes por tubete; Ipê-verde: cinco sementes por tubete; e Braúna: três sementes por tubete.

Durante o acompanhamento das mudas, sempre que necessário, realizou-se a monda, removendo manualmente as plantas espontâneas presentes em cada recipiente. Não foi feita a aplicação de adubações uma vez que o objetivo do experimento não foi estabelecer uma recomendação técnica de manejo nutricional, mas sim comparar o desempenho de três diferentes substratos em condições naturais, sem interferências externas que pudessem mascarar ou influenciar seus efeitos intrínsecos sobre a emergência e o crescimento inicial das espécies avaliadas.

Foi realizado um monitoramento semanal da emergência, sendo realizada a contagem de plântulas para a obtenção do Índice de Velocidade de Emergência (IVE), da Taxa de Emergência (E%) e do Tempo Médio de Emergência (TME). A primeira contagem de emergência se deu no sétimo dia após a semeadura e se manteve até que ocorresse a estabilização do número de plântulas emergentes por tubete.

O IVE (Adaptado de IVG – Índice de velocidade de germinação) foi determinado pela soma do número diário de plântulas emergentes (E_i), dividido pelo número de dias transcorridos desde a semeadura (N_i), conforme estabelecido por Maguire (1962):

$$IVE = \Sigma \frac{E_i}{N_i}$$

A Taxa de emergência foi calculada com base na fórmula proposta por Borghetti e Ferreira (2004), onde, utilizou-se o número total de sementes emergidas (n) e o número total de sementes semeadas (N). Considerou-se apenas uma semente por tubete, logo, temos um total de oito sementes semeadas por tratamento:

$$E = \frac{n}{N} \times 100$$

O cálculo do TME (Adaptado de TMG – Tempo médio de germinação) foi realizado com base no número de plântulas emergentes contadas em cada intervalo (N_i) e no tempo decorrido desde o início da germinação até a i -ésima contagem (T_i), seguindo a metodologia proposta por Labouriau (1983):

$$TME = \frac{\Sigma N_i \times T_i}{\Sigma N_i}$$

Após a estabilização do número de plântulas emergentes, foi realizada um desbaste e repicagem, mantendo apenas uma plântula por recipiente, preferencialmente a mais central e/ou vigorosa. As mudas repicadas foram replantadas em outros tubetes. Ademais, os tubetes os quais nenhuma semente germinou foram preenchidos com as mudas repicadas e identificados com uma placa com um “R” de repicado (Figuras 11-A/B).



Figura 11. A- Repicagem das mudas de angico-branco; B- Preenchimento dos tubetes os quais nenhuma plântula emergiu e identificação com placas indicando que foi repicado.

Aos três meses de idade foram realizadas a mensuração da altura (em centímetros) da parte aérea das mudas com o uso de régua graduada e ainda, na mensuração do diâmetro a altura do coleto – DAC (em milímetros), utilizando o paquímetro digital (Figura 12).



Figura 12. Mensuração da altura e diâmetro a altura do coleto das mudas.

3.4. Análises estatísticas

Os dados obtidos foram submetidos à análise estatística para verificação da significância dos resultados. Inicialmente, avaliou-se a homogeneidade das variâncias por meio do teste de Bartlett e a normalidade da distribuição dos resíduos através do teste de Shapiro-Wilk, garantindo assim os pressupostos básicos para aplicação da análise de variância (ANOVA).

Para os parâmetros que atenderam aos pressupostos de normalidade e homocedasticidade, procedeu-se com a análise de variância (teste F) a 5% de probabilidade. Nos casos em que foram detectadas diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$), aplicou-se o teste de comparação de médias de Tukey, considerando um nível de 95% de confiança.

Todas as análises foram realizadas utilizando o ambiente computacional R (R CORE TEAM, 2020). Os gráficos e tabelas foram elaborados com auxílio do software de planilha eletrônica Excel, garantindo uma representação dos resultados obtidos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Propriedades físicas dos substratos avaliados

A análise estatística revelou diferenças significativas entre os substratos estudados em relação à maioria das características físicas analisadas (Tabela 1).

Tabela 4. Valores médios dos parâmetros físicos (MAC - macroporosidade); MIC – microporosidade; POT - porosidade total; CRA₁₀ - capacidade de retenção de água à tensão de 10 cm de coluna d'água; e DV - densidade volumétrica dos diferentes substratos utilizados.

Substrato	MAC	MIC	POT	CRA ₁₀	DV
	-----%	-----	-----	mL 50 cm ⁻³	(g cm ⁻³)
Convencional – T1	39,29b	21,25c	60,54c	24,33c	1,01c
Biossólido – T2	39,36b	32,45b	71,81b	27,26b	0,61a
Gongocomposto – T3	43,48a	45,39 a	88,87a	32,45a	0,24a

Médias seguidas por letras diferentes na coluna, são significativamente diferentes pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

No que diz respeito à macroporosidade, que influencia diretamente na aeração e drenagem, observou-se que o gongocomposto apresentou a maior média (43,48%), seguido pelo substrato convencional de viveiro (39,29%) e pelo biossólido (39,36%). Similarmente, na microporosidade, que está associada à retenção de água e nutrientes, o gongocomposto também se destacou, com a maior média (45,39%), enquanto o substrato convencional de viveiro e o biossólido representaram médias inferiores (32,45% e 21,25%, respectivamente). Gonçalves e Poggiani (1996) consideram a faixa de 35- 45% como sendo a adequada para macroporosidade. Diante do exposto, todos os substratos se encontram na faixa adequada. De acordo com Aguiar *et al.* (2022), a menor macroporosidade pode causar restrição do suprimento de oxigênio e dificultar o crescimento do sistema radicular.

Os autores mencionados anteriormente, consideram ideal que a microporosidade do solo esteja dentro da faixa de 45% a 55%. Com base nisso, todos os substratos avaliados encontram-se na faixa ótima para valores de microporosidade.

A porosidade total, que é a soma das porosidades macro e micro, seguiu a mesma tendência, com o gongocomposto apresentando a maior média (88,87%), seguido pelo substrato convencional de viveiro (60,54%) e pelo biossólido (71,81%). A porosidade total desempenha um papel fundamental no crescimento das plantas, como destacado por Kämpf (2005). Isso ocorre porque a alta densidade de raízes nos recipientes de cultivo demanda uma boa oferta de oxigênio e uma rápida remoção do dióxido de carbono acumulado. De acordo com Pascual *et al.* (2018), os percentuais ideais recomendados para a porosidade total variam entre 50% e 80%, logo, apenas o gongocomposto não se encontrou dentro desta faixa.

Quanto à capacidade de retenção de água, outro aspecto crucial para o desenvolvimento das plantas, o gongocomposto apresentou a maior média (32,45 mL por 50 cm⁻³), enquanto as médias para o substrato convencional de viveiro e o biossólido foram menores (27,26 e 24,33 mL por 50 cm⁻³, respectivamente). Segundo Gonçalves e Poggiani (1996), os níveis adequados de capacidade de retenção de água (CRA) devem situar-se na faixa de valores entre 20 e 30 mL por 50 cm³ de solo. Verificou-se que o gongocomposto ultrapassou pouco esta faixa.

Finalmente, a densidade volumétrica (DV) variou significativamente, sendo maior no substrato convencional ($1,01 \text{ g cm}^{-3}$), seguido pelo biossólido ($0,61 \text{ g cm}^{-3}$) e com o menor valor no gongocomposto ($0,24 \text{ g cm}^{-3}$). Segundo Pascual *et al.* (2018), a faixa ideal está entre $0,30$ e $0,75 \text{ g cm}^{-3}$. Nesse contexto, apenas o biossólido (T2) encontra-se dentro do intervalo recomendado. O valor elevado da densidade no T1 pode dificultar a emergência e o crescimento das raízes, além de limitar a aeração. Por outro lado, a baixa densidade observada no T3 pode comprometer a sustentação física das mudas, como foi constatado por meio de análise visual realizada aos 8 meses de idade, quando, ao retirar as mudas dos tubetes, verificou-se que o torrão se despedaçou com facilidade. Esse comportamento indica fragilidade estrutural do substrato, dificultando a manutenção da integridade do sistema radicular no momento do transplantio. Tal evidência reforça a necessidade de ajustes na formulação do gongocomposto como a adição de componentes mais densos e estruturantes, a fim de garantir maior coesão do substrato e melhor suporte físico às mudas.

Em síntese, o gongocomposto (T3) apresentou os maiores resultados físicos entre os substratos testados, com destaque para sua elevada macroporosidade, microporosidade, porosidade total e CRA10, indicando grande capacidade de retenção hídrica e boa aeração. Contudo, sua densidade muito baixa (o que explica sua alta porosidade total) exige atenção, pois poderia comprometer a estabilidade das mudas. Já o biossólido (T2) demonstrou características físicas equilibradas, com porosidade total e densidade dentro da faixa ideal, além de boa capacidade de retenção de água, sendo uma alternativa promissora para a produção de mudas florestais. O substrato convencional (T1), por sua vez, apresentou limitações físicas consideráveis, especialmente em sua densidade elevada, o que pode prejudicar a emergência das plântulas.

Esses resultados reforçam o potencial do gongocomposto e biossólido como alternativas sustentáveis. No entanto, sugere-se mais pesquisas que busquem otimizar uso do gongocomposto e explorar plenamente seu potencial, ajustando sua densidade volumétrica e porosidade para garantir maior estabilidade das mudas durante o crescimento e assim, maximizar seu desempenho como substrato para a produção de mudas florestais.

4.2. Propriedades físico-químicas e químicas dos substratos avaliados

A composição do substrato tem um impacto direto nos níveis de pH, condutividade elétrica e fertilidade, conforme indicado por Antunes *et al.* (2022). Os resultados das análises químicas (Tabela 2) demonstraram variações significativas ($p < 0,05$) nos teores de nutrientes, carbono e relação C/N entre os substratos avaliados (T1: Gongocomposto; T2: Biossólido; T3: Substrato convencional), fatores determinantes para a qualidade do substrato e o desenvolvimento inicial das mudas. Ademais, os valores de pH e condutividade elétrica também variaram para cada substrato (Tabela 2).

Tabela 2. Valores de pH, condutividade elétrica e teores totais de macronutrientes (C – carbono; N – nitrogênio; P – fósforo; K – potássio; Ca – cálcio; e Mg - magnésio) dos substratos utilizados na produção das mudas florestais nativas.

Trat.	pH	Cond. Elétrica dS/m	C g kg ⁻¹	N		P	K g L ⁻¹	Ca	Mg	C/N
T1	6,3	0,00	26,4c	1,6b	0,5b	0,77b	0,7c	0,45c	16,92b	
T2	5,75	0,27	89,7b	5,32a	3,87a	1,99a	13,4a	1,49a	10,59c	
T3	6,22	0,13	322,8a	4,46a	0,40b	0,9b	6,02b	1,06b	18,9a	

Médias seguidas por letras diferentes nas colunas são significativamente diferentes pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Tratamentos: T1 – substrato convencional; T2 – biofertilizante; T3 – gongocomposto.

