



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL  
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

ASSOCIAÇÃO DE COMPOSTO ORGÂNICO E LAMA ABRASIVA  
DE MARMORARIA NA PRODUÇÃO DE *Crotalaria juncea*  
PARA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS

ÍTALO CORDEIRO E LELLIS

BELO HORIZONTE

2018

ÍTALO CORDEIRO E LELLIS

ASSOCIAÇÃO DE COMPOSTO ORGÂNICO E LAMA ABRASIVA  
DE MARMORARIA NA PRODUÇÃO DE *Crotalaria juncea*  
PARA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Centro Federal de  
Educação Tecnológica de Minas  
Gerais, como requisito à obtenção do  
título de Engenheiro Ambiental e  
Sanitarista

Orientador: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Valéria Cristina Palmeira Zago

BELO HORIZONTE

2018

Cordeiro e Lellis, Ítalo.

S---

Associação de Composto Orgânico e Lama Abrasiva de Marmoraria na Produção de *Crotalaria Juncea* para recuperação de áreas degradadas / Ítalo Cordeiro e Lellis. – Registro : 2018. -- f.; -- cm.

Orientador: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Valéria Cristina Palmeira Zago.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, 2018

1. Recuperação de Áreas Degradadas. 2. Assunto. 3. Assunto. I. Cordeiro e Lellis, Ítalo. II. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. III. Associação de Composto Orgânico e Lama Abrasiva de Marmoraria na Produção de *Crotalaria Juncea* para recuperação de áreas degradadas.

CDD -----

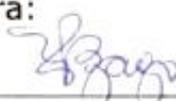
ÍTALO CORDEIRO E LELLIS

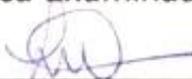
ASSOCIAÇÃO DE COMPOSTO ORGÂNICO E LAMA ABRASIVA  
DE MARMORARIA NA PRODUÇÃO DE *Crotalaria juncea*  
PARA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS

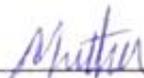
Trabalho de conclusão de curso  
apresentado ao Centro Federal de  
Educação Tecnológica de Minas Gerais  
como requisito parcial para obtenção  
do título de Engenheiro Ambiental e  
Sanitarista.

Data de aprovação: 27/11/2018

Banca Examinadora:

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr<sup>a</sup>. Valéria C. P. Zago - Presidente da banca examinadora  
Presidente da Banca Examinadora - CEFET-MG - orientadora

  
\_\_\_\_\_  
Dr<sup>a</sup>. Luana Rafaela Maciel Wilda - CEFET-MG

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Mateus Justino da Silva - CEFET-MG

À minha família.

## **AGRADECIMENTOS**

À minha família, por sempre acreditar e investir em mim, sobretudo aos meus pais pelo cuidado e dedicação que foram essenciais para que eu chegasse até aqui.

À professora Valéria Zago, pelo apoio e estímulo durante toda minha jornada acadêmica no CEFET-MG.

Aos meus amigos Nathália, Débora Alcântara, Guilherme, Elisa, Jéssica Thebaldi, Ana, Amanda, Débora Dutra, Jéssica Elorde, Lucas e Priscila por todos os momentos de descontração.

Ao professor Augusto Bezerra e ao estagiário Richard Barreto do Departamento de Engenharia de Transporte do CEFET-MG pelo auxílio na execução das análises.

A todos os que, direta ou indiretamente, contribuíram com os conhecimentos vertidos neste trabalho.

## RESUMO

LELLIS, ÍTALO CORDEIRO E. ASSOCIAÇÃO DE COMPOSTO ORGÂNICO E LAMA ABRASIVA DE MARMORARIA NA PRODUÇÃO DE *Crotalaria juncea* PARA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS. 50p. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018. Orientadora: Valéria Zago.

