



**INSTITUTO FEDERAL DE ALAGOAS**  
**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS AMBIENTAIS**  
**MESTRADO PROFISSIONAL EM TECNOLOGIAS AMBIENTAIS**

**ADRIANO ALVES DE ANDRADE**

**VIABILIDADE TÉCNICA DO USO DE TOPSOIL NA COMPOSIÇÃO DE  
SUBSTRATOS DE ESPÉCIES FLORESTAIS DA CAATINGA**

**Marechal Deodoro**

**2023**



**Adriano Alves de Andrade**

**Viabilidade técnica do uso de topsoil na composição de substratos de espécies florestais  
da Caatinga**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais (Modalidade Mestrado Profissional), como requisito para obtenção do título de Mestre em Tecnologias Ambientais.

**Orientador: Prof. Dr. Marcelo Cavalcante**

Marechal Deodoro – AL

Maio de 2023

## FICHA CATALOGRÁFICA



**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação**  
**Instituto Federal de Alagoas**  
**Campus Marechal Deodoro**  
**Biblioteca Dorival Apratto**

---

333.75

A553v

Andrade, Adriano Alves de.

Viabilidade técnica do uso de topsoil na composição de substratos de espécies florestais da caatinga / Adriano Alves de Andrade. – 2023.

48 f. : il., color.

580 kilobytes (PDF)

Inclui bibliografia e figuras.

Anexo: p. 39-48 (Produto Técnico e Tecnológico)

Trabalho de Conclusão de Curso (Mestrado profissional em tecnologias ambientais) – Instituto Federal de Alagoas, Campus Marechal Deodoro, Marechal Deodoro, 2023.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Cavalcante

1. *Enterolobium contorstisiliquum*. 2. *Peltophorum dubium*. 3. *Tabebuia roseoalba*. 4. *Abarema langsdorfii*. I.

Título. II. Cavalcante, Marcelo.

---

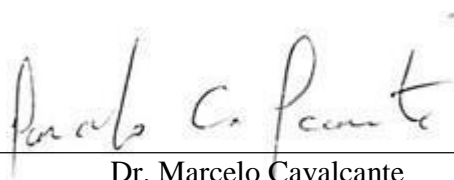
**Maria Jôse Nascimento Leite Machado**  
**Bibliotecária – CRB 4/2125**

**ADRIANO ALVES DE ANDRADE**

Trabalho de Conclusão do Curso apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais (Modalidade Mestrado Profissional) como requisito para a obtenção do título de Mestre em Tecnologias Ambientais.

Aprovado em 31 de julho de 2023.

**Orientador:**



---

Dr. Marcelo Cavalcante  
Ifal/Campus Maragogi

**Banca examinadora:**



Documento assinado digitalmente

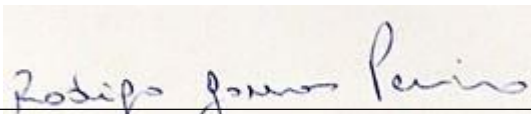
CICERO GOMES DOS SANTOS

Data: 29/08/2023 20:03:30-0300

Verifique em <https://validar.it.gov.br>

---

Dr. Cícero Gomes dos Santos  
Universidade Federal de Alagoas – Campus Arapiraca



---

Dr. Rodrigo Gomes Pereira  
Universidade Federal do Agreste de Pernambuco – Campus Garanhuns

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, obrigado Deus, por me fortalecer e me permitir chegar ao fim deste desafio.

Agradeço aos meus pais, José Maria Souza de Andrade e Suely Maria Souza de Andrade (*in memoriam*), a eles devo tudo.

A minha namorada, Larissa Oliveira, por todo o companheirismo e apoio nessa caminhada.

Ao meu orientador, Professor Dr. Marcelo Cavalcante, por todo incentivo e dedicação, sem a sua ajuda não teria chegado tão longe.

Aos companheiros de turma, todos os momentos ficarão guardados na memória e no coração.

A todo corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais e demais servidores do Ifal.

À empresa Mineração Vale Verde por disponibilizar estrutura, insumos e recursos humanos fundamentais para a realização deste trabalho.

Aos colegas de trabalho, André Maia, Ariclens Silva, Cícero Oliveira e Jaedson Barbosa pelo apoio técnico durante o experimento.

ANDRADE, Adriano Alves. **Viabilidade técnica do uso de topsoil na composição de substratos de espécies florestais da Caatinga**. 48f. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Mestrado em Tecnologias Ambientais) – Campus Marechal Deodoro, Instituto Federal de Alagoas, Marechal Deodoro, 2023.

## RESUMO

A mineração é um dos setores básicos da economia do país. Porém, gera grandes impactos ambientais, além de grande quantidade de resíduos. Para atender a legislação ambiental, o empreendimento deverá apresentar programas de recuperação de áreas degradadas. A produção de mudas é uma das ações executadas, que exige grande volume de substratos, geralmente comerciais, de alto custo. O topsoil, camada superficial do solo, é um resíduo com características físico-químicas com potencial de uso agrícola, presente em grandes quantidades, chegando a 33 mil m<sup>3</sup>. Portanto, objetivo desta pesquisa foi conhecer a viabilidade técnica do topsoil adicionado a substrato comercial para produção de mudas de quatro espécies nativas da Caatinga. O experimento no delineamento inteiramente casualizado, esquema fatorial 5 x 4, com cinco níveis de topsoil (0, 25, 50, 75 e 100% de topsoil em substituição ao substrato comercial) e quatro espécies da Caatinga timbaúba (*Enterolobium contorstisiliquum*), canafístula (*Peltophorum dubium*), farinha seca (*Abarema langsdorfii*) e ipê branco (*Tabebuia roseo-alba*). Variáveis biométricas foram avaliadas para determinar a qualidade da muda. Considerando o número de folhas, não houve interação entre os fatores, em que as espécies timbaúba (8,0) e ipê branco (8,5) tiveram maiores médias, podendo usar 100% de topsoil. Para o diâmetro do coleto, 13,9 e 10,3% de topsoil são os limites máximos para canafístula e farinha seca. Para a altura da planta, 85,4% de topsoil é o recomendado para Timbaúba. Considerando o índice de qualidade de Dickson, para as espécies canafístula e ipê branco, 74,1 e 36,1% são os limites máximos de topsoil e, para farinha seca e timbaúba, pode-se utilizar até 100%. Com isso, será possível redução dos custos em até 77% na produção de mudas florestais.

**Palavras-chave:** *Enterolobium contorstisiliquum*, *Peltophorum dubium*, *Tabebuia roseo-alba*, *Abarema langsdorfii*.

ANDRADE, Adriano Alves. **Technical feasibility of the use of topsoil in the substrate composition of Caatinga forest species**. 48f. 2023. Final Paper (Master in Environmental Technologies) – Campus Marechal Deodoro, Federal Institute of Alagoas, Marechal Deodoro, 2023.

### ABSTRACT

Mining is one of the basic sectors of the country's economy. However, it generates large environmental impacts, as well as a large amount of waste. To comply with environmental legislation, the enterprise must present programs for the recovery of degraded areas. The production of seedlings is one of the actions performed, which requires a large volume of substrates, usually commercial, of high cost. The topsoil, the surface layer of the soil, is a residue with physicochemical characteristics with potential for agricultural use, present in large quantities, reaching 33 thousand m<sup>3</sup>. Therefore, the objective of this research was to know the technical feasibility of topsoil added to commercial substrate for the production of seedlings of four native species of the Caatinga. The experiment was completely randomized in a 5 x 4 factorial scheme, with five levels of topsoil (0, 25, 50, 75 and 100% of topsoil replacing the commercial substrate) and four species of Caatinga timbaúba (*Enterolobium contortisiliquum*), canafístula (*Peltophorum dubium*), dry flour (*Abarema langsdorfii*) and white ipê (*Tabebuia roseo-alba*). Biometric variables were evaluated to determine the quality of the seedling. Considering the number of leaves, there was no interaction between the factors, in which the species timbaúba (8.0) and ipê branco (8.5) had higher averages, being able to use 100% topsoil. For the diameter of the stem, 13.9 and 10.3% topsoil are the maximum limits for canafístula and dry flour. For the height of the plant, 85.4% topsoil is recommended for Timbaúba. Considering the Dickson quality index, for the canafístula and ipê branco species, 74.1 and 36.1% are the maximum limits of topsoil and, for dry flour and timbaúba, up to 100% can be used. Thus, it will be possible to reduce costs up to 77% in the production of forest seedlings.

**Keywords:** *Enterolobium contortisiliquum*, *Peltophorum dubium*, *Tabebuia roseo-alba*, *Abarema langsdorfii*.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1.** Mapa de delimitação dos limites da região Nordeste, do Semiárido brasileiro e do bioma Caatinga, bem como os Estados que englobam. Fonte: Autor (2023)..... **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 2.** Variação da temperatura (°C) e umidade relativa do ar (%) no interior do viveiro de mudas durante o período experimental ..... **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 3.** Número de folhas de mudas de quatro espécies da Caatinga. Médias, seguidas de mesma letra nas colunas, pertencem ao mesmo grupo pelo teste Scott-Knott ( $P>0,05$ ).**Erro! Indicador não definido.**
- Figura 4.** Diâmetro do coleto (mm) em função dos níveis de topsoil em substituição ao substrato comercial ..... **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 5.** Altura da plântula (cm) em função dos níveis de topsoil em substituição ao substrato comercial ..... **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 6.** Massa da parte aérea (g) em função dos níveis de topsoil em substituição ao substrato comercial. .... **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 7.** Massa da raiz (g) em função dos níveis de topsoil em substituição ao substrato comercial. .... **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 8.** Índice de qualidade de Dickson (IQD) em função dos níveis de topsoil em substituição ao substrato comercial..... **Erro! Indicador não definido.**

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Análises químicas do topsoil e do substrato comercial.....	12
<b>Tabela 2.</b> Valores de F calculado para as variáveis analisadas. <b>Erro! Indicador não definido.</b>	
<b>Tabela 3.</b> Avaliação da viabilidade econômica do uso de topsoil em substituição ao substrato comercial .....	20

## SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. JUSTIFICATIVA .....	3
3. REVISÃO DE LITERATURA .....	4
3.1 Legislação Ambiental .....	4
3.2 A vegetação da Caatinga .....	6
3.3 Substratos .....	8
4. OBJETIVOS .....	10
4.1 Geral .....	10
4.2 Específicos .....	10
5. MATERIAL E MÉTODOS .....	11
5.1 Local .....	11
5.2 Desenho experimental e tratamentos .....	11
5.3 Manejo experimental .....	12
5.4 Variáveis analisadas .....	13
5.5 Viabilidade econômica .....	13
5.6 Análise estatística dos dados .....	13
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	14
6.1 Resumo da Anova .....	14
6.2 Número de folhas .....	14
6.3 Diâmetro do coleto .....	15
6.4 Altura da planta .....	16
6.5 Massa da parte aérea .....	17
6.6 Massa da raiz .....	18
6.7 Índice de qualidade de Dickson (IQD) .....	19
6.8 Viabilidade econômica .....	20
7 CONCLUSÕES .....	21
8. REFERÊNCIAS .....	22
9. ANEXO I: Produto Técnico e Tecnológico .....	29

## 1. INTRODUÇÃO

A Caatinga é a maior floresta tropical seca, localizada na região Nordeste do Brasil, que ocupa 11% do território Nacional, equivalente a 844,5 mil km<sup>2</sup>, presente em 10 Estados (Freire et al, 2021). É um bioma dividido em ecorregiões que abrigam várias espécies e gêneros endêmicos, vegetais e animais (Teixeira et al., 2021). Em avançado estado de degradação, estima-se que menos de 57,4% da vegetação encontra-se preservada (INPE, 2022), em que Bahia (34,5%) e Ceará (23,7%), são os Estados que lideram o ranking de desmatamento (Terrabrasilis, 2023), devido as atividades de habitação, mineração, pecuária e agricultura (Pessoa & Marco Júnior, 2023), além da exploração extrativista de lenha e de animais de forma ilegal e insustentável para fins domésticos (MMA, 2023), evidenciando o impacto da vulnerabilidade social sobre o bioma.