O valor do pH do substrato é mais crucial do que a quantidade de nutrientes presentes nele, pois o pH influencia principalmente a disponibilidade de nutrientes para as mudas (LUDWIG *et al.*, 2014). Níveis de pH inferiores a 5,8 podem resultar em toxicidade para a planta, aumentando a disponibilidade de ferro e manganês, mas diminuindo a disponibilidade de nitrogênio, potássio, cálcio, magnésio e boro, conforme indicado por Stöcker *et al.* (2016). Por outro lado, quando o pH é superior a 6,5, pode haver deficiências de fósforo, ferro, manganês, zinco e cobre, conforme mencionado por Kratz *et al.* (2014). Portanto, todos os substratos analisados mantiveram-se dentro do intervalo de pH sugerido pelos autores mencionados.

É importante destacar que a Condutividade Elétrica (CE) não se apresenta em valores altos, já que uma quantidade excessiva de sais solúveis no substrato pode afetar a germinação e outras etapas do crescimento das plantas que são cultivadas nesses substratos (ANTUNES *et al.*, 2022). De acordo com Minami e Salvador (2010), os níveis de Condutividade Elétrica (CE) acima de 3,4 dS m⁻¹ são vistos como extremamente altos para substratos. Valores entre 2,25 e 3,39 dS m⁻¹ são considerados altos, enquanto valores de 1,8 a 2,24 dS m⁻¹ são ligeiramente altos. Valores moderados de CE variam de 0,5 a 1,79 dS m⁻¹. Valores baixos estão na faixa de 0,15 a 0,49 dS m⁻¹ e valores abaixo de 0,14 dS m⁻¹ são considerados muito baixos. Portanto, todos os substratos testados apresentaram baixa CE, o que significa que eles não representam riscos fisiológicos para as mudas.

O cálcio é um nutriente essencial para garantir a permeabilidade das membranas e a integridade das células. Ele é necessário para que ocorra a divisão e o crescimento celular, além de fazer parte da composição da parede celular e da lamela média. Também atua como ativador de enzimas envolvidas no metabolismo de carboidratos, como a alfa-amilase (GARRONE *et al.*, 2016). O teor de cálcio apresentou diferenças marcantes entre os tratamentos, com o T2 (Biofertilizante) registrando o maior valor (13,4 g L⁻¹), seguido pelo T3 (Gongocomposto - 6,02 g L⁻¹) e T1 (Substrato convencional - 0,7 g L⁻¹). De acordo com Gonçalves e Poggiani (1996), a faixa adequada para substratos varia entre 2 e 4 g L⁻¹, indicando que nenhum dos substratos está na faixa ideal. O excesso observado no T2 pode estar relacionado à composição do biofertilizante, enquanto a deficiência no T1 sugere a necessidade de complementação com fontes cálcicas para culturas exigentes neste nutriente.

Os teores de potássio variaram de 0,77 g L⁻¹ (T1) a 1,99 g L⁻¹ (T2). Considerando a faixa de 1,17 - 3,91 g L⁻¹ como adequada (GONÇALVES E POGGIANI, 1996), apenas o T2 está na faixa ótima. Vale ressaltar que o gongocomposto foi elaborado em ambiente natural, e a exposição às chuvas pode ter favorecido a perda de potássio (K) por lixiviação. Diferente do nitrogênio e do fósforo, o potássio não desempenha função estrutural nas plantas, mas está diretamente relacionado ao aumento da resistência vegetal em condições adversas, como escassez hídrica e variações extremas de temperatura, devido ao seu papel na regulação da abertura e do fechamento dos estômatos (BERTI *et al.*, 2017).

Os teores de magnésio apresentaram a seguinte ordem decrescente: T2 (1,49 g L⁻¹) > T3 (1,06 g L⁻¹) > T1 (0,45 g L⁻¹), todos significativamente diferentes. Estes valores estão consideravelmente abaixo da faixa ideal de 6-12 g L⁻¹ (GONÇALVES E POGGIANI, 1996), indicando uma deficiência generalizada deste nutriente em todos os substratos. Como o magnésio é componente central da clorofila (SILVA *et al.*, 2017), recomenda-se a suplementação com fontes de magnésio, especialmente para o T1 que apresentou o menor teor.

O fósforo apresentou distribuição distinta, com T2 (3,87 g L⁻¹) destacando-se significativamente frente a T1 (0,5 g L⁻¹) e T3 (0,4 g L⁻¹). O biossólido superou consideravelmente a faixa considerada adequada apresentada por Gonçalves e Poggiani (1996) (0,4-0,8 g L⁻¹), sugerindo que o T2 pode apresentar excesso deste nutriente. O fósforo é crucial para o desenvolvimento radicular e síntese de ATP (BERTI *et al.*, 2017), sendo necessário avaliar cuidadosamente a necessidade de aplicação adicional em T1 e T3.

Os teores de nitrogênio mostraram que T2 (5,32 g L⁻¹) e T3 (4,46 g L⁻¹) não diferiram estatisticamente, mas ambos superaram significativamente T1 (1,62 g L⁻¹). A Instrução Normativa nº 61 (BRASIL, 2020), estabelece mínimo de 5 g kg⁻¹ para compostos orgânicos, indicando que T2 atende plenamente este requisito, enquanto T3 aproxima-se do limite e T1 apresenta deficiência. Considerando que o nitrogênio é o nutriente mais demandado para síntese de biomassa (YONG *et al.*, 2010), o T2 e T3 mostram-se como a opção mais adequada para a produção de mudas.

Os teores de carbono orgânico apresentaram uma variação extremamente significativa entre os diferentes substratos avaliados, demonstrando diferenças em sua composição orgânica. O substrato T3 (Gongocomposto) destacou-se com o maior teor de carbono (322,79 g kg⁻¹), valor aproximadamente 4 vezes superior ao encontrado no T2 (Bioossólido - 89,66 g kg⁻¹) e 12 vezes maior que o T1 (Substrato convencional - 26,39 g kg⁻¹). Esta ampla variação reflete diferenças fundamentais na natureza e grau de decomposição da matéria orgânica presente em cada substrato.

Analizando a relação carbono/nitrogênio (C/N), observa-se um padrão inversamente proporcional aos teores de carbono: T3 (18,9) > T1 (16,9) > T2 (10,6). Esta relação é um indicador crucial da qualidade e maturidade do material orgânico, sendo que valores mais baixos geralmente indicam material mais estabilizado e com maior disponibilidade de nitrogênio para as plantas.

De acordo com Schmitz, Souza e Kämpf (2002), substratos para uso em recipientes devem apresentar teores de carbono orgânico acima de 250 g kg⁻¹ para garantir boas propriedades físicas e químicas. Neste critério, apenas o T3 atende à recomendação dos autores, enquanto T2 e T1 ficam consideravelmente abaixo. No que diz respeito à relação C/N, a Instrução Normativa nº 61 do MAPA (BRASIL, 2020) estabelece como parâmetro que este valor não deve ultrapassar 20 para compostos orgânicos, critério que foi atendido por todos os substratos avaliados, embora com diferenças significativas em seu equilíbrio nutricional. O substrato T2 (Bioossólido) apresentou a relação C/N mais equilibrada (10,6), característica que, segundo Da Ros *et al.* (2015), indica um material com excelente disponibilidade imediata de nitrogênio para as plantas. Esta condição é particularmente vantajosa para o desenvolvimento inicial das mudas, pois garante um suprimento adequado deste nutriente essencial durante as

fases críticas de estabelecimento vegetal. O substrato T1 (Substrato convencional), por sua vez, mostrou uma relação intermediária (16,9) que, embora se mantenha dentro dos limites aceitáveis, sugere uma dinâmica de liberação mais gradual do nitrogênio, o que pode resultar em uma disponibilidade menos imediata deste nutriente para as plantas em crescimento. Quanto ao T3 (Gongocomposto), este apresentou a relação C/N mais elevada (18,9) dentre os substratos avaliados, situando-se próximo ao limite máximo estabelecido pela legislação. Este valor, quando combinado com seu alto teor de carbono (322,79 g kg⁻¹), indica que parte do nitrogênio presente pode estar temporariamente imobilizado pela ação dos microrganismos decompositores, processo comum em materiais orgânicos com elevada relação C/N. Tal condição pode resultar em uma menor disponibilidade inicial de nitrogênio para as plantas, exigindo um período de estabilização mais prolongado antes que este nutriente se torne plenamente acessível ao sistema radicular.

Estas diferenças na relação C/N entre os substratos têm implicações práticas importantes para o manejo nutricional, sugerindo que o T2 pode ser mais adequado para culturas com alta demanda inicial de nitrogênio, enquanto o T3 pode requerer um período maior de compostagem ou a complementação com fertilizantes nitrogenados para otimizar a disponibilidade deste nutriente essencial.

Em síntese, os resultados demonstraram que o biossólido (T2) destacou-se como o substrato mais equilibrado nutricionalmente, apresentando os maiores teores de nitrogênio (5,32 g L⁻¹), fósforo (3,87 g L⁻¹) e potássio (1,99 g L⁻¹), além da relação C/N mais favorável (10,6), indicando excelente disponibilidade de nutrientes para as mudas das espécies florestais avaliadas. O gongocomposto (T3) mostrou-se como alternativa promissora, com elevado teor de carbono orgânico (322,79 g kg⁻¹) e teores adequados de cálcio (6,02 g L⁻¹), embora requeira complementação de magnésio e fósforo.

Estes resultados indicam que tanto o biossólido quanto o gongocomposto representam alternativas para produção de mudas florestais, superando o substrato convencional em qualidade nutricional e potencial de produção de mudas de qualidade. Porém, recomenda-se a condução de mais estudos que investiguem os ajustes necessários no tempo de compostagem do gongocomposto para otimizar a relação C/N e a sua disponibilidade de nutrientes.

4.3. *Cybistax antisyphilitica* (Mart.) Mart. – Ipê-verde

Os resultados demonstraram que os diferentes substratos influenciaram significativamente o desenvolvimento inicial de *Cybistax antisyphilitica*, com efeitos distintos nos parâmetros de emergência e crescimento.

O gongocomposto proporcionou melhores condições de mudas de ipê-verde em comparação com o substrato convencional, com parâmetros estatisticamente melhores ($p<0,05$) em dois (IVE e TME) de seis parâmetros avaliados, sendo estes dois, relacionados a variáveis de emergência. (Figura 14. C/D).

Para a maioria dos parâmetros analisados (com exceção da Sobrevivência das mudas aos três meses), os testes de normalidade dos resíduos e homogeneidade de variância demonstraram que os resíduos estão distribuídos de forma normal e que as variâncias são homogêneas, validando os pressupostos da análise estatística realizada. O Coeficiente de variação para essa espécie variou de 4 a 24,36%, o que vem a ser uma faixa aceitável para experimentos em viveiros e casas de vegetação (Figura 14).

Para os resultados referentes à taxa de emergência (E%), os tratamentos não apresentaram uma diferença estatisticamente significativa ($p\text{-valor}>0,05$) sugerindo que os diferentes substratos não influenciaram significativamente o percentual de germinação das sementes de *Cybistax antisyphilitica*. Embora a análise estatística não tenha revelado diferenças significativas entre os tratamentos, é observado no Gongocomposto a maior média na taxa de

emergência (90,0%), seguido pelo Biossólido com uma média intermediária (77,5%), enquanto o substrato convencional de viveiro, registrou a menor média (60,0%) (Figuras 13 e 14.E). No entanto, apesar da falta de significância estatística, essas diferenças observadas podem ser relevantes e merecem investigações mais aprofundadas em estudos futuros. Ademais, recomenda-se a adoção de intervalos menores para o monitoramento e contagem da emergência, visando uma detecção mais precisa das variações diárias na quantidade de plântulas emergentes.

