

**UNIVERSIDADE BRASIL
PROGRAMA DE MESTRADO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS
CAMPUS DE FERNANDÓPOLIS - SP**

LARISSA GABRIELA OLIVEIRA GAMBI

**TECNOSSOLO ELABORADO COM RESÍDUOS URBANOS E
INDUSTRIAL: POTENCIAL PARA A MELHORIA DA QUALIDADE DO
SOLO E CRESCIMENTO DE MUDAS ARBÓREAS**

**TECHNOSOL MADE FROM URBAN AND INDUSTRIAL WASTES:
POTENTIAL FOR SOIL QUALITY IMPROVEMENT AND TREE
SEEDLINGS GROWTH**

Fernandópolis – SP

2024

PROGRAMA DE MESTRADO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

LARISSA GABRIELA OLIVEIRA GAMBI

**TECNOSSOLO ELABORADO COM RESÍDUOS URBANOS E
INDUSTRIAL: POTENCIAL PARA A MELHORIA DA QUALIDADE DO
SOLO E CRESCIMENTO DE MUDAS ARBÓREAS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Brasil, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Prof. Dr. Acacio Aparecido Navarrete
Orientador

Prof. Dr. Roberto Andreati Junior
Coorientador

Prof. Dr. Luiz Sergio Vanzela
Coorientador

Fernandópolis – SP
2024

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Bibliotecas da Universidade Brasil,
com os dados fornecidos pelo (a) autor (a).**

G181t Gambi, Larissa Gabriela Oliveira.
Tecnossolo elaborado com resíduos urbanos e industriais: Potencial para a melhoria de qualidade do solo crescimento de mudas arbóreas. / Larissa Gabriela Oliveira Gambi – Fernandópolis: Universidade Brasil, 2024.

38f.: il.; 29,5cm.

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Brasil, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Acacio Aparecido Navarrete.

1. Resíduos de Construção e Demolição. 2. RCD. 3. Produção Vegetal. 4. Enzimas do solo. I. Título.

CDD 363.728



**UNIVERSIDADE
BRASIL**

TERMO DE APROVAÇÃO

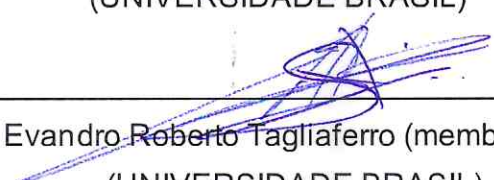
LARISSA GABRIELA OLIVEIRA GAMBI

"Tecnossolo elaborado com resíduos urbanos e industrial: Potencial para a melhoria da qualidade do solo e crescimento de mudas arbóreas."

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre no Programa de Mestrado em Ciências Ambientais** da Universidade Brasil, pela seguinte banca examinadora:



Dr. Acacio Aparecido Navarrete (orientador)
(UNIVERSIDADE BRASIL)


Dr. Evandro Roberto Tagliaferro (membro interno)
(UNIVERSIDADE BRASIL)


Dra. Poliana Rizzo da Silva Ueda (membro externo)
(UNIFEV)

Fernandópolis-SP, 07 de fevereiro de 2024.

Presidente da Banca Dr. Acacio Aparecido Navarrete

Houve alteração do Título: sim () não ():



Termo de Autorização

Para Publicação de Dissertações e Teses no Formato Eletrônico na Página WWW do Respetivo Programa da Universidade Brasil e no Banco de Teses da CAPES

Na qualidade de titular(es) dos direitos de autor da publicação, e de acordo com a Portaria CAPES no. 13, de 15 de fevereiro de 2006, autorizo(amos) a Universidade Brasil a disponibilizar através do site <http://www.universidadebrasil.edu.br>, na página do respectivo Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu*, bem como no Banco de Dissertações e Teses da CAPES, através do site <http://bancodeteses.capes.gov.br>, a versão digital do texto integral da Dissertação/Tese abaixo citada, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira.

A utilização do conteúdo deste texto, exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, fica condicionada à citação da fonte.

Título do Trabalho: "Tecnossolo elaborado com resíduos urbanos e industrial: Potencial para a melhoria da qualidade do solo e crescimento de mudas arbóreas."

Autor(es):

Discente: Larissa Gabriela Oliveira Gambi

Assinatura:

Larissa Gabriela Oliveira Gambi

Orientador(a): Dr. Acacio Aparecido Navarrete

Assinatura:

Acacio Aparecido Navarrete

Data: 07/02/2024.

RESUMO

A gestão dos resíduos de construção e demolição (RCD) e sua correta destinação final tornou-se um problema para muitos municípios brasileiros. Este estudo teve como objetivo avaliar o aproveitamento dos RCD na elaboração de Tecno solo, que é solo elaborado “sob medida”, aqui constituído pela mistura de RCD, resíduo sólido estéril de mineração de areia e pedra (RM), solo natural (SN) e composto obtido a partir de restos da poda de plantas urbanas (RV), com o propósito de melhorar a qualidade do solo e promover o crescimento de espécies arbóreas comumente empregadas em projetos de recuperação florestal. Para tanto, amostras de RCD coletadas de acordo com a NBR 10007, na fração granulométrica de até 2 mm, e de RM foram moídas em moinho e almofariz de ágata e caracterizadas quanto à sua composição química e mineralógica por fluorescência de raios X e difração de raios X. O potencial do Tecno solo como substrato para o crescimento de mudas arbóreas foi avaliado a partir da mistura de RCD “Classe A” segundo a Resolução CONAMA 307/2002, RM, SN e RV, nas seguintes proporções: *I.* 10% RCD + 42,5% RM + 42,5% SN + 5% RV, *II.* 20% RCD + 37,5% SM + 37,5% SN + 5% RV, e *III.* solo natural como controle. O experimento foi conduzido em blocos casualizados com nove tratamentos e três repetições, utilizando vasos com capacidade de 5,5 L. Os tratamentos experimentais consistiram da interação das duas proporções das misturas além do solo natural e três espécies arbóreas: pioneira, *Cecropia pachystachya* (Embaúba), secundária, *Handroanthus impetiginosus* (Ipê Roxo) e climácica, *Copaifera langsdorffii* (Copaiba). A atividade das enzimas β -glicosidase e arilsulfatase foi determinada no Tecno solo e solo natural ao final do experimento. Durante 180 dias foram determinadas a altura das plantas e o diâmetro do coleto em intervalos de 30 dias e, ao final do experimento, avaliada a massa seca da parte aérea (folhas e tronco) e das raízes. O Tecno solo construído a partir da mistura “*I*” mostrou-se viável para a melhoria da qualidade do solo, conforme indicado pela maior atividade enzimática em comparação com os demais solos, e para o crescimento de mudas de *H. impetiginosus*, mostrando capacidade de ganho de altura da planta ao longo de 180 dias após o plantio.

Palavras-chave: Resíduos de construção e demolição; RCD; Produção vegetal; Enzimas do solo

ABSTRACT

The management of construction and demolition waste (CDW) and its correct final destination has become a problem for many Brazilian municipalities. This study aimed to evaluate the use of CDW in the preparation of Technosol, which is a “tailor-made” soil, here consisting of a mixture of CDW, sterile solid waste from sand and stone mining (MW), natural soil (NS) and organic compound from the remains of urban plant pruning (OC), with the purpose of improving soil quality and promoting the growth of tree species commonly used in forest recovery projects. For this purpose, samples of CDW collected in accordance with NBR 10007, in a particle size fraction of up to 2 mm, and MW were ground in a mill and agate mortar and characterized in terms of their chemical and mineralogical composition by X-ray fluorescence and X-ray diffraction. The potential of Technosol as a substrate for the growth of tree seedlings was evaluated based on the mixture of CDW “Class A” according to CONAMA Resolution 307/2002, MW, NS and OC, in the following proportions: *I.* 10% RCD + 42.5% RM + 42.5% SN + 5% RV, *II.* 20% RCD + 37.5% SM + 37.5% SN + 5% RV, and *III.* natural soil as control. The experiment was conducted in randomized blocks with nine treatments and three replications, using pots with a capacity of 5.5 L. The experimental treatments consisted of the interaction of two proportions of mixtures in addition to natural soil and three tree species: pioneer, *Cecropia pachystachya* (Embaúba), secondary, *Handroanthus impetiginosus* (Ipê Roxo) and climax, *Copaifera langsdorffii* (Copaiba). The activity of the enzymes β -glucosidase and arylsulfatase was determined in the Technosol and natural soil at the end of the experiment. During 180 days, the height of the plants and the diameter of the stem were determined at intervals of 30 days and, at the end of the experiment, the aerial part dry mass (leaves and trunk) and roots was evaluated. The Technosol constructed from the “*I*” mixture proved to be viable for improving soil quality, as indicated by the greater enzymatic activity compared to other soils, and for the growth of *H. impetiginosus* seedlings, showing the capacity to gain plant height over 180 days after planting.