O resíduo das rochas ornamentais, denominada Lama Abrasiva, é gerado no beneficiamento das rochas ornamentais nos processos de corte e polimento. Quando disposta incorretamente pode gerar graves danos ao meio ambiente. Com o objetivo de avaliar o desempenho da *Crotalaria juncea* quanto ao seu crescimento vegetativo e produtividade em diferentes proporções de lama abrasiva e composto orgânico, foi conduzido o experimento com delineamento experimental inteiramente casualizado, com 5 tratamentos em doses decrescentes de lama abrasiva (100%, 75%, 50%, 25% e 0%), associados a composto orgânico em doses complementares (0%, 25%, 50%, 75% e 100%), além da incorporação de 0,3 dm<sup>3</sup> de solo, com 5 repetições, utilizando a espécie de leguminosa *Crotalaria juncea*. A morfologia do material foi investigada por microscopia eletrônica de varredura (MEV). O substrato com 100% lama apresentou menores valores de diâmetro, altura da planta e de produção de MSPA (Matéria Seca da Parte Aérea) e de MFPA (Matéria Seca da Fresca Aérea) em relação aos substratos contendo maiores proporções de composto orgânico. Porém, o uso da lama abrasiva como substrato mostrou-se viável em doses com composto orgânico, com melhores resultados na faixa de 30 a 45% de lama abrasiva. Por tanto, a lama abrasiva associada ao composto orgânico apresenta-se como uma potencial alternativa na reciclagem de resíduos, bem como na recuperação de áreas degradadas através do aumento do desenvolvimento vegetal.

**Palavras-Chave:** Recuperação de Áreas Degradadas. *Crotalaria Juncea*. Rochas Ornamentais. Lama Abrasiva. Composto orgânico.

## ABSTRACT

LELLIS, ÍTALO CORDEIRO E. ASSOCIATION OF ORGANIC COMPOST AND ABRASIVE SLUDGE FROM THE MARBLE IN THE PRODUCTION OF *Crotalaria juncea* FOR THE RECOVERY OF DEGRADED AREAS. 50p. Undergraduate thesis (Environmental and Sanitary Engineering) – Department of Environmental Science and Technology, Federal Center of Technological Education of Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.

The residue of the ornamental rocks, called Abrasive Sludge, is generated in the processing of ornamental rocks in the cutting and polishing processes. When disposed incorrectly it can cause serious damage to the environment. The objective of this study was to evaluate the performance of *Crotalaria juncea* in relation to its vegetative growth and productivity in different proportions of abrasive sludge and organic compost. The experiment was conducted in a completely randomized design with 5 treatments in descending doses of abrasive sludge (100%, 75%, 50%, 25% and 0%) associated with organic compost at complementary doses (0%, 25%, 50%, 75% and 100%), in addition to the incorporation of 0,3 dm<sup>3</sup> of soil, with 5 replicates, using the legume species *Crotalaria juncea*. The morphology of the material was investigated by scanning electron microscopy (SEM). The substrate with 100% mud presented lower values of diameter, plant height and production of DMAP (Dry Matter of the Aerial Part) and FMPA (Fresh Matter of the Aerial Part) in relation to substrates containing higher proportions of organic compound. However, the use of abrasive sludge as a substrate was feasible in doses with organic compost, with best results in the range of 30 to 45% of abrasive sludge. Therefore, the abrasive sludge associated with the organic compound presents itself as a potential alternative in the recycling of waste, as well as in the recovery of degraded areas through increased plant development.

**Keywords:** Reclaimed of Degraded Areas. *Crotalaria Juncea*. Ornamental rocks. Abrasive sludge. Organic compost.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Composteira em *bags* de resíduos oriundos do preparo de refeições e de jardinagem dos *campi* I e II do CEFET-MG.....28
- Figura 2.** Rejeito constituído de lama oriundo do processo de beneficiamento de rochas.....30
- Figura 4.** Imagens de MEV do tratamento E (100% composto) e do agregado no tratamento E (100% composto), respectivamente.....35
- Figura 3.** MEV do Tratamento A (100% lama) e do Tratamento D (25% de lama – 75% composto), respectivamente.....36
- Figura 5.** Mudanças de *Crotalaria Juncea* 45 dias após plantio em 5 tratamentos de doses decrescentes de lama abrasiva (A-100%,B-75%, C-50%, D-25% e E-0%) associados a composto orgânico em doses complementares.....38
- Figura 6.** Curva de regressão em função das proporções de lama abrasiva e composto orgânico nos substratos.....40