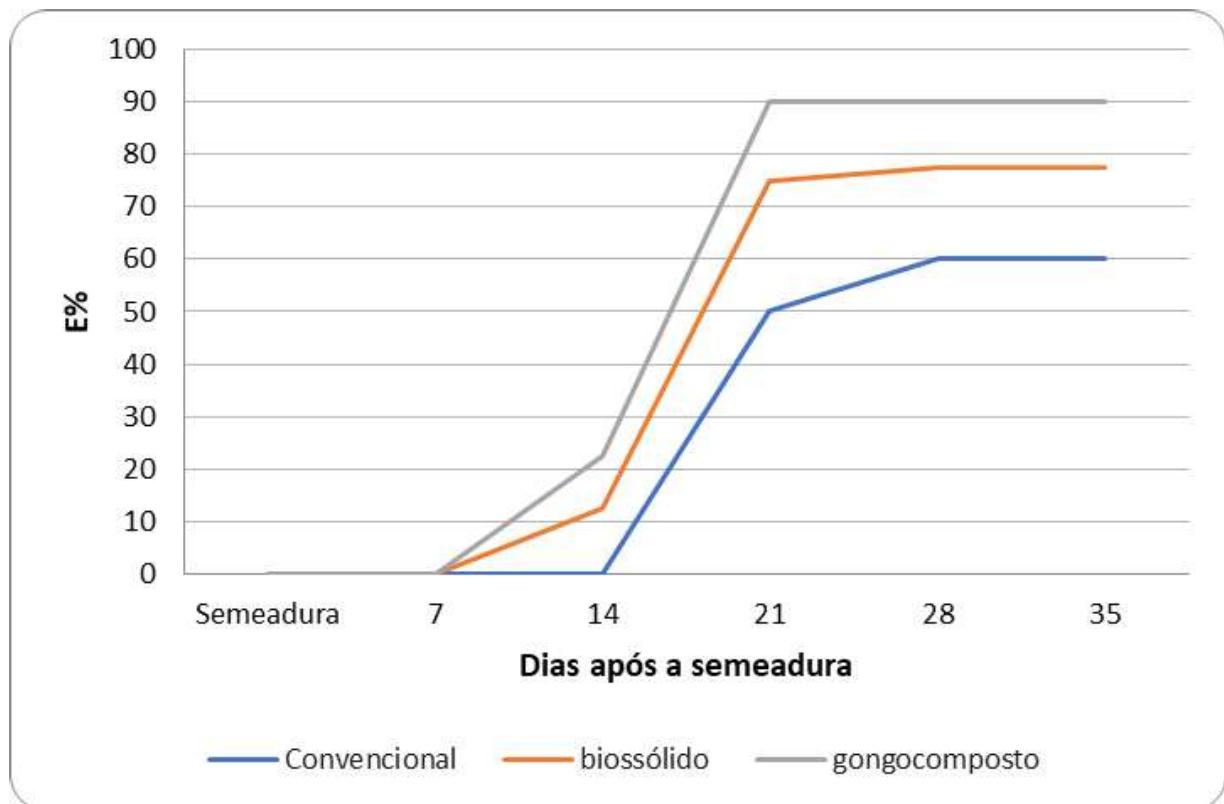


Figura 13. Médias da Taxa de emergência (E%) para mudas de *Cybistax antisyphilitica* produzidas nos substratos convencional, biossólido e gongocomposto.

Quanto ao IVE (índice de velocidade de emergência), foi observada uma diferença estatisticamente significativa entre os grupos ($p\text{-valor}<0,05$), indicando que os diferentes substratos exerceram um efeito significativo no IVE das sementes de *Cybistax antisyphilitica* (Figura 14.C). Observou-se que o gongocomposto apresentou a maior média de IVE (0,39) e difere significativamente do substrato convencional e é igual ao biossólido. O substrato convencional apresentou a menor média de índice de velocidade de emergência (0,22) e difere significativamente dos outros tratamentos. Esses resultados sugerem que o gongocomposto pode ser mais eficaz na promoção da velocidade de emergência das sementes em comparação com os outros substratos avaliados, podendo ser atribuídos às características físicas superiores do T3, particularmente sua elevada microporosidade (45,39%) e capacidade de retenção de água (32,45 mL/50cm³), que proporcionaram condições ótimas para a germinação. Cavalcante *et al.* (2016) observaram um índice de velocidade de emergência maior com a adição de insumos orgânicos na produção de mudas de gliricídia. Mota *et al.*, (2015) observaram que substâncias húmicas na concentração entre 0 e 0,25% promoveram um efeito positivo na germinação de sementes de Aroeira-do-Sertão (*Myracrodruron urundeuva* Fr. All.). Com isso, substratos de origem orgânica podem promover a emergência/germinação.

O fator de tratamento (substrato) não revelou diferença estatisticamente significativa entre os grupos ($p\text{-valor}>0,05$), indicando que os diferentes substratos não influenciaram

significativamente a sobrevivência das mudas de *Cybistax antisyphilitica* após três meses (Figura 14.F). Embora o teste F não tenha evidenciado diferenças significativas entre os tratamentos, é importante notar que as médias de sobrevivência das mudas são relativamente altas em todos os tratamentos. A sobrevivência foi de 87,5% para T1 e 100% para os T2 e T3. Esses dados indicam que, independentemente do substrato utilizado, os três materiais testados foram capazes de sustentar a manutenção das mudas até os três meses de idade, o que é um indicativo positivo para a viabilidade prática de uso desses substratos.

Para a altura e DAC das mudas (Figura 14.A/B), o fator tratamento apresentou diferença, indicando influência nesses dois parâmetros avaliados das mudas de *Cybistax antisyphilitica*. O teste de Tukey demonstrou que o biossólido promoveu maior crescimento, com valores maiores de altura média (12,74 cm) e DAC (4,10 cm), seguido pelo substrato convencional de viveiro e pelo tratamento gongocomposto, com a menor altura média (8,49 cm) e DAC (2,59 cm), demonstrando que o biossólido confere melhores condições relacionadas a nutrição das mudas de *Cybistax antisyphilitica*, o que vai de acordo com os valores encontrados nas análises químicas realizadas e discutidos anteriormente, principalmente no que se refere ao seu elevado teor de nitrogênio e fósforo, elementos fundamentais para o crescimento inicial das plantas o que justifica os resultados observados neste trabalho. Freitas (2016) conduziu um estudo utilizando mudas de ipê verde com cinco meses, cultivadas em um substrato feito de solo de cerrado, areia e vermiculita na proporção 2:1:1. As plantas foram expostas a três diferentes condições de luz: pleno sol, sub-bosque e clareira. Após sete meses de observação, os resultados mostraram que as mudas atingiram alturas médias de 1,95 cm, 3,76 cm e 5,2 cm, respectivamente, de acordo com o ambiente em que estavam. Aos 5 meses de idade, Silva *et al.* (2022) encontrou resultados similares ao do autor anterior para mudas de ipê-verde produzidas em formulações de substratos contendo lodo de esgoto, moinha de carvão e terra de subsolo, atingindo alturas entre 2,50 cm e 3,81 cm, justificando que esses valores, relativamente baixos, são coerentes para espécies nativas tardias (CUNHA *et al.*, 2005). Entretanto, quando observado os valores aferidos para o biossólido, gongocomposto e substrato convencional, verifica-se uma discrepância em comparação com os valores de altura ditos coerentes para a espécie, demonstrando que um substrato com, por exemplo, 100% de biossólido consegue promover um crescimento em aproximadamente três vezes mais que o normal para a produção de mudas de ipê-verde.

De acordo com Delarmina (2014), o diâmetro do colo é um fator importante para a sobrevivência das mudas após o plantio em campo. No entanto, para garantir mudas florestais de boa qualidade, esse diâmetro deve variar entre 5 e 10 mm (GONÇALVES *et al.*, 2015), mostrando que nenhum dos substratos atenderam essa faixa proposta, indicando que o intervalo proposto não se aplica para o ipê-verde ou que ela precisa de um tempo maior de viveiro. Adicionalmente, é importante considerar que as mudas não passaram por um processo de rustificação, etapa que visa preparar as plantas para condições adversas do ambiente de campo. A ausência dessa etapa pode ter influenciado negativamente no acúmulo de biomassa e, consequentemente, no crescimento em diâmetro do colo.

O desempenho relacionado aos parâmetros de crescimento pode estar diretamente relacionado às características químicas do T2, que apresentou os maiores teores de nitrogênio (5,32 g/L), fósforo (3,87 g/l) e potássio (1,99 g/L), além de uma relação C/N (10,6) que favorece a disponibilidade imediata de nutrientes. A densidade volumétrica do T2 (0,61 g/cm³) e porosidade total (71,81%) também se mostraram adequadas para o desenvolvimento radicular.

O substrato convencional (T1) apresentou desempenho intermediário na maioria dos parâmetros avaliados, com limitações particularmente evidentes na fase de emergência (IVE = 0,22; TME = 22,16 dias), provavelmente em decorrência de sua alta densidade volumétrica (1,01 g/cm³) e baixa microporosidade (21,25%).

A Figura 15.A/B/C exemplifica o desempenho das mudas de *C. antisyphilitica* aos três meses de idade.