Entre os anos de 1985 e 2020 houve redução de 150 mil km<sup>2</sup> de vegetação primária, em que 74,7% foram substituídos pela agropecuária, com a presença de algumas áreas em avançado estado de desertificação (Marques, 2022). Atualmente, a Caatinga tem sido apontada como o bioma brasileiro mais crítico no que se refere à conservação da sua biodiversidade, sendo um dos mais ameaçados e alterados pela ação antrópica, o que coloca inúmeras espécies em risco de extinção (Freire et al., 2018).

A ocorrência de reservas de substâncias metálicas (Cu, Cr, Fe, Ni, Au e V) em várias regiões da Caatinga (ANM, 2022), a exemplo de 52,7 Mt de cobre em Craíbas/AL (MVV, 2023), torna a mineração uma importante fonte de receita para o País. Porém, traz desafios do ponto de vista ecológico, pois promove a remoção da vegetação, produzindo grandes volumes de resíduos, que resultam em perdas da diversidade da fauna e da flora. Provoca, ainda, danos à saúde humana, uma vez que polui o ar por partículas suspensas ou por gases emitidos da queima de combustíveis fósseis, além da poluição das águas e dos solos (Souza & Valadares, 2022). Do ponto de vista social, Pacheco & Santos (2019) destacaram problemas relacionados à violência, moradia, educação e saúde, transporte, pois não são contemplados nas ações desenvolvidas pela mineradora.

Antes da extração mineral, há a supressão da vegetação nativa e, em seguida, a remoção da camada superficial do solo, horizontes O e A (topsoil), considerado resíduo da mineração que é depositado em locais específicos, para ser utilizado em ações futuras de recuperação ambiental pós mineração, período que poderá levar mais de 10 anos, sofrendo processos de lixiviação e oxidação da matéria orgânica. A legislação brasileira prevê a compensação ambiental florestal, exigindo do empreendimento a apresentação do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (Decreto nº 97.632/1989), bem como a implantação de Unidades de

Conservação (Lei nº 20.922/2013).

A produção de mudas florestais de espécies nativas consiste em uma das ações que objetiva a minimização dos impactos da mineração sobre o meio ambiente. O número de mudas produzido segue a proporção de 3:1, ou seja, para cada árvore suprimida, três novas deverão ser plantadas, podendo chegar a, pelo menos, 20 mil mudas/ano. Os substratos comerciais utilizados, além do grande volume e dos custos associados, podem não ser adaptados às espécies nativas. Porém, o topsoil poderá vir a ser uma alternativa sustentável, com redução dos custos, a partir do uso do resíduo da mineração. Os poucos estudos indicaram que o topsoil facilitou a associação da *Periandra mediterraneaon* (Fabaceae) com bactérias fixadoras de nitrogênio, melhorando seu desenvolvimento (Figueiredo et al., 2018).

## 2. JUSTIFICATIVA

A mineração, em geral, acompanha a evolução humana e tem desempenhado um importante papel nas relações econômico-social, sendo no Brasil, a responsável por considerável aumento no Produto Interno Bruto, com geração de R\$ 338,9 bilhões em 2021, e pela geração de empregos diretos e indiretos (IBRAM, 2023). No entanto, essa atividade promove alterações nas condições ambientais, modificando a paisagem e ocasionando degradação de extensas áreas a qual atingem a biodiversidade, a vegetação nativa, o solo e os recursos hídricos (Wu et al., 2021).

Antes da exploração da área e implantação de estágios de construção civil, a necessidade de remoção da camada vegetal, além camada superficial do solo (topsoil), que é removida e estocada em local específico, levando a ocupação de áreas representativas dentro de um empreendimento minerário por tempo indeterminado, uma vez que a metodologia de aplicação do mesmo é mundialmente empregado em estágios finais de um empreendimento, pós-mineração (Oliveira et al., 2021).

Nesse sentido, em empreendimentos minerários, em estágios executivos finais, há necessidade da adoção de ações que busquem a restauração ambiental, recuperando processos e funções ecossistêmicas. A recuperação e restauração de florestas, bem como o aumento do florestamento, reflorestamento e o combate a desertificação, são algumas das metas instituídas no 15º objetivo do desenvolvimento sustentável (ODS), presente na Agenda 30 das Organizações das Nações Unidas (ONU-BRASIL, 2023).

Para isso, a coleta de sementes e a manutenção de bancos de germoplasmas são essenciais para a manutenção da diversidade genética (2º ODS). Neste sentido, as empresas mineradoras são obrigadas a apresentar o Plano de Recuperação de Áreas Degradada (Decreto nº 97.632/1989). Nesse sentido, a produção de mudas torna-se uma alternativa estrategicamente viável para empreendimentos de grande porte, uma vez que, além de suportar a execução dos planos de recuperação de áreas degradadas, os órgãos ambientais instauram como condicionantes ambientais compensatórias para implantação da Mina, a realização do plantio de mudas.

Para o empreendimento minerário de propriedade da Mineração Vale Verde, foi considerado em processo de licenciamento ambiental, o plantio de três unidades de mudas para cada árvore suprimida, justificando financeiramente a implantação e a operacionalização de um viveiro de mudas. Para a Empresa, observa-se benefícios econômicos, tendo em vista que o custo operacional de um viveiro é muito baixo, somado a disponibilidade de plantas matrizes de sementes localizadas na área do empreendimento; benefícios ambientais, uma vez que

possibilitará a utilização de subprodutos operacionais e substratos alternativos como o proposto no presente trabalho, o topsoil, tendo esse um acúmulo de estoque aproximado de 33.000 m<sup>3</sup> posteriormente a conclusão das atividades de supressão vegetal do empreendimento, ficando armazenado e utilizado apenas ao final das atividades da mina.

As espécies utilizadas nesta pesquisa apresentaram disponibilidade, seguindo as características do domínio fitogeográfico da Caatinga, assim como características fitofisionômicas locais e fitofisiológicas das espécies, fazendo uso da orientação do calendário fenológico específico da cultivar. Outro ponto a considerar para determinação das espécies é a contante busca pela valorização do bioma Caatinga, através do seu banco genético botânico.

### **3. REVISÃO DE LITERATURA**

#### **3.1 Legislação Ambiental**

O Brasil, em toda sua história mineral, foi regulado por quatro Códigos Minerais. Em 1921 foi editado o primeiro Código de Mineração sob a égide do Decreto-Lei nº 4.265, que foi regulamentado pelo Decreto nº 15.211. Esta Lei ficou conhecida como Lei Simões Lopes. Entretanto em 1934, o Código de Simões Lopes foi substituído pelo Decreto Lei nº 24.673, conhecido como Lei Juarez Távora (Costa, 2009).

Em 1940 o Código de 1934 foi revogado pelo Decreto-Lei nº 1.985, com seus 82 artigos. Este Decreto-Lei teve uma duração razoável de tempo, mas em 1967 foi revogado pelo novo Código de Mineração, o Decreto-Lei nº 227, ainda em vigor. Recentemente, ocorreu a edição de nova regulamentação pelo Decreto 9.406, de junho de 2018. Este Código dispõe sobre as substâncias minerais do Brasil, exceto àquelas citadas no artigo 177 da Constituição da República Federativa de 1988 que, de alguma forma, são caracterizadas como monopólio do Estado.

Também não estão contempladas no Código de Mineração as demais jazidas que são regidas por leis especiais, como as águas minerais que possuem seu próprio Código, Decreto-Lei nº 7.841 de 1945, alterado pela Lei nº 6.726 de 1979; as substâncias minerais ou fósseis, regidas pela Lei nº 9.924 de 1961.

Todavia, é necessário contextualizar as modificações na legislação da mineração brasileira, com o objetivo de recuperar a credibilidade deste setor. Para isso, em julho de 2017 foram elaboradas três Medidas Provisórias (MP) de números: 789, 790 e 791. A MP 790 foi a única que não foi aprovada pelo Congresso Nacional e versava sobre o tempo de pesquisa mineral e exigia a responsabilidade dos empreendedores, dentre outras questões.

A MP 789 tratava sobre a Compensação Financeira pela Exploração dos Recursos minerais, e foi convertida na Lei 13.540 de 2017. A CFEM é a compensação devida aos municípios, Estados, Distrito Federal e aos órgãos da administração da União, como contraprestação pela utilização econômica dos recursos minerais e seus respectivos territórios.

Em continuidade à revitalização da área mineral, foram também editados os Decretos 9.406 e 9.407 em junho de 2018. O primeiro estabelece o novo regulamento da mineração brasileira e revoga o Decreto 62.934 de 1968; o segundo cria novas regras para a CFEM. O Código de Mineração explicita as formas pelas quais é permitida a exploração de substâncias minerais no Brasil, resumidamente, classificam-se os seguintes regimes de aproveitamento de substâncias minerais: o regime de concessão, o regime de autorização, regime de licenciamento, o regime de permissão e o regime de registro de extração, artigo 2º do Código de Mineração.

Estas formas de aproveitamento eram gerenciadas pelo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), que era uma autarquia vinculada ao Ministério de Minas e Energia, e tinha como finalidade promover o planejamento e fomento da exploração e dos aproveitamentos dos recursos minerais entre outras atribuições.

A atividade de supressão vegetal de um empreendimento é determinada pela Lei nº 12.651, de 25 Maio de 2012 em seu capítulo V, que abriga o tema de supressão de vegetação para uso alternativo do solo, em seu artigo 26, quanto a reposição florestal é obrigatório o compensação florestal por plantio compensatório, onde deverá ser priorizado projetos que contemplem a utilização de espécies nativas do mesmo bioma onde ocorreu a supressão.

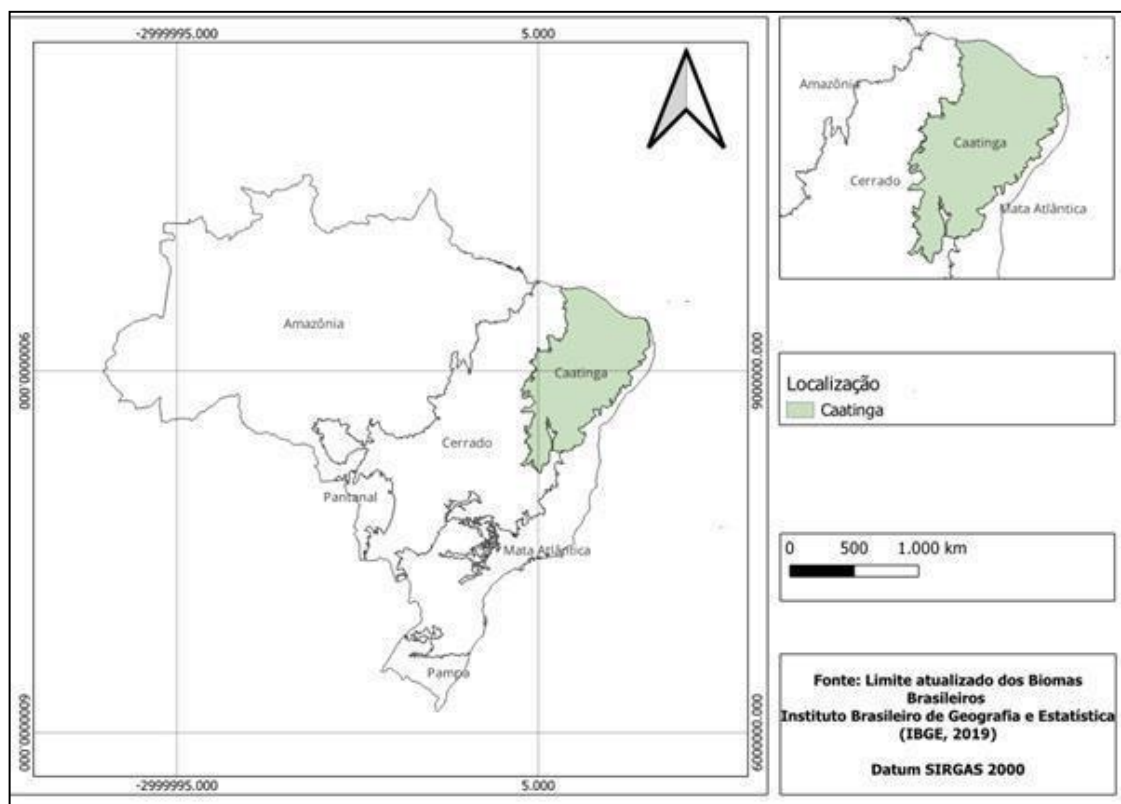
A Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010) menciona a importância da prevenção e a redução na geração de resíduos, através da adoção da prática de hábitos sustentáveis, como a minimização da geração dos resíduos e da reciclagem, da reutilização e a destinação ambientalmente adequada dos rejeitos, ou seja, todo o material que não pode ser reciclado ou reaproveitado.