Keywords: Construction and demolition waste; CDW; Crop production; Soil enzymes

DIVULGAÇÃO E TRANSFERÊNCIA DE CONHECIMENTO

Esse estudo teve como objetivo avaliar o aproveitamento dos resíduos de construção e demolição, resíduo sólido estéril de mineração de areia e pedra e resto da poda de plantas urbanas na elaboração de um solo “sob medida”, denominado Tecnosolo. O trabalho utilizou diferentes técnicas analíticas (fluorescência e difração de raios X, atividade enzimática do solo, biometria vegetal e estatística) e mostrou que proporção específica da mistura dos resíduos urbanos e industrial com solo natural é capaz de melhorar a qualidade do Tecnosolo e sustentar o crescimento de mudas de ipê roxo, mostrando capacidade de ganho de altura da planta. Os resultados dessa pesquisa abrem caminho para novas investigações com diferentes tipos de solo, espécies florestais e resíduos urbanos, favorecendo a sustentabilidade no desenvolvimento municipal.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – A. Pilhas de resíduos de construção e demolição (RCD) do centro de reciclagem da ABC Engenharia; B. Resíduos sólido estéril de mineração na Pedreira Santa Fé Empresa de Mineração Ltda	18
Figura 2 – Componentes do Tecnosolo	19
Figura 3 – Localização da Fazenda Santa Rita, Fernandópolis – SP	20
Figura 4 – Delineamento experimental com os diferentes grupos ecológicas de espécies arbóreas	21
Figura 5 – Difratoograma de raio-X com registro dos ângulos de difração de uma amostra de resíduo sólido estéril de mineração obtido a partir de difratômetro com radiação de cobre	25
Figura 6 – Difratoograma de raio-X com registro dos ângulos de difração de uma amostra de resíduo sólido estéril de mineração obtido a partir de difratômetro com radiação do cobre	25

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Proporção relativa da composição do Tecnosolo utilizado nos diferentes tratamentos experimentais para crescimento de mudas de espécies arbóreas em casa-de-vegetação	20
Tabela 2 – Espécies arbóreas utilizadas na experimentação em casa-de-vegetação	21
Tabela 3 – Análise química de minerais na forma de óxidos por ensaio de espectrometria de fluorescências de raio-X de amostras de resíduo	26
Tabela 4 – Análise de elementos traço por ensaio de espectrometria de fluorescência de raio-X de amostras de resíduo de construção e demolição e resíduo sólido estéril de mineração	27
Tabela 5 – Caracterização química do solo natural adicionado no Tecnosolo	29
Tabela 6 – Atividade das enzimas β -glicosidase e arilsulfatase nos tratamentos com Tecnosolo e solo natural.....	30
Tabela 7 – Dados biométricos e massa seca de <i>Cecropia pachystachya</i> (A), <i>Handroanthus impetiginosus</i> (B) e <i>Copaifera langsdorffii</i> (C) desenvolvidas em Tecnosolo e solo natural.....	31

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	14
2.1 OBJETIVOS GERAIS	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3 REVISÃO DA LITERATURA.....	15
4 MATERIAL E MÉTODOS	17
4.1 COLETA E CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E MINERALÓGICA DO RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO E RESÍDUO SÓLIDO ESTÉRIL DE MINERAÇÃO	17
4.2. COLETA E CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO SOLO NATURAL.....	18
4.3. COLETA DE RESTO DA PODA DE PLANTAS URBANAS.....	19
4.4. CONSTRUÇÃO DO TECNOSSOLO.....	19
4.5. EXPERIMENTO EM CASA-DE-VEGETAÇÃO.....	20
4.6. DETERMINAÇÃO DA ATIVIDADE DE ENZIMAS DO SOLO.....	21
4.7. AVALIAÇÕES BIOMÉTRICAS.....	22
4.7.1. Altura e diâmetro do coleto das plantas.....	22
4.7.2. Avaliação da massa seca das plantas	22
4.8. ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	22
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
5.1. CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E MINERALÓGICA DO RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO E RESÍDUO SÓLIDO ESTÉRIL DE MINERAÇÃO.....	24
5.2. FATORES QUÍMICOS DO SOLO NATURAL.....	28
5.3. ATIVIDADE DAS ENZIMAS β -GLICOSIDASE E ARILSULFATASE	29
5.4. BIOMETRIA E MASSA SECA DE <i>C. Pachystachya</i> , <i>H. Impetiginosus</i> E <i>C. Langsdorfii</i> DESENVOLVIDAS EM TECNOSSOLO E SOLO NATURAL.....	30
6 CONCLUSÃO.....	33
REFERÊNCIAS.....	34

1 INTRODUÇÃO

A construção civil e a atividade de mineração de pedra e areia são geradoras de impactos ambientais. Enquanto a primeira utiliza recursos naturais para a produção de seus materiais e gera uma significativa quantidade de resíduos após seu uso ou demolição, a segunda promove degradação visual da paisagem, perda de solo, alteração do relevo e geração de pilhas de resíduos sólidos estéreis resultante do decapeamento da jazida.

A disposição irregular dos resíduos de construção e demolição (RCD) em áreas urbanas caracteriza problemas de ordem ambiental, estética e de saúde pública, além de sobrecarregar os sistemas municipais de limpeza pública (BERNARDES *et al.*, 2008). Poucos municípios brasileiros dispõem de unidades de reciclagem para RCD, sendo a mistura asfáltica e a elaboração de concreto reciclado as principais formas de reaproveitamento, ainda que em pequena quantidade, desses resíduos (BRASILEIRO; MATOS, 2015). Pesquisas recentes têm demonstrado a capacidade de construção de solos sob medida a partir da reutilização de RCD, visando a recuperação de áreas degradadas e correção da fertilidade de solos destinados à prática agrícola. De Sutter *et al.* (2011) e Kluge *et al.* (2018) examinaram a periculosidade o uso de RCD no solo, sem, contudo, avaliar se tais resíduos têm a capacidade de melhorar a qualidade de solos degradados.

O uso de materiais provenientes de atividades humanas, como os rejeitos urbanos, industriais e domésticos (p.e., RCD, resíduos estéreis de mineração, compostos orgânicos), na forma de mistura e em contato com solo natural, é considerado solo construído com um determinado propósito, denominado Tecnosolo (IUSS Working Group, 2014). De acordo com pesquisa bibliográfica na base *Scopus*, os estudos focando o uso de Tecnosolo na recuperação de áreas degradadas iniciaram há 16 anos e tem sido frequente nos últimos anos.

Até recentemente, a presença de bioindicadores que ajudassem a avaliar a qualidade dos solos ainda não fazia parte das rotinas de análises de solo. Essa ausência do componente biológico nas análises de rotina ocorria não só no Brasil, mas na maioria dos países do mundo. No início do segundo semestre de 2020, o grupo de pesquisa com Bioindicadores de Qualidade de Solo, da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA Cerrados), lançou a tecnologia BioAS, que consiste na análise das enzimas β -glicosidase e arilsulfatase, associadas aos ciclos do carbono (C) e do enxofre (S), respectivamente. Por estarem relacionadas, direta

ou indiretamente, ao potencial produtivo e à sustentabilidade do uso do solo, essas enzimas funcionam como bioindicadores e ajudam a avaliar a saúde dos solos (Mendes *et al.*, 2021).

Nesse sentido, este estudo buscou caracterizar química e mineralogicamente RCD e resíduo sólido estéril de mineração e compreender a capacidade da mistura desses resíduos urbano e industrial com solo natural, enriquecido com matéria orgânica proveniente de resto de podas de plantas urbanas, sustentar o crescimento de mudas arbóreas comumente utilizadas em projetos de recuperação florestal e melhorar a qualidade do solo.