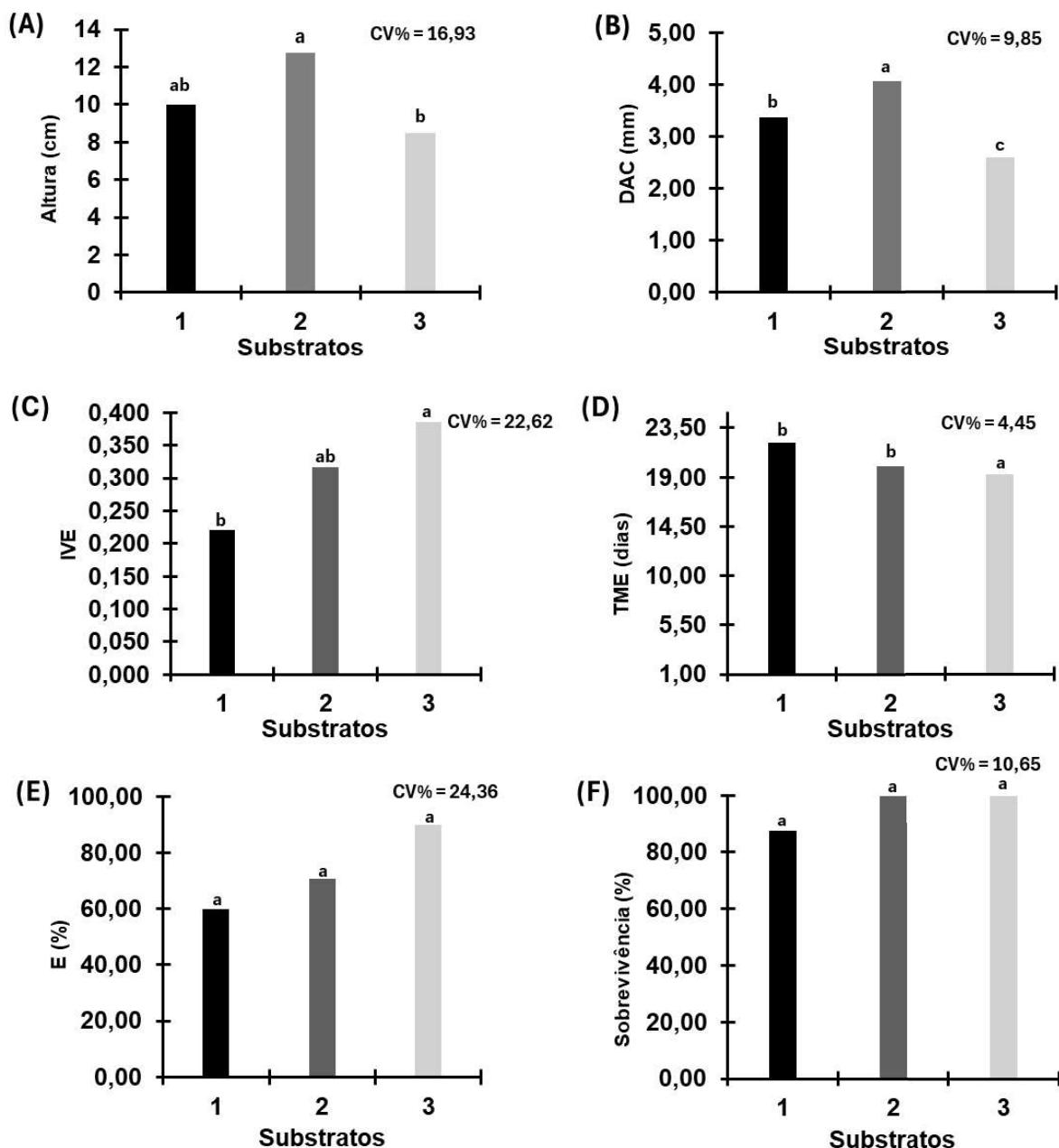


Figura 14. Gráficos com as médias dos parâmetros (A: Altura; B: DAC – diâmetro a altura do coleto; C: IVE – índice de velocidade de emergência; D: TME – tempo médio de emergência; E: E% - Taxa de emergência; e F: S – sobrevivência) avaliados aos 3 meses de idade para as mudas de *C. antisyphilitica* (ipê-verde) produzidas nos substratos 1 (convencional), 2 (biossólido) e 3 (gongocomposto). Médias seguidas por letras diferentes são significativamente diferentes pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.



Figura 15. A- Produção de mudas de ipê-verde em biossólido, substrato convencional e gongocomposto aos três meses de idade; B- Mudas de ipê-verde produzidas no tratamento 2/repetição1; C- Mudas de ipê-verde produzidas nos três tratamentos (gongocomposto, substrato convencional e biossólido, da esquerda para direita).

Em síntese, os resultados indicam que a seleção do substrato ideal para produção de mudas de ipê-verde deve considerar o objetivo específico da produção. Para otimizar a fase de emergência, recomenda-se o uso de gongocomposto, enquanto o biossólido mostra-se mais adequado quando se prioriza o crescimento inicial. A combinação desses substratos ou sua complementação com fertilizantes específicos (especialmente fósforo para o T3 e magnésio para todos os tratamentos) pode representar uma estratégia promissora para produção de mudas de qualidade, aliando sustentabilidade e eficiência produtiva. Estudos futuros deverão investigar formulações mistas e períodos mais prolongados de cultivo para validar essas hipóteses. A combinação dessas abordagens pode ser promissora para sistemas de produção de mudas mais eficientes e sustentáveis, especialmente em contextos de reaproveitamento de resíduos orgânicos.

4.4. *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan – Angico-branco

Os resultados demonstraram diferenças significativas no desenvolvimento de mudas de angico-branco em função dos substratos testados. Ao ser comparado com o substrato

convencional, o gongocomposto proporcionou melhores condições de mudas de angico-branco, com parâmetros estatisticamente melhores em dois (E% e IVE) de seis parâmetros avaliados, sendo estes dois, relacionados a variáveis de emergência. (Figura 17. C/E)

Para a maioria dos parâmetros analisados (com exceção do TMG), os testes de normalidade dos resíduos e homogeneidade de variância demonstraram que os resíduos estão distribuídos de forma normal e que as variâncias são homogêneas, validando os pressupostos da análise estatística realizada. O Coeficiente de variação para essa espécie variou de 3,55 a 23,04%, o que vem a ser uma faixa aceitável para experimentos em viveiros e casas de vegetação (Figura 17).

O gongocomposto (T3) destacou-se nos parâmetros relacionados à emergência, apresentando a maior taxa de emergência (97,5%) e o maior Índice de Velocidade de Emergência (IVE = 1,11), diferindo significativamente do substrato convencional (T1) em ambos os parâmetros ($p < 0,05$), sendo estatisticamente igual ao biossólido. Esse desempenho superior na fase de emergência pode ser atribuído às características físicas do T3 e T2 particularmente sua elevada microporosidade (45,39%) e capacidade de retenção de água (32,45 mL/50cm³), que criaram condições ideais para a germinação das sementes. Esse desempenho superior na fase de emergência pode ser atribuído às características físicas do T3, particularmente sua elevada microporosidade (45,39%) e capacidade de retenção de água (32,45 mL/50cm³), que criaram condições ideais para a germinação das sementes. As Figuras 16 e 17.C/E ilustram os dados do IVE e E%, respectivamente, para cada substrato.

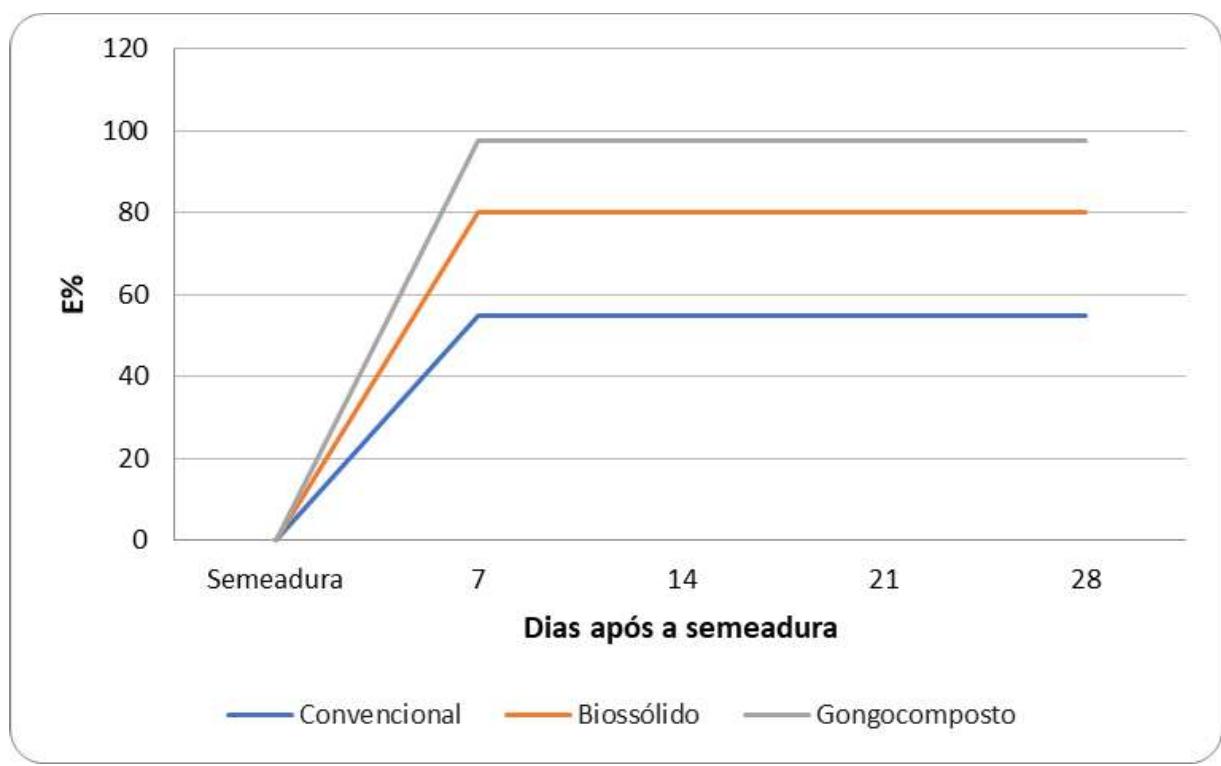


Figura 16. Médias da Taxa de emergência (E%) para mudas de *Anadenanthera colubrina* produzidas nos substratos convencional, biossólido e gongocomposto.

Os resultados do TME (Figura 17.D) apresentados indicam que houve algum problema durante a análise estatística. Isso geralmente ocorre quando não há variação nos dados, ou seja, quando todos os valores são iguais, sendo exatamente o que aconteceu com os dados de TME para o angico-branco devido a emergência das sementes ao longo do tempo não ter sido contemplada em um intervalo de tempo adequado, sugerindo-se que, para essa espécie, o

intervalo das contagens deve ser reduzido para contemplar a diferença da emergência das sementes ao longo dos dias corridos.

Para Altura e DAC (Figura 17.A/B), as análises demonstraram diferença estatisticamente significativa entre os grupos ($p\text{-valor}<0,05$), indicando que os diferentes substratos exerceram influência significativa na altura e DAC das mudas de *Anadenanthera colubrina*. Com base no teste de médias, verificou-se que o Biossólido obteve a maior média de altura das mudas (32,98 cm) e DAC (3,59 cm). Por outro lado, o gongocomposto apresentou a menor média de altura das mudas (15,27 cm) e DAC (2,01 cm), sendo significativamente diferente dos demais tratamentos. Scheer *et al.* (2012) também encontrou resultados positivos aos oito meses de idade na produção de mudas de angico-branco para o biossólido, quando comparou substratos a base de lodo de esgoto com substrato comercial a base de casca de pinus e vermiculita, indicando que o primeiro pode ser utilizado com alternativa a substratos comerciais. Resultados semelhantes foram observados em outros estudos que avaliaram o uso de lodo de esgoto como substrato para produção de mudas, como o de Nóbrega *et al.* (2007), que constataram melhores desempenhos em mudas de *Schinus terebinthifolius*. Esses resultados podem ser explicados pelas características químicas do T2, que apresentou os maiores teores de nitrogênio (5,32 g/kg) e fósforo (3,87 g/kg), nutrientes essenciais para o crescimento inicial.

A sobrevivência (Figura 17.F) das mudas não diferiu significativamente entre os tratamentos ($p>0,05$), mantendo-se em níveis satisfatórios (87,5% a 95%), indicando que todos os substratos foram adequados para a manutenção das plantas após a emergência. Contudo, o crescimento significativamente menor observado no T3 (15,27 cm de altura e 2,01 mm de DAC) em comparação com o T2 sugere que, apesar de seu excelente desempenho na fase de emergência, o gongocomposto pode necessitar de complementação nutricional, especialmente em fósforo, para sustentar o crescimento vegetativo posterior.

A Figura 18.A/B ilustra a produção de mudas de angico-branco no experimento em questão.