### **3.2 A vegetação da Caatinga**

Atualmente a vegetação da Caatinga se encontra em acelerado processo de degradação, tendo como principais fatores o desmatamento para lavoura, o comércio de madeira, queimadas sucessivas, produção de carvão e uso inadequado do solo. Estima-se que 62% do seu território se encontra susceptível a processos de desertificação (Pereira Júnior et al., 2014).

Deve-se ter a noção de que seu estado de conservação é preocupante, pois mais da metade da sua área original já foi perdida, especialmente devido aos padrões históricos de ocupação e uso da terra, onde pode-se encontrar uma exploração descontrolada das espécies vegetais da Caatinga, que se constituem, historicamente, como um importante potencial madeireiro e econômico regional (Souza et al., 2018).

Uma consulta realizada em todos os bancos de dados da plataforma Web of Science em junho de 2020 indicou que a Caatinga é 73% menos estudada que a Amazônia, 68% menos que o Cerrado e 65% menos que a Mata Atlântica (Figura 1).



**Figura 1:** Mapa de delimitação dos limites da região Nordeste, do Semiárido brasileiro e do bioma Caatinga, bem como os Estados que englobam. Fonte: Autor (2023).

De acordo com Rodrigues et al. (2016), esse território tem sofrido com ações antrópicas excessivas em suas ecorregiões, através da prática da agricultura insustentável, pecuária em grandes áreas, queimadas e desmatamentos que favorecem a degradação e/ou desertificação dos solos. Para estes mesmos autores as resultantes negativas se definem com a perda progressiva da sua fertilidade natural, a erosão física e silenciosa, aliada a perda de sua capacidade de resiliência. Dessa forma, o Semiárido se destaca como um dos ambientes que mais tem sido explorado, referentes à utilização e ocupação imprópria do solo (Crispim et al., 2016).

Uma característica do antropismo na Caatinga é a fragmentação da paisagem por atividades agrícolas – cerca de 75% das propriedades agrícolas possuem menos de 10 hectares (Redo et al., 2013). Entre os anos 1985 e 2020 houve uma perda considerável de vegetação natural, chegando a 0,3 milhões de hectares, ainda com 0,28 milhões de hectares que foram perdidas com classificação de áreas suscetíveis a desertificação, somando um total de 15 milhões de perda de vegetação, além disso, 35,2% de área foram convertidos em agropecuária (MAPBIOMAS, 2020).

O bioma possui espécies vegetais adaptadas ao déficit hídrico típico do clima semiárido da região, o que é evidenciado pela predominância de arbustos e árvores de pequeno porte, cuja

principal característica é a deciduidade na estação seca (Fernandes & Queiroz, 2018). Além disso, para melhor se adaptarem às condições climáticas mais extremas, as plantas geralmente possuem folhas finas, pequenas e espinhosas. No entanto, isso não isenta a Caatinga de possuir espécies vegetais que podem ser altamente vulneráveis a rápidas mudanças climáticas (Albuquerque et al., 2012).

Algumas plantas armazenam água, como os cactos, e outras apresentam raízes praticamente na superfície do solo para absorver o máximo da chuva. Como a disponibilidade de água limita o desenvolvimento e o ciclo de vida das plantas, o comportamento fenológico da vegetação é fortemente influenciado pelo regime de chuvas, mesmo durando pouco (Erasmí et al., 2014). As folhas aparecem rapidamente e as plantas completam seus ciclos reprodutivos em um curto período.

Tendo em vista a vulnerabilidade e o risco de degradação ambiental que o bioma Caatinga apresenta, ações que busquem a multiplicação de suas espécies são de grande importância, pois permitirá que mudas completamente formadas tenham maior poder de adaptação e sobrevivência às condições adversas que as condições edafoclimáticas impõe às espécies.

### **3.3 Substratos**

Este é um dos fatores externos mais relevantes no desenvolvimento inicial das mudas em fase de viveiro, influenciando tanto a germinação das sementes quanto o crescimento das mudas, favorecendo sua produção em curto período de tempo e a baixo custo. As características físicas do substrato são extremamente relevantes, sobretudo, por ele ser usado em um estágio de desenvolvimento em que a planta é pouco tolerante ao déficit hídrico (Dutra et al., 2012).

O oxigênio é indispensável para a respiração, a fim de suprir a energia necessária à absorção dos nutrientes (Paulus et al., 2011). Ainda, estes autores sugeriram que o substrato para produção de mudas deve possuir equilíbrio entre matéria mineral, matéria orgânica, ar e água. Em termos práticos, o substrato deve reter umidade, ser poroso o suficiente para garantir boa aeração e boa drenagem, ser livre de sementes de plantas invasoras, pragas e doenças, e fornecer os nutrientes essenciais ao crescimento das mudas. O substrato exerce uma influência marcante na arquitetura do sistema radicular e no estado nutricional das plantas, afetando intensamente a qualidade das mudas.

Para a composição de materiais específicos, é necessária a seleção de substratos com características adequadas para cada espécie, racionalizando custos sem o comprometimento da qualidade das mudas (Delarmelina et al., 2014). Nesse sentido, a utilização de resíduos industriais e urbanos como fonte de nutrientes pode ser uma saída efetiva não só para contribuir

para a redução dos altos custos de produção, mas também são interessantes soluções para problemas ambientais (Trazzi et al., 2014).

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1 GERAL**

Conhecer a viabilidade técnica do uso do topsoil na composição de substratos para produção de mudas de espécies da Caatinga.

### **4.2 ESPECÍFICOS**

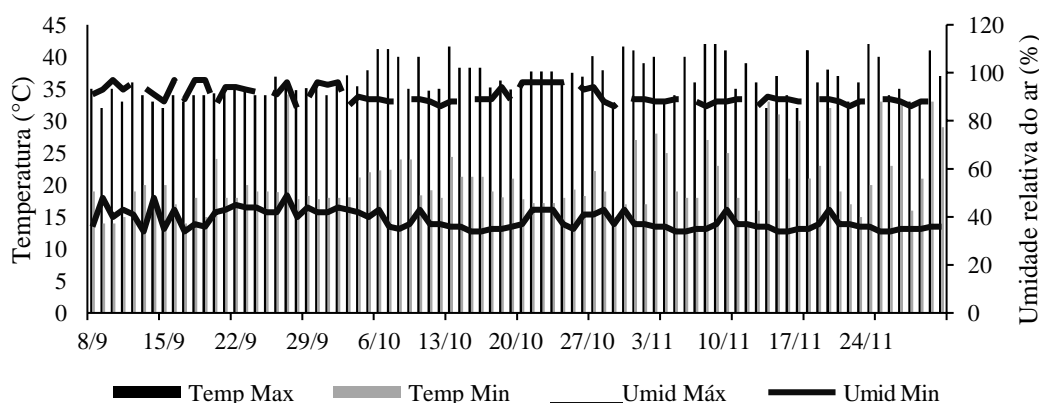
4.2.1 Avaliar diferentes composições de substratos sobre caracteres biométricos de espécies da Caatinga.

4.2.2 Avaliar aspectos econômicos da composição dos substratos com a adição de topsoil.

## 5. MATERIAL E MÉTODOS

### 5.1 Local

O experimento foi conduzido entre setembro e novembro de 2022 no viveiro de mudas da Mineração Vale Verde do Brasil LTDA., do tipo capela, envolto de sombrite (50% de incidência de luz), sob as coordenadas geográficas 9° 40' 45,59" S e 36° 47' 05,7" W, município de Craíbas/AL. O clima da região é do tipo BSh, semiárido quente, segundo classificação de Köppen, com médias anuais de temperaturas, mínima e máxima, umidade relativa do ar e precipitação pluvial de 19,9 e 29,9°C, 70,5% e 49,0 mm, respectivamente (CLIMATE-DATA, 2023). Com a utilização de um termo-higrômetro digital, modelo LCD-DC103, foram monitoradas as variações de temperatura e umidade relativa do ar durante o período experimental (Figura 2).



**Figura 2.** Variação da temperatura (°C) e umidade relativa do ar (%) no interior do viveiro de mudas durante o período experimental.

### 5.2 Desenho experimental e tratamentos

O experimento foi implantado no delineamento inteiramente casualizado, arranjo fatorial 4 x 5, composto por quatro espécies da Caatinga [*Canafístula* (*Peltophorum dubium* Spreng., farinha seca (*Albizia hasslerii* Chod. Burkart), timbaúba (*Enterolobium contortisiliquum* Vell. Morong) e ipê branco (*Tabebuia roseo-alba* Ridl. Sandwith)], e cinco níveis de topsoil (0, 25, 50, 75 e 100% de topsoil em substituição ao substrato comercial), com quatro repetições, totalizando 100 parcelas, em que cada parcela foi composta por nove mudas (Elacher et al., 2014).

As sementes das espécies foram coletadas em árvores-matrizes localizadas no Posto Avançado da Reserva da Biosfera da Caatinga, pertencente à Mineração Vale Verde LTDA., em Caríbas/AL. O topsoil, sem histórico de uso agropecuário, foi obtido após a execução dos

serviços de supressão vegetal, na camada de 0 a 30 cm do solo, em que houve o transporte do material a depósito específico, a céu aberto, com capacidade de 33 mil m<sup>3</sup>, segundo os programas vinculados ao licenciamento ambiental do empreendimento de exploração de cobre.

O substrato comercial foi o Tropstrato Florestal<sup>®</sup> (Genfertil Composto Orgânico S/A, Campinas/SP), constituído por casca de pinus, vermiculita, carvão vegetal, superfosfato simples e produtos formulados por terceiros, com capacidade de retenção de água mínima de 130%, e densidade (base seca) de 190 kg m<sup>-3</sup>. Amostras de topsoil e do substrato comercial foram enviados para análises químicas, em que os resultados estão apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1.** Análises químicas do topsoil e do substrato comercial.

Caracteres	Topsoil	Substrato Comercial
pH (água)	5,8	5,4
P (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>1</sup>	5,0	18,0
Na (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>1</sup>	0,29	6,4
K (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>1</sup>	0,36	17,9
Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>2</sup>	2,9	6,3
Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>2</sup>	1,3	4,7
Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>2</sup>	0,0	0,13
H (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>3</sup>	2,3	1,87
S (Soma de bases; cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	4,85	35,3
Matéria orgânica (%)	1,95	57,5
Ferro (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>1</sup>	332,1	198,2
Cobre (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>1</sup>	1,35	2,25
Zinco (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>1</sup>	0,01	0,15
Manganês (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>1</sup>	0,55	0,65

Métodos analíticos: <sup>1</sup>Mehlich; <sup>2</sup>KCl a 1N; <sup>3</sup>Acetato de cálcio a pH 7,0.

As análises físicas do topsoil de areia muito grossa, areia grossa, areia média, areia fina, areia muito fina, silte e argila foram 30, 115, 287, 280, 88, 109 e 91 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente, classificando-o como Areia Franca.

### 5.3 Manejo experimental

As mudas foram produzidas em tubetes plásticos de polipropileno atóxico, preto, com capacidade de 290 mL, dispostos em bandejas plásticas com 54 células, em que houve o semeio manual de três sementes tubete<sup>-1</sup>, a 1,5 cm de profundidade. Aos 30 dias após a semeadura foi realizado o desbaste, deixando a plântula mais vigorosa. As irrigações foram diárias, realizada

com auxílio de um sistema de microaspersão com vazão de  $0,96 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ , utilizando um sistema com acionamento manual, por 40 minutos, duas vezes ao dia, às 10:00 e 15:00 h.

#### 5.4 Variáveis analisadas

Aos 90 dias após a semeadura, em cinco mudas da área útil da parcela, foram avaliados o número de folhas (NF; unidades); diâmetro do coleto (DC; mm), mensurado no colo da plântula com auxílio de um paquímetro; altura das plântulas (AP; cm), mensurada do colo até o ápice da plântula com auxílio de uma trena.