2. OBJETIVOS

O objetivo deste estudo foi avaliar o aproveitamento dos resíduos de construção e demolição (RCD) na elaboração de Tecno solo, que é solo elaborado “sob medida”, aqui constituído pela mistura de RCD, resíduo sólido estéril de mineração de areia e pedra, solo natural e composto obtido a partir de restos da poda de plantas urbanas, com o propósito de melhorar a qualidade do solo e promover o crescimento de espécies arbóreas comumente empregadas em projetos de recuperação florestal.

2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar a atividade das enzimas β -glicosidase e arilsulfatase no Tecno solo e solo natural utilizados em experimento com as espécies arbóreas em casa-de-vegetação;
- Avaliar o crescimento de espécies arbóreas pioneiras, secundárias e climáticas com o uso de Tecno solo como substrato e solo natural como controle em vasos mantidos em casa-de-vegetação.

3. REVISÃO DA LITERATURA

O Brasil é um país de escala continental com uma grande diversidade de reservas minerais explorada desde os tempos coloniais no início do século XVIII. Atualmente, é o nono maior produtor de *commodities* minerais (REICHL; SCHATZ, 2022) e sua economia depende fortemente da indústria de mineração como base do setor manufatureiro. Embora a mineração seja fundamental para o desenvolvimento econômico, também é conhecida como uma das atividades antrópicas mais prejudiciais, causando degradação de ecossistemas em larga escala, como poluição do solo e da água e perda da biodiversidade (GIAM *et al.*, 2018; MURGUÍA *et al.*, 2016; PERLATTI *et al.*, 2021).

A mineração de superfície é o método mais utilizado para exploração de minério, respondendo por mais de 80% da exploração anual (RAMANI, 2012). Esse tipo de mineração envolve a remoção completa do solo e da vegetação, causando uma perda dos estoques de carbono do ecossistema por meio da oxidação da matéria orgânica (KUNDU; GHOSE, 1997; GHOSE; KUNDU, 2007; GHOSE, 2001). Conforme evidenciado pela Quarta Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), as emissões de dióxido de carbono (CO₂) relacionadas à remoção de vegetação para mineração aumentaram desde a década de 1990, com 8,9 megatoneladas (Mt) de CO₂ equivalente (CO₂ eq) emitidos apenas em 2016, o que equivale a 0,4% do total de emissões anuais de CO₂ do país. No entanto, esta é uma subestimação porque considera apenas a vegetação e exclui os solos. Os solos podem conter até três vezes mais carbono do que a vegetação e podem desempenhar um papel significativo no sequestro de carbono (ESWARAN *et al.*, 1993).

Uma estratégia emergente para a recuperação pós-mina é a (re)construção de solos utilizando resíduos de mineração e outros resíduos, como os industriais e urbanos (RUIZ *et al.*, 2020; AHIRWAL; MAITI, 2018; UZAROWICZ *et al.*, 2020; WATKINSON, 2017). Esses solos, conhecidos como Tecnosolos, podem ajudar a resolver muitos problemas ambientais relacionados à mineração, incluindo poluição do solo, perda de fertilidade e biodiversidade (HEDDE *et al.*, 2019; VERGNES *et al.*, 2017; ASENSIO *et al.*, 2013; RODRÍGUES-VILA *et al.*, 2017). Além disso, desde que empregadas as propriedades adequadas, os Tecnosolos também podem restaurar importantes serviços ecossistêmicos relacionados ao ecossistema edáfico, melhorando o gerenciamento de resíduos, suportando o desenvolvimento de plantas

– nativas ou de interesse agrícola e florestal – e sequestrando carbono por meio do acúmulo de matéria orgânica (RUIZ *et al.*, 2020).

Dentre os resíduos industriais e urbanos que podem ser utilizados para a (re)construção de solos encontram-se os resíduos de construção e demolição e os restos de poda de plantas urbanas. O setor da construção civil tem contribuído com a geração de elevado volume de resíduos, os quais geralmente têm tido descarte indevido. Segundo a Resolução nº 307, de 05 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA (BRASIL, 2002), os resíduos sólidos de construção e demolição são os materiais derivados de construções, reparos, reformas, demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: blocos cerâmicos, tijolos, concreto em geral, rochas, solos, metais, tintas, resinas, colas, madeiras e compensados, argamassa, telhas, gesso, pavimento asfáltico, plásticos, vidros, fiação elétrica, tubulações, dentre outros, rotineiramente chamados de entulhos de obra, caliça ou metralha.

Por sua vez, a poda de árvores em ambiente urbano é muito comum no Brasil, principalmente devido a problemas com a rede elétrica e edificações. O resto da poda de plantas urbanas, denominado de lixo verde, é um problema ambiental considerável, sendo a destinação final destes resíduos, além de composteiras, os aterros sanitários. Estes dados indicam a necessidade de criar destinos alternativos para os resíduos de poda de plantas urbanas.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Coleta e caracterização química e mineralógica do resíduo de construção e demolição e do resíduo sólido estéril de mineração

Para realizar esta pesquisa, as amostras de resíduo de construção e demolição (RCD) e resíduo sólido estéril de mineração (RM) foram caracterizadas química e mineralogicamente por fluorescência de raios X (FRX) e difração de raios X (DRX).

Foram coletadas três amostras simples contendo cada uma 20 kg de RCD com granulometria máxima de 2 mm em conformidade com a Norma NBR 10.007/2004 (ABNT, 2004). A coleta foi realizada no centro de reciclagem da ABC Engenharia localizado em Macedônia, município com 3963 habitantes (IBGE, 2022), situado na região Noroeste Paulista (Figura 1A). O centro de reciclagem opera produzindo RCD a partir de resíduos "Classe A", conforme Resolução CONAMA 307/2002 (BRASIL, 2002), na forma mista, ou seja, com material denominado "cinza" (composto por concreto e argamassa) e material denominado "vermelho" (cerâmica, blocos cerâmicos, tijolos), o que se traduz em uma vantagem maior no presente trabalho, pois os dois resíduos resultam em uma mistura já homogeneizada.

Amostras de resíduo sólido estéril de mineração, *i.e.*, materiais escavados, gerados pelas atividades de extração (ou lavra) no decapeamento da mina, foram coletadas na Pedreira Santa Fé Empresa de Mineração Ltda., localizada no município de Santa Fé do Sul, Estado de São Paulo, Brasil (Figura 1B).

Após coleta, secagem em estufa a 100 °C por 24 h, os exemplares foram processados em moinho orbital, peneiradas em peneira de 200 mesh e enviadas para a Central Multiusuário Geoanalítica (CMGeo) da Universidade de São Paulo (USP), para definição de minerais na forma de óxidos, através das técnicas de difração de raios X (XRD) e caracterização mineralógica por fluorescência de raios X (XRF), e o restante reservado para a realização da pesquisa.

Figura 1 – A. Pilhas de resíduos de construção e demolição (RCD) do centro de reciclagem da ABC Engenharia; e B. Resíduo sólido estéril de mineração na Pedreira Santa Fé Empresa de Mineração Ltda.



Fonte: Autoria própria.

4.2. Coleta e caracterização química do solo natural

Foi amostrada a camada de 0-40 cm de um Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico abrupto, de textura arenosa média, na Fazenda Santa Rita da Universidade Brasil, *Campus* de Fernandópolis. O pH do solo foi medido em uma suspensão solo: água 1: 2,5. Alumínio (Al), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) trocáveis foram extraídos com KCl 1 M. Cálcio e Mg foram determinados por espectrometria de absorção atômica e Al por titulação ácido-base. O fósforo (P) e o potássio (K) foram extraídos por resina de troca iônica. A acidez potencial (H + Al) foi estimada por uma equação baseada no pH determinado em solução tampão SMP (pH SMP). Os micronutrientes disponíveis (ferro - Fe, manganês - Mn, zinco - Zn e cobre - Cu) foram extraídos por Mehlich 1 e determinados por espectrofotometria de absorção atômica. O boro foi extraído com água quente e determinado por espectrometria com azometina-H a 420 nm. Alguns dos resultados permitiram o cálculo de outros parâmetros como bases trocáveis (SB), a soma de Ca, Mg e K; capacidade de troca catiônica (CTC), a soma de Ca, Mg, K, Al e H; saturação por bases (V%), relação percentual entre SB e CTC; e saturação de Al (m%), a relação percentual entre Al trocável e CTC (RAIJ *et al*, 1997).