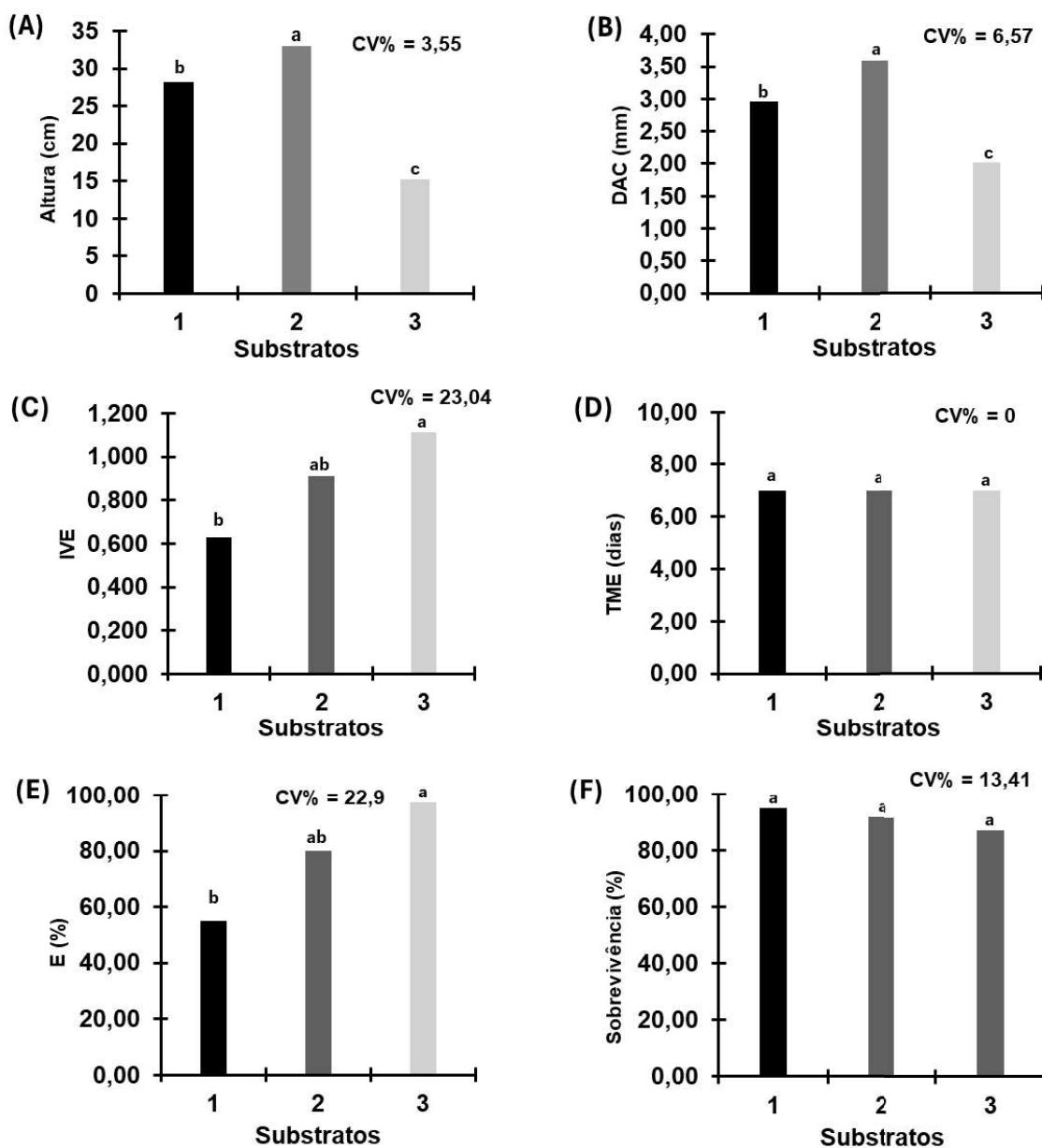


Figura 17. Gráficos com as médias dos parâmetros (A: Altura; B: DAC – diâmetro a altura do coleto; C: IVE – índice de velocidade de emergência; D: TME – tempo médio de emergência; E: E% - Taxa de emergência; e F: S – sobrevivência) avaliados aos 3 meses de idade para as mudas de *A. colubrina* (Angico-branco) produzidas nos substratos 1 (convencional), 2 (biossólido) e 3 (gongocomposto). Médias seguidas por letras diferentes são significativamente diferentes pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.



Figura 18. A/B- Produção de angico-branco em biossólido, substrato convencional e gongocomposto;

Em síntese, a combinação entre a alta eficiência do gongocomposto na fase de emergência e o desempenho superior do biossólido no crescimento vegetativo sugere que formulações mistas destes substratos podem representar uma estratégia promissora para a produção de mudas de angico-branco, otimizando tanto a germinação quanto o desenvolvimento posterior. Estudos adicionais são necessários para testar esta hipótese e determinar proporções ideais de mistura.

4.5. *Melanoxylum brauna* Schott. – Braúna

Os resultados obtidos para *Melanoxylum brauna* demonstraram um padrão de resposta distinto em relação aos substratos testados, diferenciando-se significativamente do observado para as outras espécies estudadas. Dentre os parâmetros, apenas um dos seis avaliados foi estatisticamente diferente entre os tratamentos avaliados, sendo este o diâmetro a altura do colo (DAC) (Figura 18.B). O teste de médias revela que os tratamentos 1 e 2 não diferem entre si, mas ambos são significativamente maiores do que o tratamento 3. Isso sugere que o substrato convencional e o biossólido promovem um maior crescimento do diâmetro do colo em comparação com o gongocomposto. Para os demais parâmetros, a braúna se mostrou indiferente frente aos tratamentos avaliados. O Coeficiente de variação para essa espécie variou de 3,55 a 23,04%, o que vem a ser uma faixa aceitável para experimentos em viveiros e casas de vegetação (Figura 20).

Notavelmente, os parâmetros relacionados à emergência não apresentaram variações significativas entre os tratamentos. As taxas de emergência mantiveram-se elevadas em todos os substratos (T1: 92,5%; T2: 92,5%; T3: 95,0%) (Figura 19 e 20.E), assim como os índices de velocidade de emergência (IVE) que variaram de 0,72 (T1) a 0,84 (T3) (Figura 20.C). Esta uniformidade de resultados indica que *M. brauna* apresenta elevada plasticidade germinativa,

adaptando-se eficientemente a diferentes condições de substrato na fase inicial de desenvolvimento.

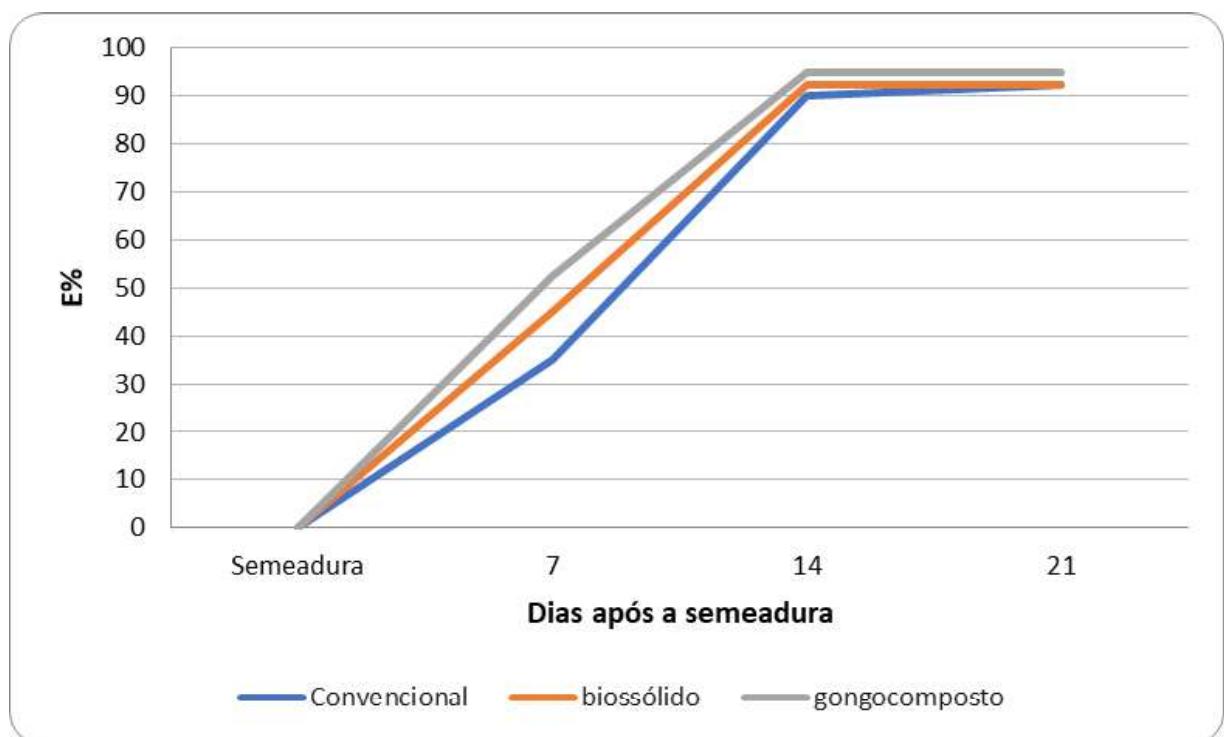


Figura 19. Médias da Taxa de emergência (E%) para mudas de *Melanoxylum brauna* produzidas nos substratos convencional, bioassolido e gongocomposto.

Para o TME (Figura 20.D), os resultados também indicam que o fator tratamento não teve um efeito significativo no tempo médio de germinação das sementes. As médias deste parâmetro para cada tratamento foram de: 12 dias para o tratamento 1; 11 dias para o tratamento 2; e 10 dias para o tratamento 3.

Os resultados relacionados à Taxa de emergência, IVE e TMG, os quais foram altos e próximos para todos os tratamentos, sugerem que, para esta espécie, as condições experimentais utilizadas e a escolha do substrato não exercem influência significativa na emergência das sementes. Isso sugere que as sementes de braúna são mais generalistas e germinam bem em mais de uma condição.

Quanto à altura das mudas (Figura 20.A), não houve diferenças significativas entre as médias dos tratamentos para a altura das mudas. As médias são aproximadamente 6,5, 6,15 e 5,83 para os tratamentos 1, 2 e 3, respectivamente. Isso sugere que, para a altura das mudas, não há uma preferência clara por um substrato sobre os outros dois. Contudo, esse comportamento também pode estar relacionado também com as limitações provocadas por um possível patógeno que acomete o sistema radicular e o consequente crescimento e desenvolvimento da espécie, sendo necessários mais estudos para comprovar tal afirmação.