Quantificou-se ainda, com auxílio de uma balança analítica digital, a massa da parte aérea (MPA; g), após corte na região do colo da muda com auxílio de uma tesoura de poda; a massa da raiz (MR; g), obtida após a separação da raiz com o substrato, em água corrente; e massa total (MT; g), correspondendo à soma da MPA e MR (g). De posse dos dados, avaliou-se o Índice de Qualidade de Dickson (IQD), proposto por Dickson et al. (1960), em que:

$$IQM = \frac{MT}{\frac{AP}{DC} / \frac{MPA}{MR}}$$

#### 5.5 Viabilidade econômica

Considerou-se um quantitativo de substrato comercial de 25 kg, quantidade usualmente encontrada comercialmente do produto florestal, tal quantitativo consegue preencher em aproveitamento, 150 unidades (166,7g/tubete) de tubetes plásticos semelhantemente aos utilizados nesse experimento.

Aplicando-se o valor de mercado do substrato comercial na volumetria considerada monetariamente de R\$25,00 para embalagens de 25 kg, conclui-se que o custo estimado para preencher cada tubete é de R\$0,01667.

#### 5.6 Análise estatística dos dados

Inicialmente, foram testadas as pressuposições da análise de variância (Anova), aplicando-se os testes de Tukey, Durbin Watson, Bartlett e Shapiro-Wilk para a não aditividade, a independência dos resíduos, a homocedasticidade e a normalidade dos erros, respectivamente, para cada variável. Em seguida, foi realizada Anova, utilizando-se teste Scott-Knott para as espécies e regressão polinomial para os níveis de topsoil. Para as análises, utilizou-se o pacote *ExpDes* (Ferreira et al., 2014), versão 1.2.2, do software R (R Core Team, 2022).

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 Resumo da Anova

Observou-se diferenças significativas ( $P < 0,05$ ) entre as espécies da Caatinga e ausência de efeito ( $P > 0,05$ ) dos níveis de topsoil para o número de folhas (Tabela 2). Porém, para as demais variáveis, houve interação Espécies x Topsoil significativa, indicando que o comportamento das mudas foi influenciado pela composição dos substratos.

**Tabela 2.** Valores de F calculado para as variáveis analisadas.

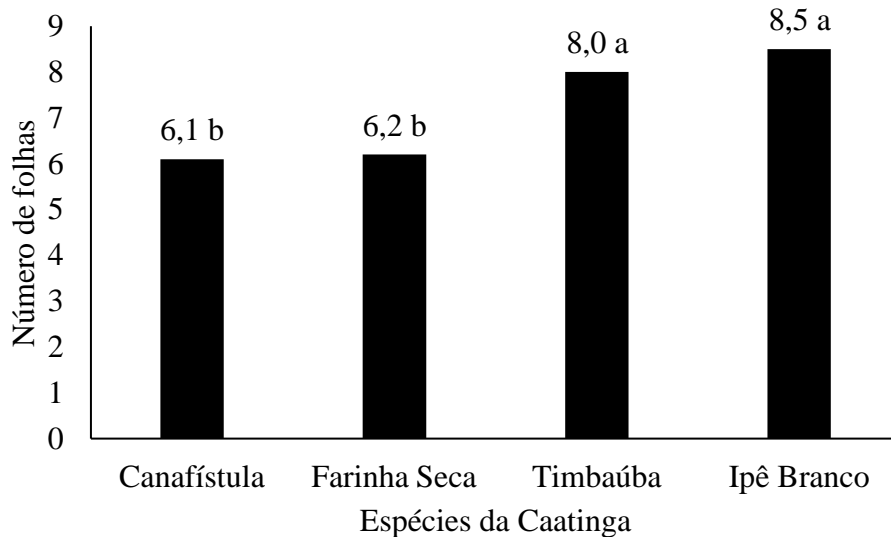
Variáveis	Fontes de Variação			CV (%)
	Espécies (E)	Topsoil (T)	Interação E x T	
Nº folhas	14,4**	0,31 ns	1,22 ns	20,1
Diâmetro do coleto	87,7**	7,5**	4,1**	12,2
Altura da planta	3178,7**	10,2**	16,2**	5,6
Massa da parte aérea	660,8**	6,7**	16,4**	14,3
Massa da raiz	436,8**	21,7**	9,2**	16,9
Massa total	666,3**	12,2**	4,8**	14,0
Índice de qualidade de Dickson	38,5**	11,4**	3,1**	25,9

CV: coeficiente de variação. \*\*, ns: significativo a 1% e não significativo a 5% pelo teste F, respectivamente.

O coeficiente de variação variou de 5,6% para a altura da planta, indicando uma ótima precisão experimental (Ferreira, 2018), até 25,9% para o IQD, que tende a apresentar maior variação por ser um índice formado pela combinação de outras variáveis. Ainda, quando se considera a massa verde das plantas, ocorre maior variabilidade dentro da unidade experimental devido a variação no teor de água em cada planta, influenciando diretamente este parâmetro estatístico (Lúcio et al., 2011). Ainda, a variabilidade genética observada em populações nativas, devido as polinizações naturais, também influenciam na variabilidade fenotípica observada nas progênies (Feres et al., 2012), refletindo nos coeficientes de variação.

### 6.2 Número de folhas

As espécies timbaúba e ipê branco não diferiram entre si ( $P > 0,05$ ) e apresentaram os maiores números de folhas ( $P < 0,05$ ) quando comparado às espécies canafístula e farinha seca (Figura 3). Esta é uma importante característica, pois é na folha que ocorre a conversão de energia luminosa em energia química, diretamente ligada a qualidade da muda. Segundo Oliveira et al. (2019), as quatro espécies estudadas apresentaram o mínimo de três pares de folhas, critério adotado pelas empresas florestais para classificar a qualidade da muda.

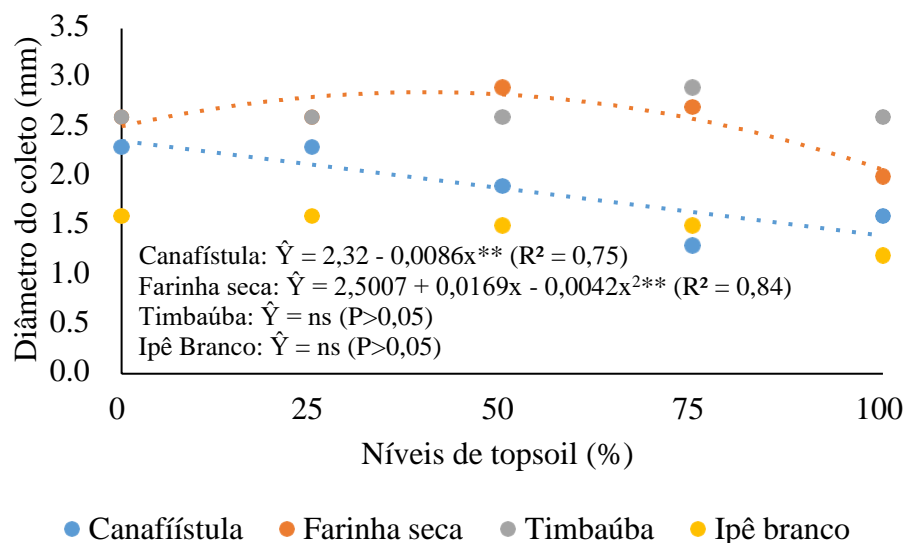


**Figura 3.** Número de folhas de mudas de quatro espécies da Caatinga. Médias, seguidas de mesma letra nas colunas, pertencem ao mesmo grupo pelo teste Scott-Knott ( $P > 0,05$ ).

Pesquisas com resultados similares foram observados por Zuffo et al. (2021), para canafístula, em Cassilândia/MS, com média de 8,8 folhas; Timbaúba, com 8,7 folhas (Araújo & Paiva Sobrinho, 2011); e ipê branco, com nove folhas (Gonçalves et al., 2013); e resultados superiores foram obtidos por Barbeiro et al. (2018), em que farinha seca apresentou 12,3 folhas, em Diamante do Norte/PR. Estas informações, apesar das diferenças dos tratamentos, das práticas de manejo e da região onde foram desenvolvidas, indicam que o topsoil pode vir a ser uma opção para produção de mudas, tendo em vista a importância do número de folhas.

### 6.3 Diâmetro do coleto

O diâmetro do coleto é uma importante variável, pois está relacionada a taxa de sobrevivência da muda após o transplante, devido a capacidade de gerar e desenvolver raízes, a partir da translocação de nutrientes (Almeida et al., 2020). Segundo Gonçalves et al. (2019), 2,2 mm é o diâmetro mínimo para mudas aptas ao transplante. Neste sentido, apenas ipê branco apresentou média inferior ao mínimo em todos os tratamentos (Figura 4). Se for considerado os resultados obtidos por Silva et al. (2021), em que o diâmetro do ipê branco variou de 1,98 até 2,71 mm aos 80 DAP, é possível inferir que os substratos não são indicados para esta espécie.



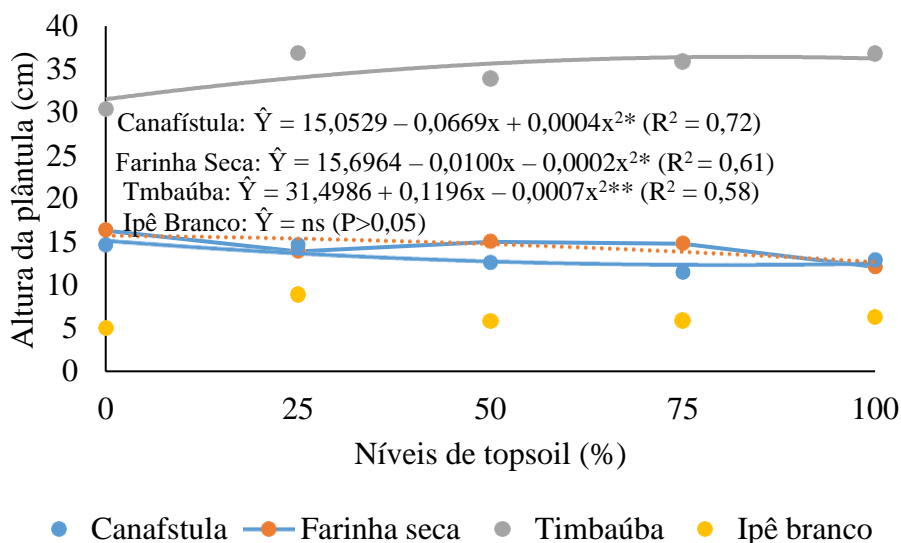
**Figura 4.** Diâmetro do coleto (mm) em função dos níveis de topsoil em substituição ao substrato comercial.

Para a espécie canafístula, observou-se redução linear com o incremento de topsoil ao substrato, provavelmente devido ao baixo teor de matéria orgânica (Tabela 1), que influencia na microporosidade (retenção de água) e na nutrição das plantas. Neste sentido, para a produção de mudas de canafístula, 13,9% é o limite máximo de topsoil, caso o critério de seleção das mudas para transplântio seja o diâmetro do coleto.

Para farinha seca, o comportamento foi quadrático, em que o diâmetro máximo ( $\hat{Y}_{\text{máx.}} = 2,52$  mm) poderá ser obtido com 2,01% de topsoil. Porém, considerando o diâmetro mínimo (2,2 mm), 10,3% de topsoil será o nível máximo de inclusão, com 81% de confiabilidade ( $R^2$ ; Figura 3). Para as espécies timbaúba e ipê branco não houve efeito dos níveis de topsoil ( $P > 0,05$ ).

#### 6.4 Altura da planta

Observou-se diferença significativa entre as espécies em cada nível de inclusão de topsoil, destacando-se a timbaúba, com a maior altura (Figura 5). Considerando-se que a altura média das mudas aptas ao transplântio varia entre 20 e 30 cm (Oliveira et al., 2016), apenas timbaúba superou este padrão. Segundo Nascimento et al. (2021), trata-se da árvore de maior porte na Caatinga, classificada como pioneira, de rápido crescimento.