4.3. Coleta de resíduos da poda de plantas urbanas

Os resíduos de poda e supressão de árvores e plantas urbanas do município de Fernandópolis foram coletados no EcoPonto de Resíduos Vegetais da Prefeitura Municipal, os quais encontravam-se triturados e dispostos em monte descoberto, que são utilizados como matéria prima de composto orgânico ou para geração de energia térmica em caldeiras.

4.4. Construção do Tecnosolo

O Tecnosolo foi elaborado a partir da mistura (Figura 2) de resíduo de construção e demolição (RCD), solo natural (SN), resíduo sólido estéril de mineração (RM), resíduo vegetal - restos da poda de árvores e plantas urbanas (RV), nas proporções descritas na Tabela 1.

Figura 2 – Componentes do Tecnosolo



Fonte: Autoria própria.

Tabela 1 – Proporção relativa da composição do Tecno solo utilizado nos diferentes tratamentos experimentais para crescimento de mudas de espécies arbóreas em casa-de-vegetação

MISTURAS	COMPOSIÇÃO	COMPONENTES
(I) T1, T2 e T3	10%	RCD
	42,5%	RM
	42,5%	SN
	5%	RV
(II) T4, T5 e T6	20%	RCD
	37,5%	RM
	37,5%	SN
	5%	RV
(III) TC1, TC2 e TC3	100%	SN

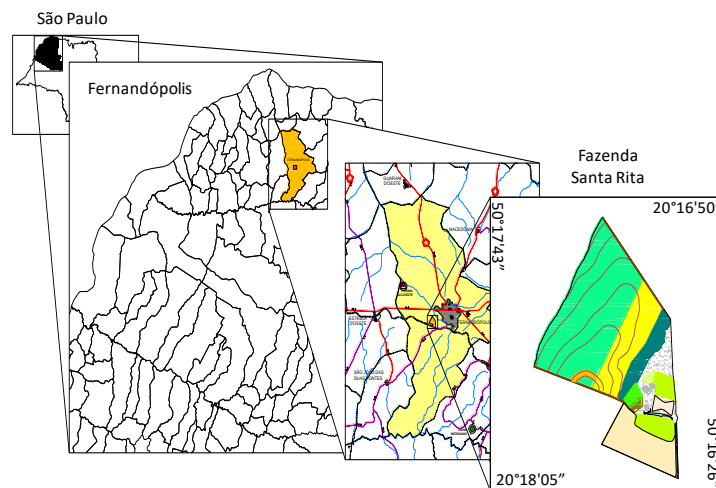
RCD, resíduo de construção e demolição; RM, resíduo de sólido estéril de mineração; RV, resíduo vegetal de poda de plantas urbanas; SN, solo natural

Fonte: Autoria própria.

4.5. Experimento em casa-de-vegetação

O experimento foi conduzido na área experimental da Universidade Brasil no *Campus* de Fernandópolis (Fazenda Santa Rita), Estado de São Paulo, Brasil, localizada entre as coordenadas 20°16'50" latitude sul e 50°17'43" longitude oeste e 20°18'05" de latitude sul e 50°16'26" de longitude oeste (Figura 3), com uma altitude de 520 m. A Tabela 2 apresenta as espécies arbóreas empregadas no experimento.

Figura 3 - Localização da Fazenda Santa Rita, Fernandópolis - SP



Fonte: Cortesia do Prof. Luiz Sergio Vanzela.

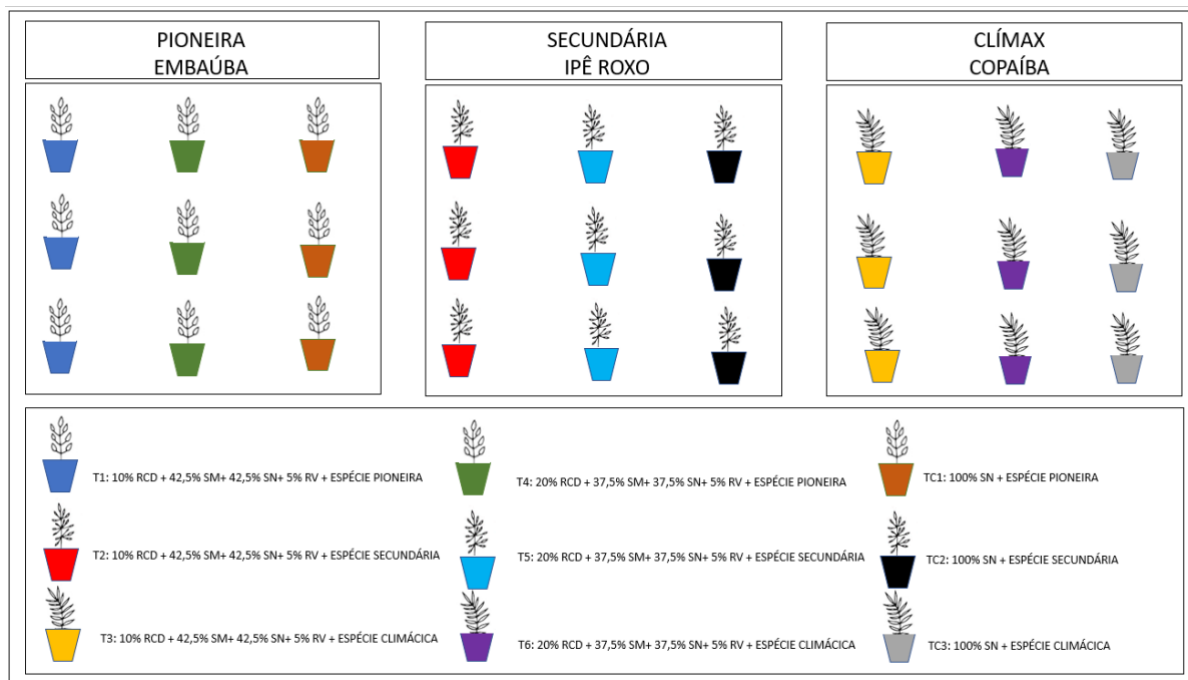
Tabela 2 – Espécies arbóreas utilizadas na experimentação em casa-de-vegetação

IDENTIFICAÇÃO	NOME CIENTÍFICO/POPULAR	GRUPO ECOLÓGICO
A	<i>Cecropia pachystachya</i> /Embaúba	Pioneira
B	<i>Handroanthus impetiginosus</i> /Ipê Roxo	Secundária
C	<i>Copaifera langsdorffii</i> /Copaíba	Climácica

Fonte: Aatoria própria.

O delineamento escolhido para o experimento foi de blocos casualizados com três repetições (Figura 4). Os vasos utilizados possuem capacidade de 5,5 L em volume.

Figura 4 – Delineamento experimental com os diferentes grupos ecológicos de espécies arbóreas



Fonte: Aatoria própria.

4.6. Determinação da atividade de enzimas do solo

A atividade das enzimas β -glicosidase e arilsulfatase foi determinada em duplicata nas amostras de solo natural e Tecno solo ao final do experimento, incluindo um controle, conforme descrito em Tabatabai (1994). As amostras de solo natural foram preparadas de acordo com o conceito de amostra de solo FERTBIO,

descrito em Mendes *et al.* (2019). As amostras de Tecnosolo foram processadas em moinho orbital. Tanto as amostras de solo natural quanto as de Tecnosolo foram secas ao ar, em temperatura ambiente, por duas semanas, passadas por peneira de 2 mm e armazenadas em temperatura ambiente até a realização das análises.

4.7. Avaliações biométricas

4.7.1. Altura e diâmetro do coleto das plantas

A cada 30 dias, foram realizadas as avaliações biométricas, sendo determinados os seguintes parâmetros: altura da planta, considerando a mesma a partir da superfície do solo do vaso até a gema apical, sendo a medição realizada com auxílio de uma trena e o diâmetro à altura do colo, medido a partir da superfície do solo do vaso, com auxílio de um paquímetro digital. Foram realizadas no total sete avaliações biométricas durante a condução do experimento.