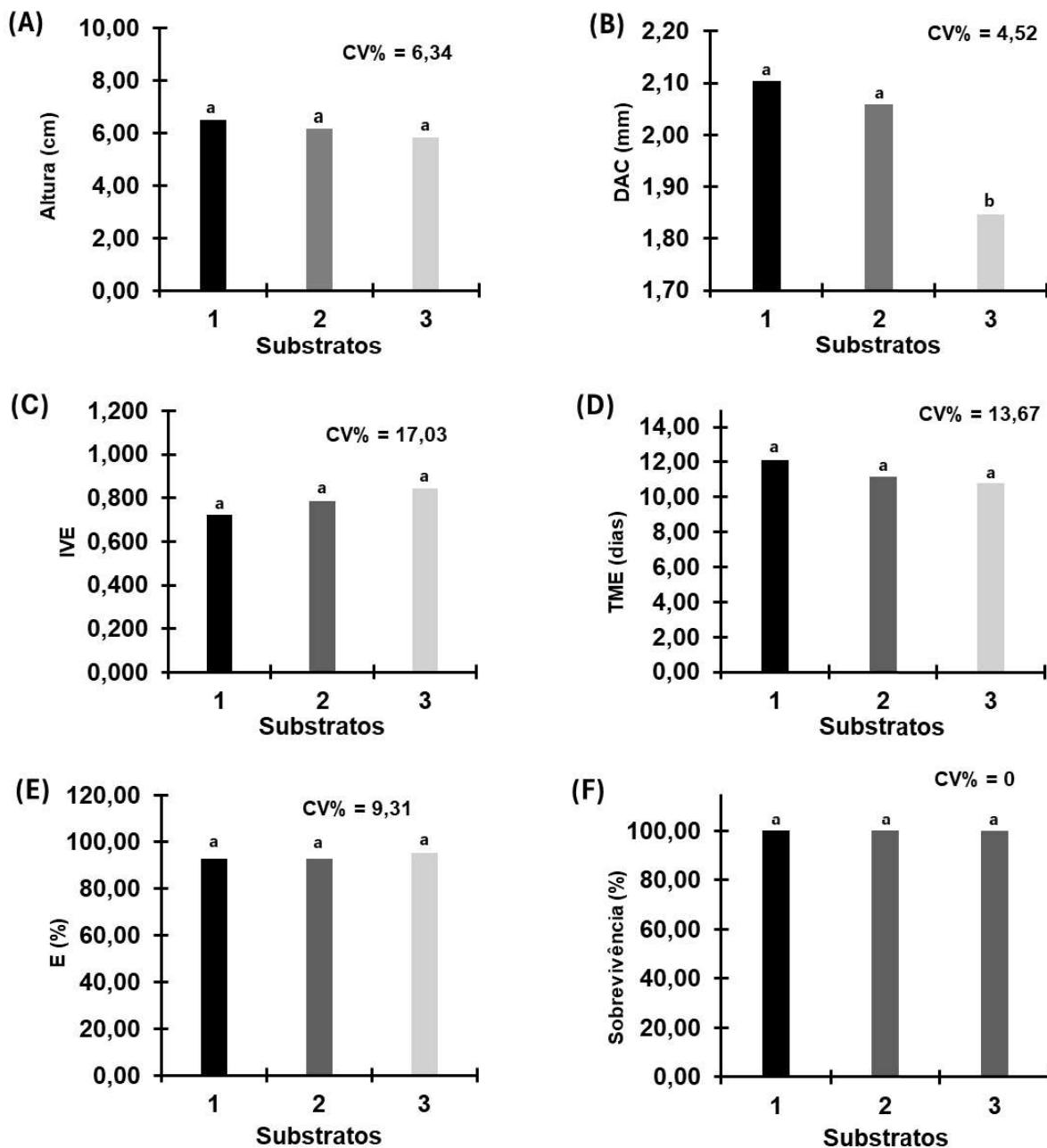


Figura 20. Gráficos com as médias dos parâmetros (A: Altura; B: DAC – diâmetro a altura do coleto; C: IVE – índice de velocidade de emergência; D: TME – tempo médio de emergência; E: E% - Taxa de emergência; e F: S – sobrevivência) avaliados aos 3 meses de idade para as mudas de *M. brauna* (Braúna) produzidas nos substratos 1 (convencional), 2 (biossólido) e 3 (gongocomposto). Médias seguidas por letras diferentes são significativamente diferentes pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Após os 3 meses de idade, a braúna apresentou o comportamento esperado, caracterizado pela estagnação do crescimento, seguido pelo surgimento de sintomas de deficiência nutricional ou presença de patógenos, culminando em uma mortalidade acelerada nos tratamentos com biossólido e gongocomposto. Uma justificativa para o desempenho inferior da braúna nos substratos orgânicos pode estar relacionada à elevada quantidade de matéria orgânica e à alta capacidade de retenção de água, conforme evidenciado nas análises químicas e físicas, fatores que possivelmente oferecerem condições favoráveis a uma possível

presença de patógenos que atacam o sistema radicular da espécie, comprometendo seu crescimento. Ademais, tal comportamento pode estar relacionado com exigências ecológicas da espécie, por ocorrer também em solos bem drenados, pode apresentar sensibilidade a condições de excessiva umidade e matéria orgânica.

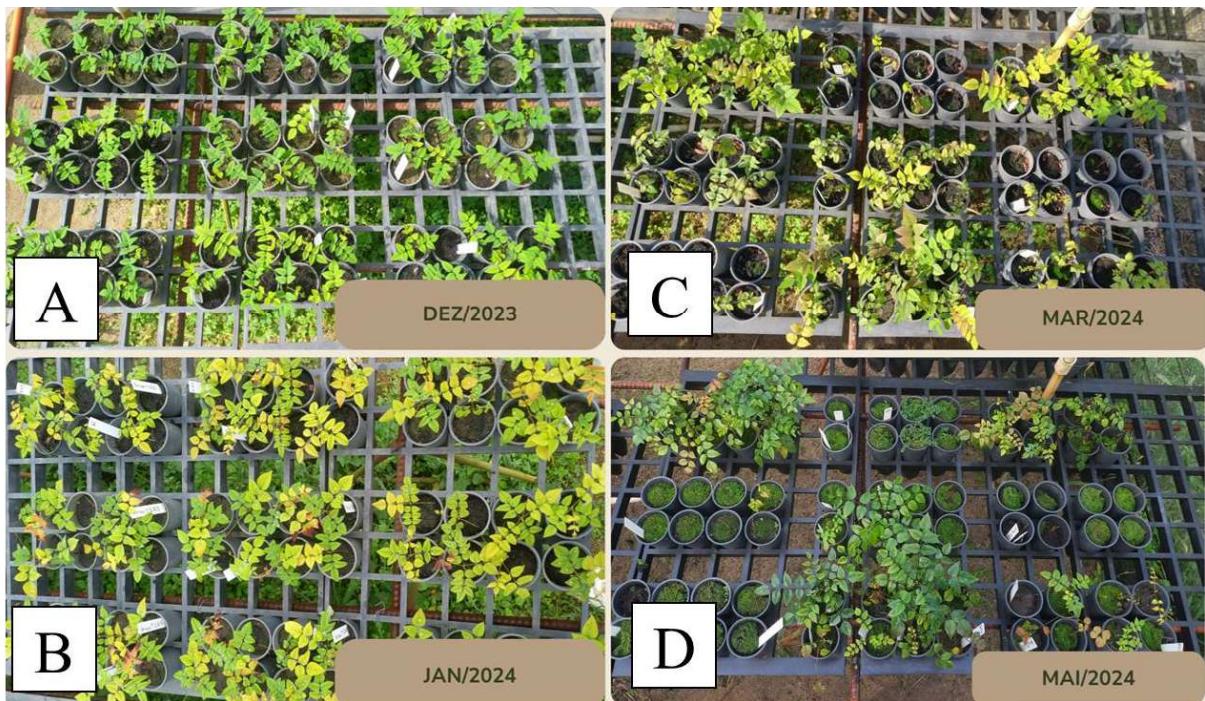


Figura 19. Monitoramento do desempenho da braúna ao longo dos meses de 2023 e 2024. **A-** Monitoramento do mês de dezembro; **B-** Monitoramento do mês de janeiro; **C-** Monitoramento do mês de março; **D-** Monitoramento do mês de maio.

Estes resultados têm importantes implicações práticas para a produção de mudas desta espécie. Embora todos os substratos tenham se mostrado adequados para a fase de emergência, o substrato convencional demonstrou melhor desempenho na manutenção da vitalidade das mudas em estágios mais avançados de desenvolvimento. Para o uso dos substratos alternativos (biossólido e gongocomposto), recomendam-se estudos que investiguem a modificação da formulação com adição de materiais drenantes (ex.: areia grossa) para reduzir a retenção hídrica, a implementação de tratamentos para controle de possíveis patógenos, o ajuste no manejo da irrigação para evitar excesso de umidade e o monitoramento rigoroso do desenvolvimento radicular.

Em conclusão, os resultados demonstram que *M. brauna* apresenta padrões específicos de resposta aos diferentes substratos, com baixa seletividade na fase de emergência, mas maior sensibilidade em estágios avançados de desenvolvimento quando cultivada em substratos orgânicos.

4.6. Visão geral

Os experimentos revelaram padrões distintos de resposta entre as três espécies florestais aos diferentes substratos testados. Para *Cybistax antisyphilitica* (ipê-verde), observou-se uma clara complementaridade entre os substratos, com o gongocomposto promovendo melhor desempenho na emergência (IVE = 0,39; E% = 90%) e o biossólido proporcionando maior crescimento vegetativo (altura = 12,74 cm; DAC = 4,10 mm). Já *Anadenanthera colubrina*

(angico-branco) apresentou respostas mais acentuadas, com o gongocomposto destacando-se na emergência (IVE = 1,11; E% = 97,5%) e o biossólido no crescimento posterior (altura = 32,98 cm). Em contraste, *Melanoxylum brauna* (braúna) demonstrou menor sensibilidade aos substratos, com parâmetros de emergência uniformemente altos em todos os tratamentos (taxa > 92,5%), porém com melhor desenvolvimento do DAC no substrato convencional (2,10 mm) e biossólido (2,06 mm).

Os resultados indicam que a seleção do substrato ideal deve considerar tanto as características da espécie quanto a fase de desenvolvimento. Enquanto o biossólido mostrou-se consistentemente superior para o crescimento vegetativo nas três espécies, o gongocomposto destacou-se na emergência do ipê-verde e angico-branco. A braúna, por sua vez, apresentou exigências específicas, com melhor desempenho geral no substrato convencional, sugerindo maior sensibilidade às propriedades físicas e químicas dos materiais orgânicos. Esses achados reforçam a importância de testes específicos por espécie para a otimização da produção de mudas florestais.

Outro ponto relevante a ser considerado é a elevada variabilidade na composição do biossólido, que pode dificultar sua padronização e o controle de seus efeitos no crescimento das mudas. Essa variação depende de diversos fatores, como a origem dos resíduos, o processo de tratamento utilizado e o tempo de estabilização, o que torna difícil prever com precisão o comportamento do material em diferentes ciclos de produção. Essa incerteza pode comprometer a reproduzibilidade dos resultados e a segurança no uso do biossólido como substrato comercial, reforçando a necessidade de análises prévias e monitoramento constante de suas características físico-químicas antes da aplicação.

5. CONCLUSÃO

A caracterização dos substratos evidenciou que o biossólido oferece condições mais favoráveis e equilibradas ao desempenho das mudas de ipê-verde e angico-branco.

Com base nos resultados obtidos, conclui-se que os substratos orgânicos influenciam o desempenho inicial do Ipê-verde e Angico-branco. O biossólido destacou-se como o substrato mais equilibrado, promovendo o melhor desempenho geral para *C. antisyphilitica* e *A. colubrina* aos 3 meses de idade das mudas. O gongocomposto evidenciou potencial para estimular a emergência, embora não tenha promovido crescimento superior ao biossólido. Já o substrato convencional apresentou desempenho inferior ou intermediário em quase todos os parâmetros. *M. brauna* não demonstrou uma preferência clara por um determinado substrato nos estágios iniciais de emergência e crescimento até os 3 meses.