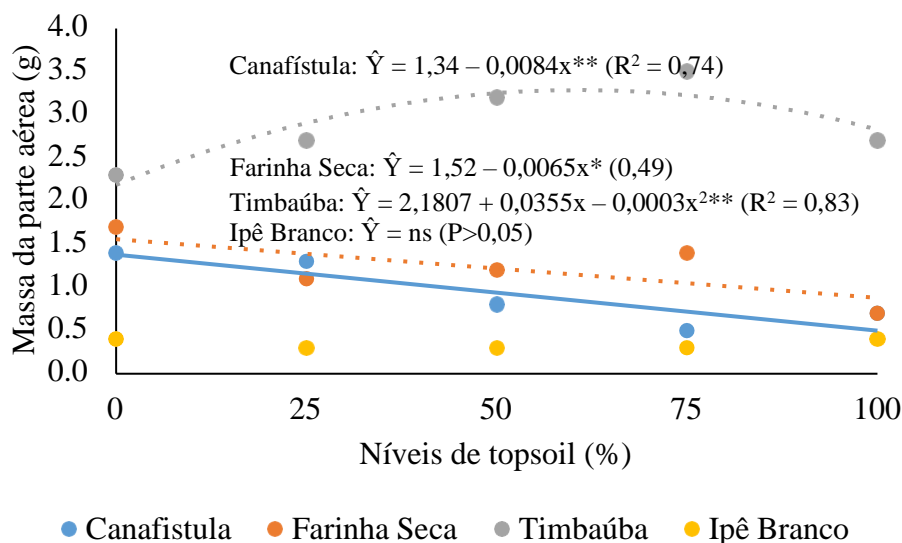


**Figura 5.** Altura da plântula (cm) em função dos níveis de topsoil em substituição ao substrato comercial.

Analisando-se o efeito dos níveis de topsoil sobre as espécies, observou-se que os dados ajustaram-se ao modelo quadrático, para canafístula ( $X_{m\acute{a}x.} = 83,6\%$ ;  $\hat{Y}_{m\acute{a}x.} = 17,9$  cm), farinha seca ( $X_{m\acute{a}x.} = 25,0\%$ ;  $\hat{Y}_{m\acute{a}x.} = 15,8$  cm) e timbaúba ( $X_{m\acute{a}x.} = 85,4\%$ ;  $\hat{Y}_{m\acute{a}x.} = 36,6$  cm), porém, sem efeito significativo para ipê branco ( $P > 0,05$ ). De modo geral, embora as espécies canafístula, farinha seca e ipê branco tenham apresentado médias inferiores à 20 cm, é possível que o período de avaliação (90 DAP) tenha sido insuficiente, tendo em vista que Portela et al. (2001), aos 150 DAP, Barbeiro et al. (2018) e Cardorin et al. (2021), aos 180 DAP, observaram alturas médias de 20,4, 38,2 e 28,9 cm para as três espécies, respectivamente.

### 6.5 Massa da parte aérea

O estudo da massa da parte aérea mostrou diferença significativa entre as espécies, dentro de cada nível de topsoil, destacando-se a timbaúba, em todos os níveis avaliados (Figura 6), por ser a espécie pioneira de maior porte da Caatinga (Nascimento et al., 2021). Ipê branco apresentou a menor massa ( $P < 0,05$ ) em todas as composições do substrato. Na pesquisa desenvolvida por Macedo et al. (2011), observou-se que os tratamentos com maior concentração de nitrogênio (cama de frango) promoveram maior massa da parte aérea. Portanto, é possível que o ipê branco apresente maior demanda por este macronutriente nas fases iniciais de crescimento.

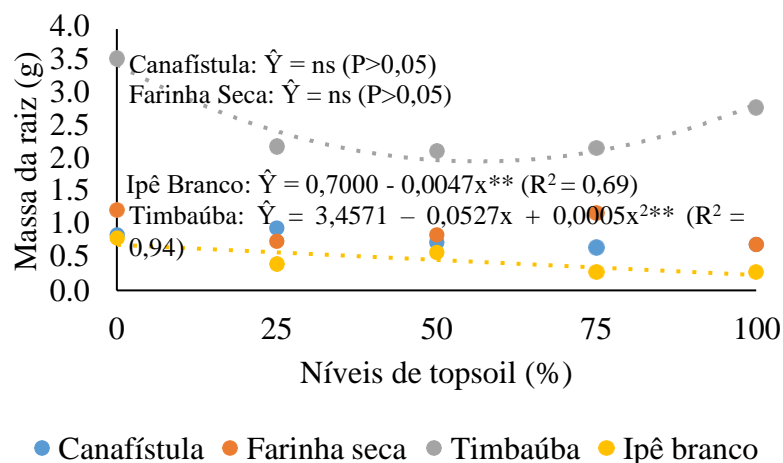


**Figura 6.** Massa da parte aérea (g) em função dos níveis de topsoil em substituição ao substrato comercial.

Para as espécies canafístula e farinha seca, os dados foram ajustados ao modelo linear, com redução da massa da parte aérea a partir do incremento de topsoil ao substrato; timbaúba, ajustou-se ao modelo quadrático, em que a massa máxima da parte aérea ( $Y_{máx.} = 3,23g$ ) foi obtida com 59,2% de inclusão de topsoil ao substrato. Para ipê branco, não houve efeito dos substratos sobre a massa da parte aérea.

### 6.6 Massa da raiz

A avaliação da massa da raiz mostrou diferença significativa entre as espécies, destacando-se a timbaúba com os maiores valores (Figura 7).

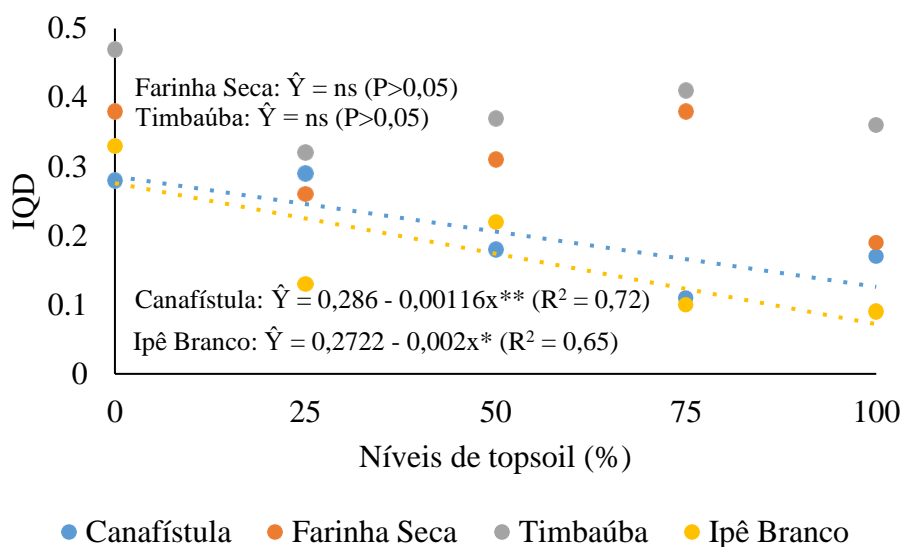


**Figura 7.** Massa da raiz (g) em função dos níveis de topsoil em substituição ao substrato comercial.

Os níveis de topsoil reduziram significativamente a massa da raiz para as espécies timbaúba e ipê branco, com ajuste quadrático e linear, respectivamente (Figura 7). A produção de raiz está ligada a disponibilidade de água, para o alongamento celular (Motte et al., 2019). Com a escassez hídrica, devido baixa retenção de água pela predominância de topsoil ao substrato, ocorreu a redução das raízes de ambas as espécies. Porém, para timbaúba, a partir de 52,7% de topsoil ( $\hat{Y}_{\min.} = 2,0$  g), houve aumento da massa da raiz. Trata-se de um ajuste fisiológico dessa espécie, tendo em vista que a água é um fator limitante, em que ocorre redução da área foliar (Figura 6), para minimizar a perda de água por transpiração (Neves et al., 2018), e aumento da massa da raiz devido ao déficit hídrico (Costa et al., 2014).

### 6.7 Índice de qualidade de Dickson (IQD)

Observou-se redução linear do IQD para as espécies canafístula e ipê branco com a inclusão de topsoil ao substrato. Porém, considerando o limite mínimo de 0,20 para o IQD (Dickson et al., 1960), os níveis de 74,1 e 36,1% de topsoil são os limites máximos para estas espécies, respectivamente. Para farinha seca e timbaúba, não houve efeito do topsoil sobre o IQD (Figura 8).



**Figura 8.** Índice de qualidade de Dickson (IQD) em função dos níveis de topsoil em substituição ao substrato comercial.

Vieira & Weber (2017) observaram que a saturação por base mínima, composta por Na, K, Ca e Mg, para o Ipê Branco é de 70%. Porém, considerando os valores mínimos de < 1,0% saturação por sódio e entre 2,0 e 5,0% da saturação por potássio para as plantas, com base na

capacidade de troca cartiônica total (CTCt), observou-se que, no tratamento controle (0% topsoil), as saturações foram de 17,2 e 18,9%, respectivamente, podendo ter influenciado as espécies.

### 6.8 Avaliação econômica

Com os resultados obtidos, pôde-se alcançar perspectivas econômicas quanto a produção de mudas, assim como economia produtiva proporcionada pela adoção das práticas da utilização do topsoil em substituição ao substrato florestal comercial (Tabela 3).

**Tabela 3.** Avaliação da viabilidade econômica do uso de topsoil em substituição ao substrato comercial.

Espécies	Substituição Topsoil (%)	Substrato florestal (%)	Topsoil (g/tubete)	Substrato florestal (g/tubete)	Apenas Substrato florestal (R\$/1000 mudas)	Substituição Topsoil (R\$/1000 mudas)
Canafístula	74	26	122,5	44,2	166,67	44,17
Ipê Branco	36	64	60,2	106,5	166,67	106,50
Farinha Seca	100	0	166,7	-	166,67	--
Timbaúba	100	0	166,7	-	166,67	--
Total					666,67	150,67

A partir dos resultados obtidos no índice de qualidade de Dickson, a partir da substituição de topsoil em 74% para Canafístula (74%), 36% para Ipê Branco e 100% para Farinha seca e Timbaúba, observou-se redução média de 77% nas despesas (Tabela 3).

## **7 CONCLUSÕES**

Na produção de mudas, existem diferentes métodos para determinar a qualidade da muda. Considerando o número de folhas, a composição dos substratos não exerce influência sobre as espécies; para o diâmetro do coleto, 13,9 e 10,3% de topsoil são os limites máximos para canafístula e farinha seca; altura da planta, 85,4% de topsoil é o recomendado para timbaúba; o índice de qualidade de Dickson, para as espécies canafístula e ipê branco, 74,1 e 36,1% são os limites máximos de topsoil e, para farinha seca e timbaúba, pode-se utilizar até 100%. Produzindo 1000 unidades de cada cultivar, utilizando a substituição, obtêm-se a economia de 77%.

## 8. REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, U.P.; ARAÚJO, E.L.; EL-DEIR, A.C.A.; LIMA, A.L.A.; SOUTO, A.; BEZERRA, B.M.; FERRAZ, E.M.N.; FREIRE, E.M.X. Caatinga revisited: Ecology and conservation of an important seasonal dry forest. **The Scientific World Journal**, v. 2012, p. 1-18, 2012. <https://doi.org/10.1100/2012/205182>.

ALMEIDA, K.M.; MONACO, P.A.V.L.; KRAUSE, M.R.; OLIVEIRA, D.L.S.; MENEGHELLI, L.A.M.; MENEGHELLI, C.M.; GUI SOLFI, L.P. Reuse of agricultural waste as an alternative substrate in the production of eggplant (*Solanum melongena* L.) seedlings. **Agronomía Colombiana**, v. 38, n. 1, p. 29-35, 2020. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v38n1.79497>.

ANM: Agência Nacional de Mineração. **Anuário Mineral Brasileiro: principais substâncias metálicas**. 2022. Disponível em: <<https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/anuario-mineral/anuario-mineral-brasileiro/PreviaAMB2022.pdf>>. Acesso em: 13 Jun. 2023.

ARAÚJO, A.P.; PAIVA SOBRINHO, S. Germinação e produção de mudas de tamboril (*Enterolobium Contortisiliquum* (Vell.) Morong) em diferentes substratos. **Revista Árvore**, v. 35, n. 3, p. 581–588, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622011000400001>.

BARBEIRO, C.; FIRMINO, T.P.; NOVAES, A.H.O.; ROMAGNOLO, M.B.; PASTORINI, L.H. Germination and growth of *Albizia niopoides* (Benth) Burkart (Fabaceae). **Acta Scientiarum.Agronomy**, v. 40, p. e39073, 2018. <https://doi.org/10.4025/actascibiols.v40i1.39073>.