4.7.2. Avaliação da massa seca das plantas

Para a determinação da massa seca, as mudas foram acondicionadas em sacos de papel Kraft sendo separadas em diferentes partes (raiz, caulículo e folhas). Em seguida foram colocadas em estufa de ventilação forçada a 60 °C por 72 horas, até atingir massa constante. A medição da massa vegetal foi realizada com auxílio de uma balança eletrônica semi-analítica (0,01 g), fornecendo a massa seca das raízes e a massa seca da parte aérea (soma do caulículo seco mais as folhas secas). A massa seca das raízes e da parte aérea foi somada para obtenção da massa seca total da planta.

4.8. Análises estatísticas

Análises estatísticas foram realizadas utilizando o programa R (R CORE TEAM, 2017). Primeiramente, o teste de Shapiro-Wilk foi utilizado para avaliar a normalidade dos dados nas amostras dentro dos três conjuntos de dados. Após a verificação de que os dados não seguiam uma distribuição normal para a grande maioria das amostras, mesmo após a transformação, utilizou-se um teste não

paramétrico, por meio do teste de Kruskal-Wallis, para avaliar a diferença estatística entre os tratamentos. Quando houve significância estatística, foi aplicado o teste de comparação múltipla de Bonferroni para identificar os grupos específicos que diferiram entre si.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Caracterização química e mineralógica do resíduo de construção e demolição e resíduo sólido estéril de mineração

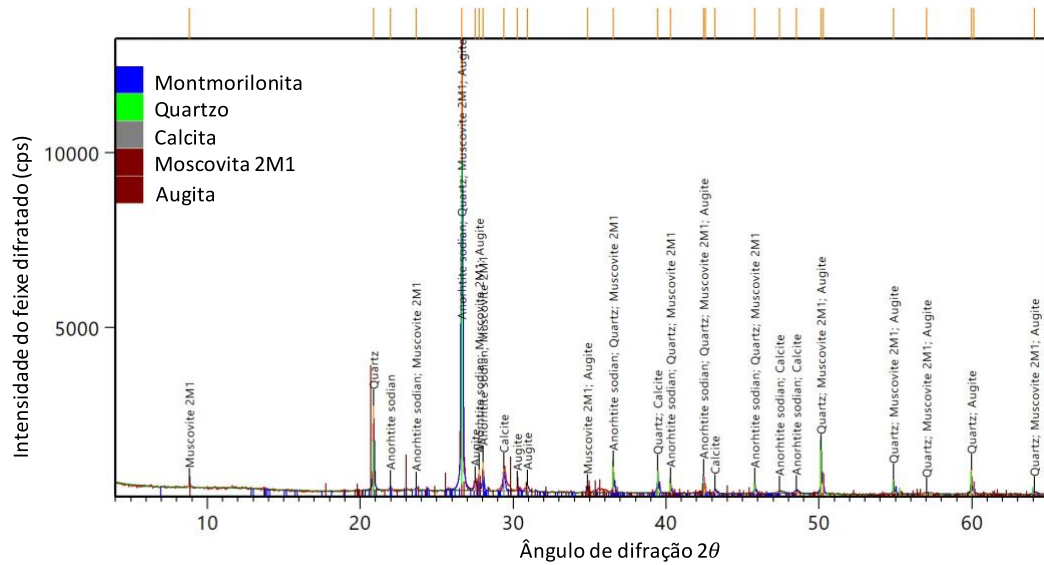
As análises mineralógicas do RCD revelaram a presença de montmorilonita, quartzo, calcita, moscovita 2M1 e augita, enquanto o RM apresentou montmorilonita, anortita sódica e augita (Figuras 5 e 6).

A Tabela 3 mostra os resultados obtidos por espectrometria de fluorescência de raio-X, os quais estão de acordo com os resultados da avaliação de difração de raio-X (Figuras 3 e 4), onde os valores são apresentados em percentual (%) do peso amostral. Na Tabela 4 são apresentados os elementos menores, com valores em mg.kg^{-1} . Maior teor percentual de minerais na forma de óxidos (SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O e P_2O_5) foi revelada para o RM em comparação com o RCD.

No caso do RCD, esses resultados se devem à origem desses materiais, constituídos basicamente por concreto, argamassa e cerâmica, com picos de quartzo (SiO_2) e carbonato de cálcio $\text{Ca}(\text{CO}_3)$, como esperado para esse tipo de resíduo. Os silicatos de alumínio e ferro estão praticamente ausentes, o que se justifica no caso do quartzo pelo fato de todo o SiO_2 estar ligado ao quartzo (LASSO, 2011; MEJÍA-RESTREPO *et al.*, 2015; REIS *et al.*, 2020).

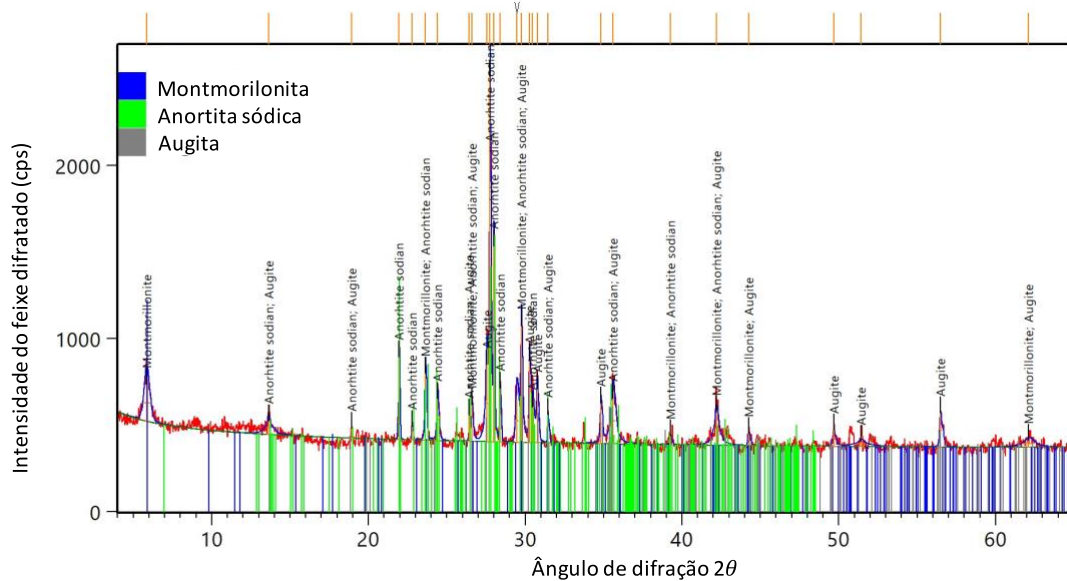
Quanto aos elementos traço, pode-se observar que estes estão naturalmente presentes nos resíduos em diferentes proporções, e essas variações são atribuídas às propriedades químicas e físicas de cada resíduo (HUGEN *et al.*, 2013).

Figura 5 – Difratoograma de raio-X com registro dos ângulos de difração de uma amostra de Resíduo de Construção e Demolição obtido a partir de difratômetro com radiação do cobre



Fonte: Autoria própria.

Figura 6 – Difratoograma de raio-X com registro dos ângulos de difração de uma amostra de resíduo sólido estéril de mineração obtido a partir de difratômetro com radiação do cobre



Fonte: Autoria própria.

Tabela 3 – Análise química de minerais na forma de óxidos por ensaio de espectrometria de fluorescência de raio-X de amostras de resíduo.

Elementos	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LoI
	-----Teor (%)-----										
RCD	65,24	1,07	8,79	4,98	0,08	2,22	8,39	0,61	1,04	0,11	7,13
RM	50,28	1,96	12,86	14,26	0,21	5,51	9,49	2,38	1,34	0,22	1,53

Fonte: Autoria própria.

A Tabela 4 apresenta os elementos traço determinados por ensaio de espectrometria de fluorescência de raio-X a partir de amostras de resíduo de construção e demolição e resíduo sólido estéril de mineração. Dentre os elementos traço analisados, o RCD apresentou valores acima dos limites permitidos pela Resolução CONAMA 420/2009 (BRASIL, 2019), que determina o Valor de Referência para Qualidade do Solo (VRQS) no Brasil, para bário, cobalto, cobre e cromo, enquanto o RM revelou valores acima do limite estabelecido para bário, cobalto, cobre e níquel.