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** – Produção de matéria seca e a potencialidade de fixação de nitrogênio por algumas leguminosas utilizadas como adubo verde.....26
- Tabela 2.** Características químicas dos materiais utilizados na produção de substrato para a produção de mudas de *Crotalaria juncea*.....31
- Tabela 3.** Altura e diâmetro da parte aérea de plantas jovens de *Crotalaria juncea* submetidas a diferentes doses de lama abrasiva (L) associados a composto orgânico (C) em doses complementares.....37
- Tabela 4.** Matéria Fresca da Parte Aérea (MFPA) e Matéria Seca da Parte Aérea (MSPA) de plantas jovens de *Crotalaria juncea* submetidas a diferentes doses de lama abrasiva (L) associados a composto orgânico (C) em doses complementares.....39

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations

NBR – Normas Brasileiras Regulamentadoras

PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos

RAD – Recuperação de Áreas Degradadas

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	15
2.1 <b>Objetivo Geral</b> .....	15
2.2 <b>Objetivos específicos</b> .....	15
<b>3 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	16
3.1 <b>Resíduos sólidos urbanos</b> .....	16
3.2 <b>Compostagem como alternativa para aproveitamento dos RSU</b> ....	17
3.3 <b>Resíduos oriundos do beneficiamento de rochas ornamentais</b> .....	19
3.4 <b>Degradação Ambiental</b> .....	21
3.5 <b>Recuperação de área degradada</b> .....	23
3.4.1 <b>Adubação verde como estratégia de RAD</b> .....	24
3.4.1.1 <i>Crotalaria juncea</i> .....	27
<b>4 METODOLOGIA</b> .....	28
<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	33
6. 1 <b>Características físicas e químicas dos substratos</b> .....	33
6.2 <b>Desenvolvimento vegetativo e produção de <i>Crotalaria juncea</i></b> .....	37
<b>7 CONCLUSÃO</b> .....	41
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	42
<b>APÊNDICE A</b> .....	49

## 1 INTRODUÇÃO

A geração de resíduos é um dos danos mais sérios que acometem a sociedade moderna. O acelerado processo de urbanização aliado ao constante aumento populacional nas últimas décadas resultou em uma geração exagerada de resíduos, tornando-se um problema para as administrações públicas e um desafio para as indústrias (ONWOSI *et al.*, 2016).

Na tentativa de se encontrar soluções de recuperação de áreas degradadas de baixo custo e de minimização dos impactos ambientais gerados pelo descarte de resíduos urbanos e industriais, a sociedade tem se empenhado no desenvolvimento de pesquisas que visam o aproveitamento econômico dos resíduos, como restos de alimentos e resíduos minerais.

O Brasil apresenta atualmente status de destaque no mercado mundial de rochas ornamentais e revestimento, consolidando-se no grupo dos cinco maiores produtores de rochas ornamentais em todo o mundo (ABIROCHAS, 2016). O segmento, apesar de proporcionar expressivos incrementos sociais e econômicos, pode gerar problemas ambientais decorrentes da atividade, principalmente aqueles relativos à geração de resíduos.

Neste cenário, a geração de resíduos oriundos dos processos de beneficiamento de rocha ornamentais tornou-se um potencial causador de impacto ambiental em várias etapas do processo produtivo. Durante o processo de beneficiamento são geradas diversas frações de resíduos, como lâminas e granalhas desgastadas, sacos de cimento e de cal, restos de pastilhas abrasivas e, sobretudo, a geração de lamas abrasivas oriundas do processo de desdobramento e polimento das rochas, além de frações sólidas de rochas, como casqueiros e cacos (BRAGA *et al.*, 2010).

As lamas são formadas devido à água que é utilizada para a refrigeração das máquinas, em conjunto com o pó resultante dos processos de corte e polimento. E sua disposição final é considerada um dos grandes desafios para as empresas do setor (SILVA, 2011).

A disposição inadequada da lama pode gerar sérios danos ao meio ambiente, e o seu gerenciamento vem sendo alvo de fiscalização e controle dos órgãos de

proteção ambiental. Porém, observa-se que são escassas as pesquisas de caracterização ambiental das lamas abrasivas e que apesar de alguns resultados positivos da utilização de resíduos minerais na melhoria do solo, como observado por Guarconi e Fanton (2011), é insignificante o número de artigos publicados em revistas científicas com corpo editorial sobre o assunto, sobretudo com foco na recuperação de áreas degradadas.