CARDORIN, D.A.; MALAVASI, U.C.; MALAVASI, M.M.; DRANSKI, J.A.L.; COUTINHO, P.W.R. Morphometric changes and post-planting growth as a response to hardening on *Tabebuia Roseo-alba* seedlings. **Floresta**, v. 51, n. 3, p. 539-546, 2021. <http://dx.doi.org/10.5380/ufv.v51i3.67358>.

CLIMATE-DATA. **Dados climáticos para Craíbas/AL – Brasil**. 2023. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/alagoas/craibas-43005>>. Acesso em: 13 Jun. 2023.

COSTA, B.S. **O gerenciamento econômico do minério de ferro como bem ambiental no Direito Constitucional Brasileiro**. São Paulo: Editora Fiuza, 2009. 190p.

COSTA, T.L.; SAMPAIO, E.V.S.B.; SALES, M.F.; ACCIOLY, L.J.O.; ALTHOFF, T.D.; PAREYN, F.G.C.; ALBUQUERQUE, E.R.G.M.; MENEZES, R.S.C. Root and shoot biomasses in the tropical dry forest of semi-arid Northeast Brazil. **Plant Soil**, v. 378, p. 113-126, 2014. <https://doi.org/10.1007/s11104-013-2009-1>.

CRISPIM, A.B.; SOUZA, M.N.; SILVA, E.V.; QUEIRÓZ, P.H.B. A questão da seca no semiárido nordestino e a visão reducionista do Estado: a necessidade da desnaturalização dos problemas socioambientais. **Revista de Educação Ambiental**, v. 21, n. 2, p. 39–59, 2016.

DELARMELINA, W.M.; CALDEIRA, M.V.W.; FARIA, J.C.T.; GONÇALVES, E.O.; ROCHA, R.L.F. Diferentes substratos para a produção de mudas de *Sesbania virgata*. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 2, p. 224-233, 2014. <http://dx.doi.org/10.4322/floram.2014.027>.

DICKSON, Alexander; LEAF, Albert L.; HOSNER, John F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **The Forestry Chronicle**, v. 36, n. 1, p. 10-13, 1960. <https://doi.org/10.5558/tfc36010-1>.

DUTRA, T.R.; MASSAD, M.D.; MOREIRA, P.R.; RIBEIRO, E.S.M. Efeito da salinidade na germinação e crescimento inicial de plântulas de três espécies arbóreas florestais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 37, n. 91, p. 323–330, 2017. <https://doi.org/10.4336/2017.pfb.37.91.1447>.

DUTRA, T.R.; MASSAD, M.D.; SARMENTO, M.F. Q.; OLIVEIRA, J.C. Emergência e crescimento inicial da canafístula em diferentes substratos e métodos de superação de dormência. **Revista Caatinga**, v. 25, n. 2, p. 65-71, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2013000100011>.

ELACHER, W.; OLIVEIRA, F. L.; SILVA, D.M.; QUARESMA, M.A.; CHRISTO, B. Carço de açaí triturado fresco na formulação de substrato para a produção de mudas de hortaliças brássicas. **Enciclopedia Biosfera**, v. 10, n. 18, p. 2930-2940, 2014.

ERASMI, S.; SCHUCKNECHT, A.; BARBOSA, M.P.; MATSCHULLAT, J. Vegetation greenness in northeastern Brazil and its relation to ENSO warm events. **Remote Sensing**, v. 6, n. 4, p. 3041-3058. 2014. <https://doi.org/10.3390/rs6043041>.

FERES, J.M.; SEBBENN, A.M.; GUIDUGLI, M.C.; MESTRINER, M.A.; MORAES, M.L.T.; ALZATE-MARIN, A.L. Mating system parameters at hierarchical levels of fruits, individuals and populations in the Brazilian insect-pollinated tropical tree, *Tabebuia roseo-alba* (Bignoniaceae). **Conservation Genetics**, v. 13, p. 393-405, 2012.

<https://doi.org/10.1007/s10592-011-0292-z>.

FERNANDES, M.F.; QUEIROZ, L.P. Vegetação e flora da Caatinga. **Ciência e Cultura**, v. 70, n. 4, p. 51-56, 2018. <http://dx.doi.org/10.21800/2317-66602018000400014>.

FERREIRA, E.B., CAVALCANTI, P.P., NOGUEIRA, D.A. ExpDes: An R package for ANOVA and experimental designs. **Applied Mathematics**, v. 5, n. 19, p. 2952-2958, 2014. <https://doi.org/10.4236/am.2014.519280>.

FERREIRA, P.V. **Estatística Experimental Aplicada às Ciências Agrárias**. Viçosa: Editora UFV, 2018. 588p.

FIGUEIREDO, M.A.; DINIZ, A.P.; ABREU, A.P.; MESSIAS, M.C.T.B.; KOZOVITS, A.R. Growing *Periandra mediterranea* on post-mining substrate: native Fabaceae with potential for revegetation of degraded rupestrian grasslands in Brazil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 32, n. 2, p. 232-239, 2018. <https://doi.org/10.1590/0102-33062017abb0381>.

FREIRE, N.C.F.; MOURA, D.C.; SILVA, J.B.; MOURA, A.S.S.; MELO, J.I.M.; PACHECO, A.P. **Atlas das Caatingas: o único bioma exclusivamente brasileiro**. Recife: Editora Massangana, 2018. 200p.

GONÇALVES, E.R.; SOUZA, F.C.; SANTOS, L.N.; SILVA, J.V.; FERREIRA, V.M.; ENDRES, L. Morphological and photosynthetic adaptations of *Tabebuia aurea* seedlings in the nursery. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 11, p. 1201-1209, 2013. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013001100011>.

GONÇALVES, M.P.M.; SILVA, JÚNIOR, F.S.; SOUZA, F.W.B.; SILVA, G.S.P.; SILIPRANDI, P.C.P.S. Desenvolvimento de mudas de *Aspidosperma parvifolium* A. DC. em diferentes recipientes e substratos. **Revista Semiárido De Visu**, v. 7, n. 3, p. 285-293, 2019. <http://dx.doi.org/10.31416/rsdv.v7i3.78>.

IBRAM: Instituto Brasileiro de Mineração. **Brazil country mining guide 2023**. 2023.

Disponível em: <[https://ibram.org.br/wp-content/uploads/2023/03/1677590829\\_dead89\\_14141\\_kpmg\\_brazil\\_country\\_mining\\_web\\_digital\\_v2-1.pdf](https://ibram.org.br/wp-content/uploads/2023/03/1677590829_dead89_14141_kpmg_brazil_country_mining_web_digital_v2-1.pdf)>. Acesso em: 09 Jun. 2023.

INPE: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **INPE apresenta dados inéditos de desmatamento para todo Brasil**. 2022. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/OBT/noticias-obt-inpe/inpe-apresenta-dados-ineditos-de->

[desmatamento-para-todo-brasil](#)>. Acesso em: 13 Jun. 2023.

LÚCIO, A.D.; SANTOS, D.; CARGNELUTTI, A.F.; SCHABARUM, D. Método de Papadakis e tamanho de parcela em experimentos com a cultura da alface. **Horticultura Brasileira**, v. 34, n. 1, p. 66-73, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0102-053620160000100010>.

MACEDO, M.C.; ROSA, Y.B.C.J.; ROSA JÚNIOR, E.J.; SCALON, S.P.Q.; TATARA, M.B. Produção de mudas de ipê branco em diferentes substratos. **Cerne**, v. 17, n. 1, p. 95-102, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0104-77602011000100011>.

MAPBIOMAS. **Desmatamento, queimadas e retração da superfície da água aumentam o risco de desertificação da Caatinga**. 2023. Disponível em: <<https://mapbiomas.org/desmatamento-queimadas-e-retracao-da-superficie-da-agua--aumentam-o-risco-de-desertificacao-da-caatinga>>. Acesso em: 12 Jun. 2023.

MARQUES, L. Brazil, 200 years of devastation: What will remain of the country after 2022? **Bicentennial of Independence**, v. 36, n. 105, p. 169-184, 2022. <https://doi.org/10.1590/s0103-4014.2022.36105.011en>.

MMA: Ministério do Meio Ambiente. **Caatinga**. 2023. Disponível em: <<https://antigo.mma.gov.br/biomas/caatinga.html>>. Acesso em: 13 Jun. 2023.

MOTTE, H.; VANNESTE, S.; BEECKMAN, T. Molecular and environmental regulation of root development. **Annual Review of Plant Biology**, v. 70, p. 465-488, 2019. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050718-100423>.

MVV: Mineração Vale Verde. **Mina Serrote**. 2023. Disponível em: <<https://vale-verde.com/index.php/mina-serrote/>>. Acesso em: 13 Jun. 2023.

NASCIMENTO, J.P.B.; DANTAS, B.F.; MEIADO, M.V. Hydropriming changes temperature thresholds for seed germination of tree species from the Caatinga, a Brazilian tropical dry forest. **Journal of Seed Science**, v. 43, p. e202143004, 2021. <http://dx.doi.org/10.1590/2317-1545v43238649>.

NEVES, V.L.; RAMBAL, S.; BARBOSA, J.P.R.A.D.; CASTRO, E.M.; PASQUAL, M. Recruitment niches of *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong: functional acclimations to light. **Forest**, v. 9, n. 5, p. 1-21, 2018. <https://doi.org/10.3390/f9050266>.

OLIVEIRA, A.R.; BOECHAT, C.L.; AMORIM, S.P.N.; SOUZA, M.E.L.; DUARTE, L.S.L.; SILVA, H.F.. Growth and quality of *Handroanthus serratifolius* seedlings in soils incorporating

amendments and inorganic residues. **Revista Ceres**, v. 66, n. 3, p. 235-242, 2019.

<https://doi.org/10.1590/0034-737X201966030010>.

OLIVEIRA, M.C.; OGATA, R.S.; ANDRADE, G.A.; SANTOS, D.S.; SOUZA, R.M.; GUIMARÃES, T.G.; SILVA JÚNIOR, M.C.S.; PEREIRA, D.J.S.; RIBEIRO, J.F. **Manual de viveiro e produção de mudas: espécies arbóreas nativas do Cerrado**. Brasília: Editora Rede de Sementes do Cerrado, 2016.124p.

OLIVEIRA, V.P.; MARTINS, W.B.R.; RODRIGUES, J.I.M.; SCHWARTZ, G. Bases ecológicas para restauração florestal de áreas degradadas pela mineração de caulim na Amazônia Oriental. In: PONTES, A.N.; ALBUQUERQUE, A.R.; MARTINS, W.B.R. (Org.). **Perspectivas e tendências das Ciências Florestais: uma visão interdisciplinar para a Amazônia**. Belém: Eduepa, 2021. p. 56-79. <http://dx.doi.org/10.31792/978-65-88106-32-7>.

ONU-BRASIL: Organizações das Nações Unidas – Brasil. **Objetivos do Desenvolvimento Sustentável – 15: Vida Terrestre**. 2023. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/15>>. Acesso em: 23 Fev. 2023.

PACHECO, C.S.G.R.; SANTOS, R.P. Mining and its Impacts on the “Caatingas” of the Brazilian Semiarido. **International Journal of Advanced Engineering Research and Science**, v. 6, n. 5, p. 178-189, 2019. <https://dx.doi.org/10.22161/ijaers.6.5.23>.

PAULUS, D.; VALMORBIDA, R.; TOFFOLI, E.; PAULUS, E.G.; T.M.B. Avaliação de substratos orgânicos na produção de mudas de hortelã (*Mentha gracilis* R. Br. e *Mentha x villosa* Huds.). **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 13, n. 1, p. 90–97, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1516-05722011000100014>.

PEREIRA JÚNIOR, L.R.; ANDRADE, A.P.; ARAÚJO, K.D.; BARBOSA, A.S.; BARBOSA, F.M. Espécies da Caatinga como alternativa para o desenvolvimento de novos fitofármacos. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 4, p. 509–520, 2014. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.024212>.

PESSOA, F.P.; MARCO JÚNIOR, P. The role of protected areas in safeguarding bat diversity in Brazil. **Biodiversity and Conservation**, v. 1, n. 1, p. 1-16, 2023. <https://doi.org/10.1007/s10531-023-02635-6>.