Tabela 4 – Análise elementos traço (mg.kg^{-1}) por ensaio de espectrometria de fluorescência de raio-X de amostras de resíduo de construção e demolição e resíduo sólido estéril de mineração

Inorgânicos	Resíduo de construção e demolição	Resíduo sólido estéril de mineração	Resolução CONAMA 420/2009*
Ba	425	522	150
Ce	72	42	
Co	29	47	25
Cr	95	75	75
Cu	63	224	60
Ga	12	20	
La	31	28	
Nb	18	14	
Nd	< 35	< 35	
Ni	27	59	30
Pb	38	< 2	72
Rb	50	31	
Sc	19	37	
Sr	269	340	
Th	7	3	
U	2	2	
V	145	431	
Y	22	30	
Zn	147	102	300
Zr	337	154	
F	240	386	
Cl	< 8	< 8	
S	1628	< 2	

*Referência de prevenção da qualidade do solo.

Fonte: Autoria própria.

O cobalto e o bário são amplamente utilizados na produção de materiais de construção como cerâmicas (MATOS; NÓBREGA, 2009). O bário presente no solo

pode ser absorvido pelas plantas e inibir a atividade fotossintética, afetando o desenvolvimento das plantas e, conseqüentemente, a produtividade, evidenciando o efeito tóxico desse elemento químico (LIMA *et al.*, 2012).

O resíduo sólido estéril de mineração avaliado nesse estudo é originário de dolomito, constituído por carbonato de cálcio e carbonato de magnésio (CaCO_3 . MgCO_3) romboédrico (GUIMARÃES, 1998). Entre os componentes minerais de tal rocha, encontram-se quartzo, certos silicatos argilosos, óxidos metálicos de ferro e manganês, matéria orgânica, fosfatos, sulfetos, sulfatos, fluoretos e brucita. Dentre os elementos-traços que acompanham mais frequentemente a dolomita estão o bário, cobre, cobalto e níquel (SOARES, 2007).

Após ser liberado das rochas originais pelo intemperismo devido sua eletronegatividade, raios iônicos e diferentes estados de oxidação, os metais tóxicos podem ser precipitados ou co-precipitados com minerais secundários, adsorvidos nas superfícies de minerais secundários (argilas ou óxidos de Fe, Al e Mn) ou matéria orgânica presente no solo ou até mesmo complexados e lixiviados pela solução do solo (ALLEONI *et al.*, 2005). Assim, considerando o princípio da precaução, vale ressaltar que há necessidade de limitar a aplicação de RCD e RM no solo para evitar o acúmulo de metais pesados ao longo do tempo (HUGEN *et al.*, 2013).

Em um processo de recuperação de área degradada pela mineração, a aplicação de RCD no solo poderá se tornar viável, uma vez que a área recuperada será destinada a uma finalidade conforme processo de licenciamento ambiental, diferente de uma área agrícola onde a recuperação visa aumentar a fertilidade, exigindo correções e aplicação mais constante de fertilizantes e condicionadores de solo.

5.2. Fatores químicos do solo natural

O solo natural apresentou pH levemente ácido (5,2), com os seguintes valores para matéria orgânica ($14,0 \text{ g dm}^{-3}$), fósforo ($13,3 \text{ mg dm}^{-3}$), Ca ($24,5 \text{ mmolc dm}^{-3}$), Mg ($13,7 \text{ mmolc dm}^{-3}$) e CTC ($65,0 \text{ mmolc dm}^{-3}$) (Tabela 5).

Tabela 5 – Caracterização química do solo natural adicionado no Tecnosolo

P	MO	pH	CTC	K	Ca	Mg	Na	SB
(mg dm ⁻³)	(g dm ⁻³)	(CaCl ₂)	(mmolc dm ⁻³)					
13,3±3,5	14,0±0,9	5,2±0,1	65,0±6,1	2,1±0,2	24,5±3,9	13,7±3,1	1,3±0,1	41,9±6,7
V (%)	H+Al (%)	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	
		(mg dm ⁻³)						
64,0±4,6	23,2±1,3	18,8±4,9	0,8±0,1	0,6±0,1	35,3±3,7	10,9±1,1	1,5±0,3	

Fonte: Autoria própria.

5.3. Atividade das enzimas β -glicosidase e arilsulfatase

A atividade das enzimas β -glicosidase e arilsulfatase foram significativamente maiores ($P < 0,05$) no Tecnosolo (misturas I e II) utilizado como substrato para as três espécies arbóreas comparadas com o solo natural (Tabela 6). Os valores obtidos revelaram maior atividade das enzimas β -glicosidase e arilsulfatase para a mistura I (β -glicosidase: 37,3 mg PNF kg⁻¹ solo h⁻¹; arilsulfatase: 33,6 mg PNF kg⁻¹ solo h⁻¹), seguida da mistura II (β -glicosidase: 29,4 mg PNF kg⁻¹ solo h⁻¹; arilsulfatase: 25,2 mg PNF kg⁻¹ solo h⁻¹) e solo natural (β -glicosidase: 8,2 mg PNF kg⁻¹ solo h⁻¹; arilsulfatase: 5,3 mg PNF kg⁻¹ solo h⁻¹). Isto é capaz de indicar que é possível que tais solos construídos tenham uma qualidade biológica superior à de um solo natural sem adição de compostos orgânicos (LONGO *et al.*, 2010).

A atividade enzimática no solo está diretamente relacionada com a ciclagem de nutrientes, decomposição de resíduos orgânicos, degradação de poluentes, dentre outros processos do solo (KASCHUK *et al.*, 2010). A atividade da β -glicosidase e arilsulfatase é capaz de indicar o *status* inicial de áreas degradadas, visto que possuem alta sensibilidade a mudanças na qualidade do solo (MENDES *et al.*, 2019).

Tabela 6 – Atividade das enzimas β -glicosidase e arilsulfatase nos tratamentos com Tecnosolo e solo natural

	β -glicosidase (mg PNF kg ⁻¹ solo h ⁻¹)	Arilsulfatase (mg PNF kg ⁻¹ solo h ⁻¹)
I	35,9a (\pm 2,3)	32,2a (\pm 1,7)
A II	28,9a (\pm 1,4)	23,5a (\pm 0,9)
III	7,3b (\pm 0,8)	4,8b (\pm 0,5)
I	39,7a (\pm 2,0)	35,7a (\pm 1,9)
B II	30,3a (\pm 1,3)	27,8a (\pm 0,8)
III	9,6b (\pm 0,9)	5,2b (\pm 0,4)
I	36,3a (\pm 2,2)	33,0a (\pm 1,6)
C II	29,1a (\pm 1,2)	24,2a (\pm 0,9)
III	7,7b (\pm 0,7)	5,1b (\pm 0,6)

Valores seguidos pela mesma letra não diferiram estatisticamente ($P < 0,05$), (A) *Cecropia pachystachya*, (B) *Handroanthus impetiginosus* e (C) *Copaifera langsdorffii*, (I) TS-RCD10%+RM+SN+RV, (II) TS-RCD20%+RM+SN+RV, (III) Solo Natural.

Fonte: Autoria própria.

5.4. Biometria e massa seca de *C. pachystachya*, *H. impetiginosus* e *C. langsdorffii* desenvolvidas em Tecnosolo e solo natural

Dados biométricos e os valores de massa seca estão demonstrados na Tabela 7. A única variável que apresentou diferença estatística ($P < 0,05$) entre os tratamentos experimentais foi o incremento em altura da planta *H. impetiginosus*. Esta espécie secundária mostrou incremento de altura em Tecnosolo contruído com a mistura I (10% RCD, 42,5% SM + 42,5% SN e 5% RV) ao longo de 180 dias de desenvolvimento em vasos.

A *H. impetiginosus* é uma espécie florestal pertencente a família Bignoniaceae vulgarmente conhecida como ipê roxo e que ocorre em quase todo o território brasileiro. Possui valor comercial, medicinal e paisagístico, sendo utilizada na recuperação de áreas degradadas, arborização urbana, exploração de madeira e restauração florestal. Uma de suas características é ser uma espécie secundária, capaz de ser plantada a pleno sol e suportar sombreamento moderado quando as plantas são ainda jovens (SCHNEIDER *et al.*, 2000). Segundo Borges *et al.* (2014),

esta espécie forma plântulas em diferentes faixas luminosas, e também, sob forte sombreamento, porém nesta situação, seu crescimento é reduzido.