O presente estudo mostrou, pela primeira vez, que mudas de espécies nativas florestais produzidas no gongocomposto, tiveram um sucesso considerável quanto à promoção da emergência de plântulas.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos evidenciam o potencial do gongocomposto e do biossólido como alternativas sustentáveis aos substratos convencionais para a produção de mudas florestais. No entanto, a eficiência do gongocomposto pode ser ampliada por meio de ajustes em suas propriedades físicas, como densidade volumétrica e porosidade, visando proporcionar maior estabilidade ao sistema radicular durante o crescimento das espécies florestais. Além disso, é fundamental adequar a relação C/N, a fim de garantir a pronta disponibilidade de nutrientes e

evitar possíveis processos de imobilização que prejudiquem o desempenho de espécies florestais.

Recomenda-se, ainda, a continuidade das pesquisas com foco na interação entre as características químicas e biológicas do gongocomposto, especialmente no papel das substâncias húmicas, que podem atuar diretamente na indução da germinação e emergência, como o ácido fúlvico, que possui efeito hormonal em algumas espécies, além dos efeitos proporcionados pelas propriedades físico-químicas do substrato.

Ademais, o comportamento após três meses em *M. brauna*, como a alta mortalidade, pode indicar problemas como possíveis doenças fúngicas, que podem ter comprometido os resultados, sendo recomendados estudos mais aprofundados para investigar e confirmar a suscetibilidade da braúna a fungos que atacam o sistema radicular, bem como explorar possíveis intervenções para resolver esse problema. Por fim, destaca-se a necessidade de estudos mais aprofundados sobre a microbiota presente no gongocomposto, considerando que esse tipo de compostagem não atinge temperaturas elevadas, como na compostagem tradicional, o que pode favorecer a sobrevivência de microrganismos potencialmente patogênicos. Investigações futuras devem identificar esses microrganismos e avaliar suas possíveis interações com as espécies vegetais, bem como seus efeitos sobre a sanidade e o desempenho das mudas.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, A. H. M. de *et al.* Urban solid waste in the production of *Lafoensia pacari* seedlings. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [s. l.], v. 21, p. 83–87, 2017.
- AGUIAR, N. S. D. *et al.* Basalt rock dust incorporated to substrate favors *Monteverdia ilicifolia* seedlings initial growth. **Pesquisa Florestal Brasileira**, [s. l.], v. 42, p. 1–9, 2022.
- ALBUZIO, A.; FERRARI, G.; NARDI, S. Effects of humic substances on nitrate uptake and assimilation in barley seedlings. **Canadian Journal of Soil Science**, [s. l.], v. 66, n. 4, p. 731–736, 1986.
- ALONSO, J. **CARACTERIZAÇÃO DE BIOSSÓLIDOS PARA A PRODUÇÃO DE MUDAS DE ESPÉCIES ARBÓREAS DA MATA ATLÂNTICA**. 2018. 116 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais - UFRRJ, Seropédica, RJ, 2018. Disponível em: https://rima.ufrj.br/jspui/handle/20.500.14407/9388?locale=pt_BR.
- ANTUNES, L. F. de S. *et al.* DESEMPENHO AGRONÔMICO DA ALFACE CRESPA A PARTIR DE MUDAS PRODUZIDAS COM GONGOCOMPOSTO. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, [s. l.], v. 8, n. 3, 2018. Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/rbas/article/view/3009>. Acesso em: 22 abr. 2025.
- ANTUNES, L. F. D. S. *et al.* Production and efficiency of organic compost generated by millipede activity. **Ciência Rural**, [s. l.], v. 46, n. 5, p. 815–819, 2016.
- ANTUNES, L. F. D. S. *et al.* Sustainable organic substrate production using millicompost in combination with different plant residues for the cultivation of *Passiflora edulis* seedlings. **Environmental Technology & Innovation**, [s. l.], v. 28, p. 102612, 2022.
- AQUINO, A. M. de; CORREIA, M. E. F. Invertebrados edáficos e o seu papel nos processos do solo. [s. l.], 2005. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/626880>. Acesso em: 9 jun. 2025.

ARAÚJO, R. de S. **Bignoniaceae Juss. do Parque Estadual do Itacolomi, Minas Gerais, Brasil: florística, similaridade e distribuição geográfica.** 2008. - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2008. Disponível em: <http://locus.ufv.br/handle/123456789/2487>. Acesso em: 16 jul. 2024.

ARENAS, M. *et al.* Coir as an Alternative to Peat in Media for Tomato Transplant Production. [s. l.], 2002. Disponível em: <https://journals.ashs.org/hortsci/view/journals/hortsci/37/2/article-p309.xml>. Acesso em: 3 jun. 2025.

BARATTA, J.; PUNARO, A. Utilização do composto de resíduos da poda da arborização urbana em substratos para produção de mudas. [s. l.], 2007. Disponível em: <https://rima.ufrj.br/jspui/handle/20.500.14407/11182>. Acesso em: 9 jun. 2025.

BERTI, C. L. F. *et al.* CRESCIMENTO DE MUDAS DE BARU EM SUBSTRATO ENRIQUECIDO COM NITROGÊNIO, FÓSFORO E POTÁSSIO. **Cultura Agronômica: Revista de Ciências Agronômicas**, [s. l.], v. 26, n. 2, p. 191–202, 2017.

BORGHETTI, F.; FERREIRA, A. **Germinação: Do básico ao aplicado.** [S. l.: s. n.], 2004.

BRANCALION, P. H. S. *et al.* Instrumentos legais podem contribuir para a restauração de florestas tropicais biodiversas. **Revista Árvore**, [s. l.], v. 34, n. 3, p. 455–470, 2010.

BRASIL. Diário Oficial da União. **INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 6, DE 23 DE SETEMBRO DE 2008.** 2008. Disponível em: https://antigo.mma.gov.br/estruturas/179/_arquivos/179_05122008033615.pdf.

BRASIL. Diário Oficial da União. **LEI Nº 12.305, DE 2 DE AGOSTO DE 2010 - Política Nacional de Resíduos Sólidos.** 2010. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 22 abr. 2025.

BRASIL. Diário Oficial da União, Brasília, DF. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA. Instrução Normativa SDA N.º 17 de 21 de maio de 2007.** Métodos Analíticos Oficiais para Análise de Substratos e Condicionadores de Solos. 2007. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-17-de-21-05-2007-aprova-metodo-substrato.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2024.

BRASIL. Diário Oficial da União, Brasília-DF. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA. Instrução Normativa SDA No 31 de 23 de outubro de 2008.** Regras sobre definições, exigências, especificações, garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos fertilizantes orgânicos e dos biofertilizantes, destinados à agricultura. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-61-de-8-7-2020-organicos-e-biofertilizantes-dou-15-7-20.pdf>. Acesso em: 4 abr. 2025.

BROFAS, G.; MICHOPoulos, P.; ALIFRAGIS, D. Sewage Sludge as an Amendment for Calcareous Bauxite Mine Spoils Reclamation. **Journal of Environmental Quality**, [s. l.], v. 29, n. 3, p. 811–816, 2000.

BUGNI, N. O. C. *et al.* GONGOCOMPOSTO: SUBSTRATO ORGÂNICO PROVENIENTE DE RESÍDUOS DE PODA PARA PRODUÇÃO DE MUDAS DE ALFACE. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, [s. l.], v. 9, n. 3, 2019. Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/rbas/article/view/8107>. Acesso em: 26 abr. 2024.

CABREIRA, G. V. Biossólido de lodo de esgoto na restauração florestal: produção de mudas e adubação de plantio. [s. l.], 2017. Disponível em: <https://rima.ufrj.br/jspui/handle/20.500.14407/11324>. Acesso em: 4 dez. 2024.

CALDEIRA, M. V. W. *et al.* Biossólido como substrato para produção de mudas de *Toona ciliata* var. *australis*. **Revista Árvore**, [s. l.], v. 36, n. 6, p. 1009–1018, 2012.

CAMPBELL, S. **Manual de compostagem para hortas e jardins: como aproveitar bem o lixo orgânico doméstico**. São Paulo: Nobel, 1995.

CAPANEMA, L.; PIMENTEL, L. Saneamento e resíduos sólidos. In: O BNDES E AS AGENDAS SETORIAIS : CONTRIBUIÇÕES PARA A TRANSIÇÃO DE GOVERNO. Rio de Janeiro: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2018. p. 31–43. Disponível em: <http://web.bnDES.gov.br/bib/jspui/handle/1408/18261>. Acesso em: 21 abr. 2025.

CARNEIRO, J. G. A. **Produção e controle de qualidade de mudas florestais**. Curitiba: UFPR/FUPEF: [s. n.], 1995.

CARVALHO, P. E. R. **Angico Branco: taxonomia e nomenclatura**. [S. l.]: Colombo: Embrapa Florestas, 2002. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/306306/1/CT0056.pdf>.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies Arbóreas Brasileiras**. Colombo, PR : Embrapa Florestas: Embrapa Informação Tecnológica, 2010. (Coleção Espécies Arbóreas Brasileiras). v. 4 Disponível em: <https://www.embrapa.br/florestas/publicacoes/especies-arboreas-brasileiras>.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e usos da madeira**. [S. l.]: Colombo: EMBRAPA-CNPF/SPI, 1994.

CAVALCANTE, A. C. P. *et al.* Produção de mudas de gliricídia com diferentes substratos orgânicos. **Agrarian**, [s. l.], v. 9, n. 33, p. 233–240, 2016.

CORREIA, M. E. F. **Distribuição, Preferência Alimentar e Transformação de Serapilheira por Diplópodes em Sistemas Florestais**. 2003. 116 f. Tese (Doutorado em Agronomia, área de concentração em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2003. Disponível em: [https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=pc&id=625586&biblioteca=vazio&b_usca=\(autoria:%22CORREIA,%20M.%20E.%20F.%22\)&qFacets=\(autoria:%22CORREIA,%20M.%20E.%20F.%22\)&sort=&paginacao=t&paginaAtual=1](https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=pc&id=625586&biblioteca=vazio&b_usca=(autoria:%22CORREIA,%20M.%20E.%20F.%22)&qFacets=(autoria:%22CORREIA,%20M.%20E.%20F.%22)&sort=&paginacao=t&paginaAtual=1). Acesso em: 9 jun. 2025.

CUNHA, A. O. *et al.* Efeitos de substratos e das dimensões dos recipientes na qualidade das mudas de *Tabebuia impetiginosa* (Mart. Ex D.C.) Standl. **Revista Árvore**, [s. l.], v. 29, n. 4, p. 507–516, 2005.

DA ROS, C. O. *et al.* Uso de Substrato Compostado na Produção de Mudas de Eucalyptus dunnii e Cordia trichotoma. **Floresta e Ambiente**, [s. l.], v. 22, n. 4, p. 549–558, 2015.

DE BERTOLDI, M.; VALLINI, G.; PERA, A. The Biology of Composting: a Review. **Waste Management & Research**, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 157–176, 1983.

DELARMINA, W. M. C. Diferentes Substratos para a Produção de Mudas de Sesbania virgata. **Diferentes Substratos para a Produção de Mudas de Sesbania virgata**, [s. l.], v. 21, n. 2, p. 224–233, 2014.

DURIGAN, G. *et al.* **Plantas do cerrado paulista: imagens de uma paisagem ameaçada**. [S. l.]: Páginas Letras, 2004. Disponível em: https://repositorio.cetesb.sp.gov.br/items/024877_Plantas-cerrado-paulista-2004.pdf. Acesso em: 16 jul. 2024.

FAO. **Principles for ecosystem restoration to guide the United Nations Decade 2021–2030**. [S. l.], 2021. Disponível em: <https://www.fao.org/3/cb6591en/cb6591en.pdf>. Acesso em: 23 abr. 2024.