PORTELA, R.C.Q.; SILVA, I.L.; PINÃ-RODRIGUES, F.C.M. Crescimento inicial de mudas de *Clitoria fairchildiana* Howard e *Peltophorum dubium* (Spreng) Taub em diferentes condições de sombreamento. **Ciência Florestal**, v. 11, n. 2, p. 163-170, 2001. <https://doi.org/10.5902/198050981664>.

R Core Team. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. 2023. Disponível em: <<https://www.R-project.org>>. Acesso em: 23 Abr. 2023.

REDO, D.A.; AIDE, T.M.; CLARK, M.L. Vegetation change in Brazil's dryland ecoregions and the relationship to crop production and environmental factors: Cerrado, Caatinga, and Mato Grosso, 2001–2009. **Journal of Land Use Science**, v. 8, n. 2, p. 123-153, 2013. <http://dx.doi.org/10.1080/1747423X.2012.667448>.

RODRIGUES, C.B.; OLIVEIRA, M.R.R.; LIMA, P.V.P.S.; CASIMIRO FILHO, F. Instrumentos de gestão ambiental em municípios do semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 3, n. 5, p. 101-112, 2016. <http://dx.doi.org/10.21438/rbgas.030501>.

SILVA, K.S.; ARRUDA, A.G.R.; COSTA, D.S.; TABOSA, L.D.G.; OLIVEIRA, A.K.D.; OLIVEIRA, F.K.D. Substrato alternativo a base de rejeito de cobre e matéria orgânica na produção de mudas de ipê-branco. **Educação, Ciência e Saúde**, v. 8, n. 1, p. 1-19, 2021. <http://dx.doi.org/10.20438/ecs.v8i1.375>.

SOUZA, A.P.; COSTA, F.C.P.; ALENCAR, R.F.; LIMA, S.F.B. Exploração e utilização do potencial madeireiro da Caatinga no município de Aurora, estado do Ceará. **Pesquisa e Ensino em Ciências Exatas e da Natureza**, v. 2, n. 2, p. 158–168, 2018. <http://dx.doi.org/10.29215/pecen.v2i2.1070>.

SOUZA, B.C.; VALADARES, J.M. O ensino de ciências a partir da temática Mineração: uma proposta com enfoque CTS e três momentos pedagógicos. **Ciência & Educação**, v. 28, e22002, 2022. <https://doi.org/10.1590/1516-731320220002>.

TEIXEIRA, L.P.; LUGHADHA, L.N.; SILVA, M.V.C.; MORO, M.F. How much of the Caatinga is legally protected? An analysis of temporal and geographical coverage of protected areas in the Brazilian semiarid region. **Acta Botanica Brasilica**, v. 35, n. 3, p. 473-485. <https://dx.doi.org/10.1590/0102-33062020abb0492>.

TERRABRASILIS. **Incremento do desmatamento na Caatinga**. 2023. Disponível em: <[http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/app/dashboard/deforestation/biomes/legal\\_amazon/rates](http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/app/dashboard/deforestation/biomes/legal_amazon/rates)>. Acesso em: 13 Jun. 2023.

TRAZZI, P.A.; CALDEIRA, M.V.W.; REIS, E.F.; SILVA, A.G. Produção de mudas de *Tectona grandis* em substratos formulados com bioossólido. **Cerne**, v. 20, n. 2, p. 293-302, 2014.

<http://dx.doi.org/10.1590/01047760.201420021134>.

VIEIRA, C.; WEBER, O. Saturação por bases no crescimento e na nutrição de mudas de ipê-amarelo. **Floresta e Ambiente**, v. 24, e20160019, 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.001916>.

WU, J.; ZHU, O.; WANG, Z.; SHA, W.; LUO, K.; WANG, H.; FENG, Z. Ecological risk assessment of coal mine area based on “source-sink” landscape theory – A case study of Pingshuo mining area. **Journal of Cleaner Production**, v. 295, p. 126371, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126371>.

ZUFFO, A.M.; RATKE, R.F.; STEINER, F.; AGUILERA, J.G. Agronomic characteristics of soybean cultivars with late-season nitrogen application in supplementation to the inoculation of *Bradyrhizobium* spp. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 46, e022521. 2022. <https://doi.org/10.1590/1413-7054202246022521>.

**ANEXO I: Produto Técnico e Tecnológico**

**VIABILIDADE TÉCNICA DO USO DE TOPSOIL NA COMPOSIÇÃO DE  
SUBSTRATO DE ESPÉCIES FLORESTAIS DA CAATINGA**

**Adriano Alves de Andrade**

**Marcelo Cavalcante**

**Marechal Deodoro – AL**

**2023**

## SUMÁRIO EXECUTIVO

**Tipo de Produto Técnico e Tecnológico:** Tecnologia Social.

**Impacto:** Alto, pois o topsoil, resíduo sólido, poderá substituir substratos comerciais, reduzindo o consumo de matérias primas não renováveis (turfa) e o uso de processos que utilizam combustíveis fósseis (carbonatação da casca do arroz, adubos sintéticos), os custos de produção, tornando o preço das mudas mais acessível.

**Demanda:** Mineração Vale Verde do Brasil Ltda.

**Objetivo:** Indicar espécies florestais nativas do bioma Caatinga a substratos específicos, avaliadas nos estágios iniciais de crescimento.

**Aplicabilidade:** Nacional, considerando que a geração de topsoil é identificável em empreendimentos de grande porte, incluindo os Minerários.

**Inovação:** Médio teor inovador, por combinar conhecimentos pré-estabelecidos.

**Complexidade:** Tendo em vista os diferentes atores envolvidos para conclusão da pesquisa (empresa geradora do resíduo, empresa que reutiliza), pode-se dizer que a pesquisa apresentou média/alta complexidade.

**Inserção social:** O uso do topsoil reduz o custo de produção de mudas, permitindo que mais espécies possam ser produzidas. Estas mudas, além de serem utilizadas na restauração da vegetação suprimida, são doadas para Prefeituras, beneficiando a população local.

## CONTEXTUALIZAÇÃO

A degradação ambiental ocorre, sobretudo e expressivamente, nas regiões mais secas, e deriva da atuação de fatores climáticos e da intervenção humana (agricultura, pecuária, mineração etc.) (Leite & Bakke, 2018). Tal cenário não é diferente e possui elevada representatividade no semiárido nordestino brasileiro, em particular no bioma Caatinga, região com extensão de cerca de 900.000 km<sup>2</sup> distribuídos em todos os Estados nordestinos, exceto no Maranhão e no norte de Minas Gerais (Silva et al., 2016). Porém, a deterioração do meio ambiente nessa região se estende por mais de 20.000.000 ha, equivalendo a 21,95% de sua área e 12,25% da região nordestina (Holanda et al., 2015).

Nesse sentido, além das exigências legais, nota-se o interesse das empresas de mineração em determinar procedimentos de recuperação que sejam adequadas às condições do local de desenvolvimento da extração do bem mineral, de modo a reduzir os impactos negativos nos ecossistemas, principalmente por causar a remoção da vegetação nativa e do solo, que modifica a topografia e altera os ciclos biogeoquímicos (Daws et al., 2019).

Diante desse cenário, parte do empenho para conseguir a conservação dos processos naturais de restauração, está o plantio de mudas de espécies arbóreas nativas. Mesmo sendo dentro os métodos utilizados, o mais empregado no processo de restauração de áreas degradadas pela mineração, este possui elevados custos (Martins et al., 2018).

Dessa forma, subprodutos industriais podem e devem ser considerados em composição conjunta aos substratos de origem inorgânicos e comerciais, os quais possuem elevado custo, encarecendo a produção de mudas. O aproveitamento de resíduos agroindustriais como componentes de substratos orgânicos, pode garantir a obtenção de material alternativo, de baixo custo, fácil disponibilidade e ainda auxiliar na redução do acúmulo no ambiente (Massad et al., 2015). Tal condição se aplica ao topsoil, que representa a camada de horizonte A do solo, sendo obtido após a supressão da vegetação, com alto teor de matéria orgânica e nutrientes, quando comparado aos demais perfis, com benefícios aos processos ecológicos a nível edáfico (Ferreira & Vieira, 2017).

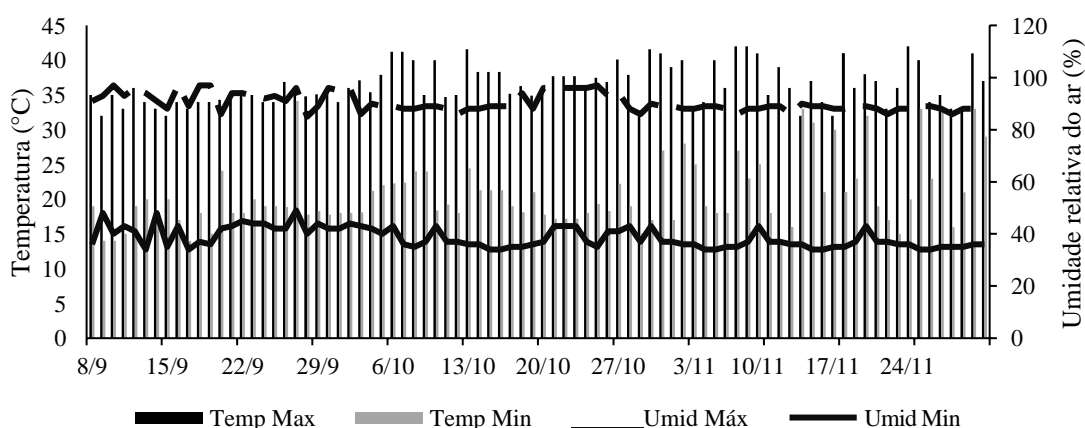
Embora seja um material de elevado valor biológico, o topsoil tem sua consideração operacional e aplicabilidade apenas em períodos e estágios pós-mineração (Vergílio et al., 2013). Nesse sentido, faz-se necessária a busca pela utilização de alternativas sustentáveis, a reutilização de resíduos e subprodutos na formação de substratos, de modo a promover o aproveitamento dos nutrientes contidos nesses materiais, a redução do custo de produção, além da mitigação dos impactos ambientais negativos gerados (Araújo et al., 2017).

O presente trabalho teve o intuito de conhecer a viabilidade técnica do uso do topsoil na composição de substratos para produção de mudas de espécies da Caatinga.

## METODOLOGIA

### Local

O experimento foi conduzido entre setembro e novembro de 2022 no viveiro de mudas da Mineração Vale Verde do Brasil LTDA., do tipo capela, envolto de sombrite (50% de incidência de luz), sob as coordenadas geográficas 9° 40' 45,59" S e 36° 47' 05,7" W, município de Craíbas/AL. O clima da região é do tipo BSh, semiárido quente, segundo classificação de Köppen, com médias anuais de temperaturas, mínima e máxima, umidade relativa do ar e precipitação pluvial de 19,9 e 29,9°C, 70,5% e 49,0 mm, respectivamente (Climate-Data, 2023). Com a utilização de um termo-higrômetro digital, modelo LCD-DC103, foram monitoradas as variações de temperatura e umidade relativa do ar durante o período experimental (Figura 1).



**Figura 1.** Variação da temperatura (°C) e umidade relativa do ar (%) no interior do viveiro de mudas durante o período experimental.

### Desenho experimental e tratamentos

O experimento foi implantado no delineamento inteiramente casualizado, arranjo fatorial 4 x 5, composto por quatro espécies da Caatinga [*Canafístula* (*Peltophorum dubium* Spreng., farinha seca (*Albizia hasslerii* Chod. Burkart), timbaúba (*Enterolobium contortisiliquum* Vell. Morong) e ipê branco (*Tabebuia roseo-alba* Ridl. Sandwith)], e cinco níveis de topsoil (0, 25, 50, 75 e 100% de topsoil em substituição ao substrato comercial), com quatro repetições, totalizando 100 parcelas, em que cada parcela foi composta por nove mudas (Elacher et al., 2014).

As sementes das espécies foram coletadas em árvores-matrizes localizadas no Posto

Avançado da Reserva da Biosfera da Caatinga, pertencente à Mineração Vale Verde Ltda., em Caríbas/AL. O topsoil, sem histórico de uso agropecuário, foi obtido após a execução dos serviços de supressão vegetal, na camada de 0 a 30 cm do solo, em que houve o transporte do material a depósito específico, a céu aberto, com capacidade de 33 mil m<sup>3</sup>, segundo os programas vinculados ao licenciamento ambiental do empreendimento de exploração de cobre.