Esta espécie tem boa adaptação em solos arenosos, francos e argilosos, úmidos e drenados. Segundo Carvalho (1994), no entanto, no Estado de Pernambuco, em condições de solo amarelo vermelho podozólico distrófico, o seu crescimento foi considerado lento, atingindo em um período de treze anos, um incremento anual médio com casca de 5,5 m³/ha/ano, altura de 7,3 m e diâmetro de 10 cm. Para Schneider *et al.* (1992), o ipê-roxo (*H. impetiginosus*), aos 8 anos de idade obteve um desenvolvimento moderado na região serrana do Rio Grande do Sul, mas creditado ao fato da ocorrência de geadas na região que queimaram suas ponteiros. Quando recuperado, apresentou um diâmetro médio de 2,3-4,5 cm e uma altura média de 1,4-3,1 m. No Estado de São Paulo, sob a sombra de população de *Pinus elliottii*, o ipê roxo apresentou diâmetro médio de 1,67 cm e altura média de 2,44 m aos 8 anos de idade (TOLEDO FILHO; PARENTE, 1982).

Tabela 7 – Dados biométricos e massa seca de *Cecropia pachystachya* (A), *Handroanthus impetiginosus* (B) e *Copaifera langsdorffii* (C) desenvolvidas em Tecossolo e solo natural

	lap	Dco	Mst	Msr	Msf	Msp	Ra:Pa	Ra:Fo	
	(cm)	(mm)	(g)	(g)	(g)	(g)			
A	I	0,07	7,1	42,2	23,2	7,1	19,0	1,2	3,3
	II	0,07	8,2	40,8	21,7	7,6	19,1	1,1	2,8
	III	0,06	7,1	35,8	17,4	7,0	18,4	0,9	2,5
B	I	0,23b	9,2	81,8	45,2	16,8	36,7	1,2	2,7
	II	0,14a	8,5	90,1	59,2	13,2	30,9	1,9	4,5
	III	0,17a	9,2	74,8	30,8	16,9	44,0	0,7	1,8
C	I	0,07	7,1	26,6	13,0	6,0	13,6	1,0	2,2
	II	0,07	7,0	26,2	11,9	6,7	14,3	0,8	1,8
	III	0,08	6,8	35,2	19,5	7,3	15,7	1,2	2,7

Valores seguidos pela mesma letra ou sem letra não diferiram estatisticamente ($P < 0,05$), lap (Incremento em altura da planta), Dco (Diâmetro do coleto), Mst (Massa seca total), Msr (Massa seca de raiz), Msf (Massa seca de folha), Msp (Massa seca da parte aérea), Ra:Pa (Razão raiz: parte aérea), Ra:Fo (Razão raiz: folha), (I) TS-RCD10%+RM+SN+RV, (II) TS-RCD20%+RM+SN+RV, (III) Solo Natural.

Fonte: Autoria própria.

Marques *et al.* (2000), observaram que plantas de *H. impetiginosus* foram pouco afetadas pela contaminação de metais pesados, sendo sugerida pelos autores como uma espécie ideal para uso em solos degradados. Contudo, considerando que o desenvolvimento das espécies arbóreas *C. pachystachya* e *C. langsdorffii* não foi favorecido no Tecnosolo avaliado, deve-se considerar que o bário presente no RCD e RM pode ser absorvido pelas plantas e inibir a atividade fotossintética, afetando o desenvolvimento das plantas e conseqüentemente a produtividade, evidenciando o efeito tóxico desse elemento químico (LIMA *et al.*, 2012). Outros efeitos tóxicos nas plantas são revelados para cobalto, cobre e níquel quando em altas concentrações no solo (BAKER, 1994). Isso se deve ao fato que os metais pesados nem sempre são quimicamente degradados ou biodegradados pelos micro-organismos. Embora muitos destes metais sejam utilizados como micronutrientes na agricultura, em altas concentrações, tornam-se tóxicos, prejudicando os mecanismos fisiológicos dos vegetais.

6. CONCLUSÃO

O Tecnosolo construído com 10% de resíduo de construção e demolição (RCD), 42,5% de resíduo sólido estéril de mineração (SM), 42,5% de solo natural (SN) e 5% resíduo vegetal de poda de plantas urbanas (RV) mostrou-se viável para o desenvolvimento de mudas de *H. impetiginosus* (Ipê), evidenciando capacidade de melhoria da qualidade do solo revelada pela maior atividade das enzimas β -glicosidase e arilsulfatase e ganho de altura da planta ao longo de 180 dias após o plantio. Este estudo abre possibilidades e aponta a necessidade de novas investigações com diferentes tipos de solo (p.e., solos de aterros sanitários), espécies florestais e resíduos urbanos, favorecendo a sustentabilidade no desenvolvimento municipal.

REFERÊNCIAS

- AHIRWAL, J.; MAITI, S. K. Development of Technosol properties and recovery of carbon stock after 16 years of revegetation on coal mine degraded lands, India. **Catena**, v. 166, p. 114-123, 2018.
- ALLEONI, L. R. F.; BORBA, R. P.; CAMARGO, O. A. Metais pesados: da cosmogênese aos solos brasileiros. In: Tópicos em Ciência do Solo, IV. **Sociedade Brasileira De Ciência do Solo**, v. 4, p. 1-42, 2005.
- ASENSIO, V.; VEGA, F. A.; ANDRADE-COUCÉ, M. L.; COVELO, E. F. Technosols made of wastes to improve physico-chemical characteristics of a copper mine soil. **Pedosphere**, v. 23(1), p. 1-9, 2013.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.007: Amostragem de Resíduos Sólidos**. Rio de Janeiro, 2004.
- BAKER, A. J. M.; McGRATH, S. P.; SIDOLI, C. M. D.; REEVES, R. D. The possibility of in situ heavy metal decontamination of polluted soils using crops of metal accumulating plants. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 11, p. 41-49, 1994.
- BERNARDES, A.; THOMÉ, A.; PRIETTO, P.D.M.; DE ABREU, A.G., Quantificação e classificação dos resíduos da construção e demolição coletados no município de Passo Fundo, RS. **Ambiente Construído**, v. 8, p. 65–76, 2008.
- BORGES, V. P.; COSTA, M. A. P. C.; RIBAS, R. F. Emergência e crescimento inicial de *Tabebuia heptaphylla* (Vell.) Toledo em ambientes contrastantes de luz. **Revista Árvore** v. 38(3), 2014.
- BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução CONAMA Nº. 307, de 05 de julho de 2002**. Ministério do Meio Ambiente, 2002.
- BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução CONAMA Nº. 420, de 28 de dezembro de 2009**. Ministério do Meio Ambiente, 2009.
- BRASILEIRO, L.L.; MATOS, J.M.E. Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil. **Cerâmica**, v. 61, p. 178–189, 2015.
- CARVALHO, P. E. R. **Comportamento de essências florestais nativas e exóticas em dois locais do Estado do Paraná**. In: Congresso Florestal Brasileiro, 1982, Belo

Horizonte. Anais. Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Silvicultura, p. 262-266, 1994.

DE SUTTER, T.; GOOSEN-ALIX, P.; PRUNTY, L. Smooth brome (*Bromus inermis* Leyss) and soil chemical response to concrete grinding residue application. **Water, Air & Soil Pollution**, v. 222, p. 195–204, 2011.

ESWARAN, H.; VAN DEN BERG, E.; REICH, P. Organic carbon in soils of the world. **Soil Science Society of America Journal**, v. 57, p. 192-194, 1993.

GHOSE, M. Management of topsoil for geo-environmental reclamation of coal mining areas. **Environmental Geology**, v. 40, p. 1405-1410, 2001.

GHOSE, M. K.; KUNDU, N. K. Deterioration of soil quality due to stockpiling in coal mining areas. **International Journal of Environmental Studies**, p. 327-335, 2007.

GIAM, X.; OLDEN, J. D.; SIMBERLOFF, D. Impact of coal mining on stream biodiversity in the US and its regulatory implications. **Nature Sustainability**, v.1, p. 176-183, 2018.