FARIA, J. C. T. *et al.* Substratos à base de lodo de esgoto na produção de mudas de Senna alata. **Comunicata Scientiae**, [s. l.], v. 4, n. 4, p. 342–351, 2013.

FERREIRA, B. O. **Estratégias operacionais para o incremento da metanização em estado sólido de resíduos orgânicos urbanos com vistas ao aproveitamento energético do biogás**. 2019. 222 f. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais. Belo Horizonte, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/46937/1/Estrat%C3%A9gias%20operacionais%20para%20o%20incremento%20da%20metaniza%C3%A7%C3%A3o%20em%20o%20estado%20s%C3%B3lido%20de%20res%C3%ADduos%20org%C3%A2nicos%20urbanos%20com%20vistas%20ao%20aproveitamento%20energ%C3%A9tico%20do%20biog%C3%A1s.pdf>. Acesso em: 9 jun. 2025.

FLORES, A. V. *et al.* Efeito do substrato, cor e tamanho de sementes na germinação e vigor de Melanoxylon brauna. **Pesquisa Florestal Brasileira**, [s. l.], v. 34, n. 78, p. 141–147, 2014.

FREITAS, F. M. de. Respostas ecofisiológicas de Cybistax antisyphilitica Mart. (Ipê verde) em função das alterações na intensidade de luz. [s. l.], 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/17705>. Acesso em: 10 jun. 2025.

GANN, G. D. *et al.* International principles and standards for the practice of ecological restoration. Second edition. **Restoration Ecology**, [s. l.], v. 27, n. S1, 2019. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/rec.13035>. Acesso em: 23 abr. 2024.

GARRONE, R. F. *et al.* Biomass yield, macronutrient diagnosis, and nitrogen and calcium uptake during early growth of physic nut. **REVISTA CIÊNCIA AGRONÔMICA**, [s. l.], v. 47, n. 1, 2016. Disponível em: <http://www.gnresearch.org/doi/10.5935/1806-6690.20160003>. Acesso em: 8 jun. 2025.

GONÇALVES, J. L. de M. *et al.* Produção de mudas de espécies nativas: substrato, nutrição, sombreamento e fertilização. **Nutrição e fertilização florestal**, [s. l.], p. 427 : il, 2015.

- GONÇALVES, J. L. M.; POGGIANI, F. Substrato para produção de mudas florestais. In: SOLO-SUELO- CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 1996, Águas de Lindóia: SLCS/SBCS. *Anais* [...]. Águas de Lindóia: SLCS/SBCS: [s. n.], 1996.
- GROSSNICKLE, S. C. Why seedlings survive: influence of plant attributes. *New Forests*, [s. l.], v. 43, n. 5–6, p. 711–738, 2012.
- JOSÉ, A. C.; DAVIDE, A.; OLIVEIRA, S. AROEIRA (*Schinus terebinthifolius* Raddi) SEEDLING PRODUCTION FOR RECUPERATING BAUXITE MINED AREAS. *Cerne*, [s. l.], v. 11, 2005.
- KÄMPF, A. N. **Produção comercial de plantas ornamentais.** [S. l.]: Guaíba: Agrolivros, 2005. v. 2
- KHAROLA, S. *et al.* Barriers to organic waste management in a circular economy. *Journal of Cleaner Production*, [s. l.], v. 362, p. 132282, 2022.
- KRATKA, P. C.; CORREIA, C. R. M. D. A. CRESCIMENTO INICIAL DE AROEIRA DO SERTÃO (*Myracrodruon urundeuva* Allemão) EM DIFERENTES SUBSTRATOS. *Revista Árvore*, [s. l.], v. 39, n. 3, p. 551–559, 2015.
- KRATZ, D. *et al.* SUBSTRATOS RENOVÁVEIS PARA PRODUÇÃO DE MUDAS DE *Mimosa scabrella*. *Floresta*, [s. l.], v. 45, n. 2, p. 393, 2014.
- LABOURIAU, L. G. **A germinacao das sementes.** [S. l.]: Secretaria-Geral da Organização dos Estados Americanos, Programa Regional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, 1983.
- LIMA, L. M. Q. **Lixo: tratamento e biorremediação.** [S. l.]: Ryoki Inoue Produções, 1995.
- LORENZI, H. **Arvores brasileiras : manual de identificacao e cultivo de plantas arboreas nativas do Brasil.** [S. l.]: Nova Odessa: Plantarum, 1992. v. 1 Disponível em: <https://library.wur.nl/WebQuery/titel/591230>. Acesso em: 16 jul. 2024.
- LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil.** [S. l.]: Nova Odessa: Plantarum, 2002.
- LUCK, G. W.; DAILY, G. C.; EHRLICH, P. R. Population diversity and ecosystem services. *Trends in Ecology & Evolution*, [s. l.], v. 18, n. 7, p. 331–336, 2003.
- LUDWIG, F. *et al.* Características dos substratos na absorção de nutrientes e na produção de gérbera de vaso. *Horticultura Brasileira*, [s. l.], v. 32, n. 2, p. 184–189, 2014.
- MAGUIRE, J. D. Speed of Germination—Aid In Selection And Evaluation for Seedling Emergence And Vigor ¹. *Crop Science*, [s. l.], v. 2, n. 2, p. 176–177, 1962.
- MEEROW, A. Growth of Two Tropical Foliage Plants Using Coir Dust as a Container Medium Amendment. *HortTechnology*, [s. l.], v. 5, p. 237–239, 1995.
- MINAMI, K.; SALVADOR, E. D. Substrato para plantas. [s. l.], 2010. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/002127151>. Acesso em: 4 jun. 2025.

MORIM, M. P. **Anadenanthera in Flora e Funga do Brasil.** [s. l.], 2025. Disponível em: <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB18071..>

MOTA, A. R. *et al.* Efeito da substância húmica na germinação de sementes de *Myracrodruron urundeava* Fr. All. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, [s. l.], v. 10, n. 5, p. 26, 2015.

NARDI, S. *et al.* Nitrate uptake and ATPase activity in oat seedlings in the presence of two humic fractions. **Soil Biology and Biochemistry**, [s. l.], v. 23, n. 9, p. 833–836, 1991.

NELSON, D. W.; SOMMERS, L. E. Total Carbon, Organic Carbon, and Organic Matter. In: PAGE, A. L. (org.). **Agronomy Monographs**. Madison, WI, USA: American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 2015. p. 539–579. Disponível em: <http://doi.wiley.com/10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c29>. Acesso em: 15 abr. 2024.

NERY, F. C. *et al.* Morphological and physiological germination aspects of *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca**, [s. l.], 2018. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/33619>. Acesso em: 16 jul. 2024.

NÓBREGA, R. S. A. *et al.* Utilização de bioassólido no crescimento inicial de mudas de aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi). **Revista Árvore**, [s. l.], v. 31, p. 239–246, 2007.

OLIVEIRA JÚNIOR, J. F. *et al.* Análise da Precipitação e sua Relação com Sistemas Meteorológicos em Seropédica, Rio de Janeiro. **Floresta e Ambiente**, [s. l.], v. 21, n. 2, p. 140–149, 2014.

PASCUAL, J. A. *et al.* Organic substrate for transplant production in organic nurseries. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, [s. l.], v. 38, n. 3, p. 35, 2018.

QUEIROZ, L. Leguminosas da caatinga. **Universidade Estadual de Feira de Santana**, [s. l.], 2009.

R CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. [s. l.], 2020. Disponível em: <http://www.R-project.org/>. Acesso em: 4 jun. 2025.

RAMANATHAN, B.; ALAGESAN, P. Evaluation of millicompost versus vermicompost. **Current Science**, [s. l.], v. 103, n. 2, p. 140–143, 2012.

RANDO, J. G.; CARVALHO, D. A. S.; SILVA, T. S. **Melanoxylum in Flora e Funga do Brasil**. [s. l.], 2025. Disponível em: <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB28147>. Acesso em: 10 jun. 2025.

RIBEIRO-OLIVEIRA, J. P.; SANTANA, D. G.; LOBO, G. A. **Ipê-verde: Cybistax antisiphilitica (Mart.) Mart.** [s. l.]: Londrina: ABRATES, 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/334400607_Cybistax_antisiphilitica_Mart_Mart#fileContent.

RODDA, M. R. C. *et al.* Estímulo no crescimento e na hidrólise de ATP em raízes de alfage tratadas com humatos de vermicomposto: I - efeito da concentração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s. l.], v. 30, p. 649–656, 2006.

SCHEER, M. B. *et al.* Compostos de lodo de esgoto para a produção de mudas de *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan. **CERNE**, [s. l.], v. 18, p. 613–622, 2012.

SCHMITZ, J. A. K.; SOUZA, P. V. D. de; KÄMPF, A. N. Propriedades químicas e físicas de substratos de origem mineral e orgânica para o cultivo de mudas em recipientes. **Ciência Rural**, [s. l.], v. 32, p. 937–944, 2002.

SILVA, L. G. F. *et al.* EFEITO DA ADUBAÇÃO FOLIAR COM DIFERENTES FONTES DE MAGNÉSIO NO DESENVOLVIMENTO DE MUDAS DO MAMÃO. **Anais da Semana Acadêmica de Agronomia da Ufes - Campus de Alegre**, [s. l.], 2017. Disponível em: <https://periodicos.ufes.br/seagro/article/view/17510>. Acesso em: 8 jun. 2025.

SILVA, D. R. da F. *et al.* Lodo de esgoto e moinha de carvão na formação de mudas de *Cybistax antisiphilitica* (Mart.) Mart. (Lamiales: Bignoniaceae). **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, [s. l.], v. 9, n. 22, p. 725–735, 2022.

SINGHANIA, R. R.; PATEL, A. K.; PANDEY, A. Biotechnology for Agricultural Waste Recycling. In: CURRENT DEVELOPMENTS IN BIOTECHNOLOGY AND BIOENGINEERING. [s. l.]: Elsevier, 2017. p. 223–240. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780444636645000101>. Acesso em: 23 abr. 2024.

SIQUEIRA, D. P. *et al.* LODO DE ESGOTO TRATADO NA COMPOSIÇÃO DE SUBSTRATO PARA PRODUÇÃO DE MUDAS DE *Lafoensia glyptocarpa*. **FLORESTA**, [s. l.], v. 48, n. 2, p. 277–284, 2018.

SOUZA, E. G. F. *et al.* Emergência e desenvolvimento de mudas de tomate IPA 6 em substratos, contendo esterco ovino. **Revista Ceres**, [s. l.], v. 60, p. 902–907, 2013.

STÖCKER, C. M. *et al.* SUBSTRATOS ALTERNATIVOS PARA A PRODUÇÃO DE MUDAS DE ALFACE (LACTUCA SATIVA L.) EM SISTEMA ORGÂNICO. **Revista da Jornada de Pós-Graduação e Pesquisa - Congrega Urcamp**, [s. l.], n. 0, p. 1113–1122, 2016.

TEIXEIRA, P. C. *et al.* **Manual de métodos de análise de solos**. 3. ed. Brasília-DF: Embrapa, 2017.

YONG, J. W. H. *et al.* Effect of fertilizer application on photosynthesis and oil yield of *Jatropha curcas* L. **Photosynthetica**, [s. l.], v. 48, n. 2, p. 208–218, 2010.