O substrato comercial foi o Tropstrato Florestal<sup>®</sup> (Genfertil Composto Orgânico S/A, Campinas/SP), constituído por casca de pinus, vermiculita, carvão vegetal, superfosfato simples e produtos formulados por terceiros, com capacidade de retenção de água mínima de 130%, e densidade (base seca) de 190 kg m<sup>-3</sup>. Amostras de topsoil e do substrato comercial foram enviados para análises químicas, em que os resultados estão apresentados na Tabela 1.

**Tabela 4.** Análises químicas do topsoil e do substrato comercial.

Caracteres	Topsoil	Substrato Comercial
pH (água)	5,8	5,4
P (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>1</sup>	5,0	18,0
Na (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>1</sup>	0,29	6,4
K (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>1</sup>	0,36	17,9
Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>2</sup>	2,9	6,3
Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>2</sup>	1,3	4,7
Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>2</sup>	0,0	0,13
H (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>3</sup>	2,3	1,87
S (Soma de bases; cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	4,85	35,3
Matéria orgânica (%)	1,95	57,5
Ferro (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>1</sup>	332,1	198,2
Cobre (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>1</sup>	1,35	2,25
Zinco (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>1</sup>	0,01	0,15
Manganês (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>1</sup>	0,55	0,65

Métodos analíticos: <sup>1</sup>Mehlich; <sup>2</sup>KCl a 1N; <sup>3</sup>Acetato de cálcio a pH 7,0.

As análises físicas do topsoil de areia muito grossa, areia grossa, areia média, areia fina, areia muito fina, silte e argila foram 30, 115, 287, 280, 88, 109 e 91 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente, classificando-o como Areia Franca.

## Manejo experimental

As mudas foram produzidas em tubetes plásticos de polipropileno atóxico, preto, com capacidade de 290 mL, dispostos em bandejas plásticas com 54 células, em que houve o semeio manual de três sementes tubete<sup>-1</sup>, a 1,5 cm de profundidade. Aos 30 dias após a semeadura foi realizado o desbaste, deixando a plântula mais vigorosa. As irrigações foram diárias, realizada com auxílio de um sistema de microaspersão com vazão de 0,96 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>, utilizando um sistema com acionamento manual, por 40 minutos, duas vezes ao dia, às 10:00 e 15:00 h.

## Variáveis analisadas

Aos 90 dias após a semeadura, em cinco mudas da área útil da parcela, foram avaliados o diâmetro do coleto (DC; mm), mensurado no colo da plântula com auxílio de um paquímetro; altura das plântulas (AP; cm), mensurada do colo até o ápice da plântula com auxílio de uma trena. Quantificou-se ainda, com auxílio de uma balança analítica digital, a massa da parte aérea (MPA; g), após corte na região do colo da muda com auxílio de uma tesoura de poda; a massa da raiz (MR; g), obtida após a separação da raiz com o substrato, em água corrente; e massa total (MT; g), correspondendo à soma da MPA e MR (g). De posse dos dados, avaliou-se o Índice de Qualidade de Dickson (IQD), proposto por Dickson et al. (1960), em que:

$$IQM = \frac{MT}{\frac{AP}{DC} / \frac{MPA}{MR}}$$

## Análise estatística dos dados

Na análise dos dados, utilizou-se os modelos lineares mistos, empregando-se a análise de deviance, em que os efeitos foram avaliados pelo teste LRT (likelihood-ratio test) a 5% de probabilidade pelo teste X<sup>2</sup>. As medias foram preditas pelo método BLUP. Ambos, espécies and concentrações foram assumidas como aleatórios, usando o argumento ‘random == “all”’, da função `waasb()`. Todas as análises foram realizadas usando pacote *metan*, version 1.18.0 (Oivoto & Lúcio, 2020), of the R software (R Core Team, 2023).

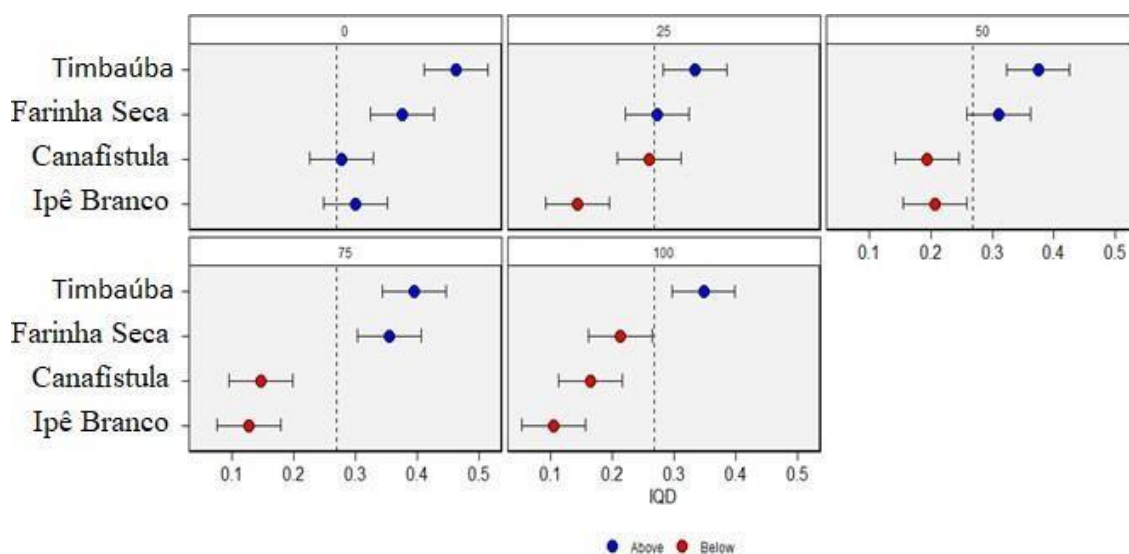
## RESULTADOS OBTIDOS

### Análise de deviance

Observou-se interação significativa ( $P < 0,05$ ) entre as espécies e as concentrações de topsoil, indicando que o comportamento das espécies da Caatinga avaliadas foram influenciadas pela composição dos substratos.

### Índice de qualidade de Dickson (IQD)

De forma geral, a composição dos substratos proporcionou o ambiente favorável para produção de mudas, principalmente para a espécie Timbaúba, com BLUPs acima da média em todos os tratamentos (Figura 1). Trata-se de uma espécie que apresenta crescimento classificado como pioneiro (Nascimento et al., 2021), adaptada às condições edafoclimáticas da Caatinga. Portanto, poderá ser utilizado até 100% de topsoil



**Figura 1.** Índice de qualidade da muda (IQM) predito de quatro espécies florestais da Caatinga. Azul e vermelho indicam as espécies que tiveram BLUPs acima e abaixo da média, respectivamente. Barra de erro horizontal representa 95% do intervalo de confiança pelo teste t. Espécies: 1. Canafístula; 2. Farinha Seca; 3. Timbaúba; 4. Ipê Branco.

Porém, considerando o limite mínimo de 0,20 para o IQD, estabelecido por Dickon et al. (1960), observou-se que apenas Ipê Branco, nas composições de 25, 75 e 100%; e Canafístula, nas composições 75 e 100% de topsoil tiveram médias preditas inferiores ao limite mínimo para o IQD (Figura 1), indicando que não se adaptaram estes ambientes. É possível que a baixa retenção de água, devido a composição dos substratos, tenha desfavorecido às espécies. Ainda, quando cultivadas no substrato comercial, Canafístula e Ipê Branco tiveram os menores BLUPs, podendo indicar a não adaptação das espécies a este substrato.

Vieira & Weber (2017) observaram que a saturação por base mínima, composta por Na, K, Ca e Mg, para o Ipê Branco é de 70%. Porém, considerando os valores mínimos de < 1,0% saturação por sódio e entre 2,0 e 5,0% da saturação por potássio para as plantas, com base na capacidade de troca catiônica total (CTCt), observou-se que, no tratamento controle (0% topsoil), as saturações foram de 17,2 e 18,9%, respectivamente, podendo ter influenciado as espécies.

## CONCLUSÕES

Na produção de mudas de espécies da Caatinga, a qualidade da muda é essencial para o crescimento e estabelecimento de plantas adultas. O índice de qualidade de Dickson foi idealizado para indicar mudas com qualidade suficiente para sobrevivência após o transplante. Portanto, considerando este parâmetro, para Canafístula, indica-se até 50% de topsoil; Farinha Seca e Timbaúba, até 100% de topsoil; Ipê Branco, substrato comercial e 50% de topsoil produzem mudas de qualidade.

## AGRADECIMENTOS

A pesquisa contou com a parceria da empresa Mineração Vale Verde do Brasil por disponibilizar estrutura, insumos e recursos humanos fundamentais para a realização deste trabalho.

## REFERÊNCIAS

ARAÚJO, E.F. et al. Crescimento e qualidade de mudas de paricá produzidas em substratos à base de resíduos orgânicos. **Nativa**, v. 5, n. 1, p. 16-23, 2017. <https://doi.org/10.5935/2318-7670.v05n01a03>

CLIMATE-DATA. **Dados climáticos para Craíbas/AL – Brasil**. 2023. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/alagoas/craibas-43005>>. Acesso em: 13 Jun. 2023.

DAWS, M.I. et al. Enduring effects of large legumes and phosphorus fertiliser on jarrah forest restoration 15 years after bauxite mining. **Forest Ecology and Management**, v. 438, p. 204–214, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.02.029>

DICKSON, A. et al. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **The Forestry Chronicle**, v. 36, n. 1, p. 10-13, 1960.

<https://doi.org/10.5558/tfc36010-1>

ELACHER, W. et al. Carço de açá triturado fresco na formulação de substrato para a produção de mudas de hortaliças brássicas. **Enciclopedia Biosfera**, v. 10, n. 18, p. 2930-2940, 2014.

FERREIRA, M.C.; VIEIRA, D.L.M. Topsoil for restoration: resprouting of root fragments and germination of pioneers trigger tropical dry forest regeneration. **Ecological Engineering**, v. 103, p. 1–12, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.03.006>

HOLANDA, A.C. et al. Estrutura da vegetação em remanescentes de caatinga com diferentes históricos de perturbação em Cajazeirinhas (PB). **Revista Caatinga**, v. 28, n. 4, p. 142-150, 2015. <https://doi.org/10.1590/1983-21252015v28n416rc>

LEITE, M.J.H.; BAKKE, O.A. Uso de coprodutos da extração de ver miculita na produção de mudas de faveleira (*Cnidocolus quercifolius* Pohl.). **HOLOS**, v. 3, p. 70-80, 2018. <http://dx.doi.org/10.15628/holos.2018.5863>

MARTINS, W.B.R. et al. Deposição de serapilheira e nutrientes em áreas de mineração submetidas a métodos de restauração florestal em Paragominas, Pará. **Revista Floresta**, v. 48, n. 1, p. 37-48, 2018. <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v48i1.49288>

MASSAD, M.D. et al. Substratos alternativos na produção de mudas de flamboyant e ipê-mirim. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, 354 v.10, n.2, p. 251-256, 2015. <https://doi.org/10.18378/rvads.v10i2.3475>

OLIVOTO, T., LÚCIO, A.D.C. 2020. *metan*: An R package for multi-environment trial analysis. **Methods in Ecology and Evolution**, v. 11, p. 783-789, 2020. doi: <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13384>

R Core Team. **R: A language and environment for statistical computing - R Foundation for Statistical Computing (4.1.1)**. 2023. Vienna, Austria. Available at: <https://www.R-project.org/>. Accessed on 10 Jun. 2023.

SILVA, M.S.C. et al. Soil Fauna Communities and Soil Attributes in the Agroforests of Paraty. **Floresta e Ambiente**, 180-190, 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.059813>

VERGÍLIO, P.C.B. et al. Effect of Brushwood transposition on the leaf litter arthropod fauna in a Cerrado area. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 5, p. 1158–1163, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000500005>

VIEIRA, C.; WEBER, O. Saturação por bases no crescimento e na nutrição de mudas de ipê-amarelo. **Floresta e Ambiente**, v. 24, e20160019, 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.001916>