GUIMARÃES, J. E. P. **ACal: Fundamentos e Aplicações na Engenharia Civil, Associação Brasileira dos Produtores de Cal**, 1ª Edição, São Paulo, 1998.

HEDDE, M.; NAHMANI, J.; SÉRÉ, G.; AUCLERC, A.; CORTET, J. Early colonization of constructed Technosols by macro-invertebrates. **Journal of Soils and Sediments**, v. 19, p. 3193-3203, 2019.

HUGEN, C.; MIQUELLUTI, D. J.; CAMPOS, M. L.; ALMEIDA, J. A.; FERREIRA, E. R. N. C.; POZZAN, M. Teores de Cu e Zn em perfis de solos de diferentes litologias em Santa Catarina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 17(6), p. 622–628, 2013.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Brasileiro de 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022.

IUSS WORKING GROUP WRB, 2014. **World Reference Base for Soil Resources**. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. Rome, Italy. v. 106, p. 203, 2014

KASCHUK, G., ALBERTON, O.; HUNGRIA, M. Three decades of soil microbial biomass studies in Brazilian ecosystems: Lessons learned about soil quality and

indications for improving sustainability. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 42, p. 1-13p, 2010.

KLUGE, M., GUPTA, N., WATTS, B., CHADIK, P.A., FERRARO, C., TOWNSEND, T.G. Characterisation and management of concrete grinding residuals. **Waste Management & Research**, v. 36, p. 149–158, 2018.

KUNDU, N. K.; GHOSE, M. K. **Shelf life of stock-piled topsoil of an opencast coal mine**. Cambridge University Press, 1997.

LASSO, P. R. O. **Avaliação da utilização de resíduos de construção civil e demolição reciclados. (RCD-R) como corretivos de acidez e condicionadores de solo**. Tese. Universidade de São Paulo: Programa de Pós-Graduação em Ciências, p. 122, 122 fl, 2011.

LIMA, E. S. A.; SOBRINO, N. M. B. A.; MAGALHÃES, M. O. L.; GUEDES, J. N.; ZONTA, E. Absorção de bário por plantas de arroz (*Oryza sativa* L.) e mobilidade em solo tratado com baritina sob diferentes condições de potencial redox. **Química Nova**, v. 35(9), p. 1746–1751, 2012.

LONGO, R. M.; RIBEIRO, A. I.; MELO, W. J. Recuperação de solos degradados na exploração mineral de cassiterita: biomassa microbiana e atividade da desidrogenase. **Bragantia**, v. 70, n. 1, p.132-138, 2010.

MARQUES, T. C. L. L. S. M.; MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. Crescimento e teor de metais de mudas de espécies arbóreas cultivadas em solo contaminado com metais pesados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 1, p. 121-132, 2000.

MATOS, W., NOBREGA, J. A. O. Especificação de cromo em cimentos e derivados de cimento brasileiros. **Química Nova**, v. 32(8), p. 2094–2097, 2009.

MEJÍA-RESTREPO, E. M.; OSORNO-BEDOYA, L. O.; OSORIO-VEJA, N. O. Residuos de La construcción: una opción para la recuperación de suelos. **Revista EIA**, v. 12(2), p. 55–60, 2015.

MENDES, I. C.; SOUZA, L. M.; SOUSA, D. M. G. S.; LOPES, A. A. C.; REIS JUNIOR, F. B.; LACERDA, M. P. C.; MALAQUIAS, J. Critical limits for microbial indicators in tropical Oxisols at post-harvest: The FERTBIO soil sample concept. **Applied Soil Ecology**, v. 139, p. 85-93, 2019.

MENDES, I.C.; CHAER, G.M.; REIS JUNIOR, F.B.; SOUSA, D.M.G.; DANTAS, O.D.; OLIVEIRA, M.I.L.; MALAQUIAS, J.V. **Tecnologia BioAS: uma maneira simples e**

eficiente de avaliar a saúde do solo. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2021., 2021 (Série Documentos, n 369).

MURGUÍA, D. I.; BRINGEZU, S.; SCHALDACH, R. Global direct pressures on biodiversity by large-scale metal mining: Spatial distribution and implications for conservation. **Journal of Environment Management**, v. 15(180), p. 409-420, 2016.

PERLATTI, F.; MARTINS, E. P.; OLIVEIRA, D. P.; RUIZ, F.; ASENSIO, V.; REZENDE, C. F.; OTERO, X. L.; FERREIRA, T. O. Copper release from waste rocks in an abandoned mine (NE, Brazil) and its impacts on ecosystem environmental quality. **Chemosphere**, v. 262, e127843, 2021.

R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing.** R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2017. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>. Acesso em: 14 de fevereiro de 2023.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.). Cana-de-açúcar. In: **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo.** (Boletim Técnico. 100). 2.ed. Campinas. Instituto Agrônômico - Fundação IAC. p.237-239, 1997.

RAMANI, R. V. Surface mining technology: progress and prospects. *Procedia Engineering*, v. 46, p. 9-21, 2012.

REICHL, C.; SCHATZ, M. International Organizing Committee for the World Mining Congresses, 2022. Disponível em: <https://www.world-mining-data.info/wmd/downloads/PDF/WMD2022.pdf>

REIS, G. S.; CAZACLIU, B.; CORREA, C. R.; OVSYANNIKOVA, E.; KRUSE, A.; SAMPAIO, C. H.; LIMA, E. C.; DOTTO, G. L. Adsorption and recovery of phosphate from aqueous solution by the construction and demolition wastes sludge and its potential use as phosphate-based fertiliser. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 8(1), e103605, 2020.

RODRÍGUEZ-VILA, A.; CASTRO, R.F.; GUEDES, R.; COVELO, E. F. Nutrient phytoavailability in a mine soil amended with technosol and biochar and vegetated with *Brassica juncea*. **Journal of Soils and Sediments**, v. 17(6), p. 1-9, 2017.

RUIZ, F.; CHERUBIN, M. R.; FERREIRA, T. O. Soil quality assessment of constructed Technosols: Towards the validation of a promising strategy for land

reclamation, waste management and the recovery of soil functions. **Journal of Environmental Management**, v. 15(276), e111344, 2020.

SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G.; FARIAS, J. **Comportamento silvicultural de algumas espécies nativas plantadas sob capoeira na Depressão Central do Rio Grande do Sul**. In: CONGRESSO FLORESTAL ESTADUAL, 7, 1992, Nova Prata. Anais ... Nova Prata: Prefeitura Municipal de Nova Prata, p. 1037-1047, 1992.

SCHNEIDER, P. S. P; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. Crescimento do ipê-roxo *Tabebuia impetiginosa* Martius ex A. P. De Candolle, na depressão central do Estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, v. 10, n. 2, p. 91-100. 2000.

SOARES, B. D. **Estudo da produção de óxido de cálcio por calcinação do calcário: caracterização dos sólidos, decomposição térmica e otimização paramétrica** / Bruno Daniel Soares, 383f.: il, 2007.

TABATABAI, M. A. Soil enzymes, in: Weaver, R.W., et al (Eds.), **Methods of Soil Analysis. Part 2. Microbiological and Biochemical Properties**. SSSA Book Ser. 5. SSSA, Madison. pp. 778– 833, 1994.

TOLEDO FILHO, D. V.; PARENTE, P. R. Essências indígenas sombreadas. **Silvicultura**, v. 16, p. 984-958, 1982.

UZAROWICZ, L.; WOLINSKA, A.; BIONSKA, E.; ANNA, S-N.; KUZNIAR, A.; SLODCZYK, Z.; KWASOWSKI, W. Technogenic soils (Technosols) developed from mine spoils containing Fe sulphides: microbiological activity as an indicator of soil development following land reclamation. **Applied Soil Ecology**, v. 156, e103699, 2020.

VERGNES A.; BLOUIN M.; MURATET A.; LERCH T. Z.; MERCEDES, M. M.; ROUELLE-CASTREC M., FLORENCE, D. Initial conditions during Technosol implementation shape earthworms and ants diversity. **Landscape and Urban Planning**, v. 159, p. 32-41, 2017.

WATKINSON, A. D.; LOCK, A. S.; BECKETT, P. J.; SPIERS, G. Developing manufactured soils from industrial by-products for use as growth substrates in mine reclamation. **Restoration Ecology**, v. 25(4), p. 587-594, 2017.