O quantitativo de áreas degradadas, no mundo, tem aumentado consideravelmente ao longo dos anos, acarretando em numerosos prejuízos ao meio ambiente. Segundo a FAO (2015), 33% do território mundial estão suscetíveis a desertificação e apresenta algum estado de degradação do solo induzida por atividades antrópicas. Em ambientes urbanos, a acelerada urbanização, a falta de planejamento e as inadequadas técnicas de manejo do solo são fatores que aceleram essa degradação e promovem a perda de solos férteis e sua progressiva desertificação.

Nesse contexto, a preocupação com as questões relativas aos processos de recuperação de áreas degradadas torna-se cada vez mais necessária na agenda internacional e nas diversas agendas multilaterais, sobretudo aquelas que priorizam o uso de novos resíduos como substrato e adubo, contribuindo não somente para a melhoria da qualidade do solo de áreas degradadas, mas também para o gerenciamento adequado dos resíduos, através de novas técnicas de reutilização e reciclagem.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo Geral

Avaliar o desempenho da *Crotalaria juncea* utilizada para adubação verde, quanto ao seu crescimento vegetativo e produtividade em diferentes proporções de lama abrasiva e composto orgânico.

### 2.2 Objetivos específicos

- Analisar se a lama abrasiva apresenta características de condicionador de solo;
- Verificar se o composto orgânico pode fornecer nutrientes essenciais ao desenvolvimento vegetativo da *Crotalaria juncea*;
- Verificar qual a melhor proporção de lama e composto orgânico para o desenvolvimento da *Crotalaria juncea*.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 Resíduos sólidos urbanos

A afluência da sociedade mundial deu origem a quantidades sem precedentes de resíduos, apresentando um dos problemas ambientais mais complexos para a sociedade contemporânea, pois envolve vários problemas interligados e deve atingir objetivos que são desafiadores, tais como redução de resíduos, reciclagem de materiais, recuperação de energia e assim por diante (GANDY, 1994).

A ausência de políticas públicas que favorecem a reciclagem e o reaproveitamento dos resíduos gera problemas que vão além do aspecto ambiental no sentido estrito, causando prejuízos, também, de ordem econômica e social, sendo assim o equacionamento da geração excessiva de resíduos sólidos e sua destinação final adequada tornaram-se um desafio à sociedade atual (JACOBI e BENSEN, 2011; SANTOS, 2007).

Dados globais revelam que a geração de resíduos está aumentando constantemente. Em 2012 foram gerados cerca de 1,3 bilhões de toneladas de resíduos sólidos nas cidades de todo o mundo com perspectiva de um incremento na produção que pode atingir 2,2 bilhões de toneladas em 2022 (HOORNWEG e BHADA-TATA, 2012)

No cenário nacional, a geração total de resíduos sólidos urbanos (RSU) em 2016 foi de aproximadamente 78,3 milhões de toneladas, o montante coletado foi de 71,3 milhões de toneladas, sendo que apenas 58,4% (41,7 milhões de toneladas) deste montante é destinado de forma adequada, em sua maioria a aterros sanitários (ABRELPE, 2016). Estes, por sua vez, já se encontram com sua capacidade limitada, devido ao grande volume que é exigido para esse tipo de destinação de resíduos. Portanto, faz-se necessária a adoção de uma solução estratégica integrada de manejo de resíduos nos municípios compreendendo em ordem de prioridade a redução da geração de resíduos, o seu reaproveitamento e a reciclagem (SANTOS, 2007).

Do total de resíduos urbanos gerados no Brasil, a fração orgânica corresponde a mais de 50%. E se somado aos resíduos orgânicos oriundos das atividades agrossilvopastoris e industriais, os dados do PNRS (Plano Nacional de

Resíduos Sólidos) indicam que há uma geração anual de 800 milhões de toneladas de resíduos orgânicos.

Estes resíduos, quando segregados na fonte, possuem a particularidade de serem recicláveis por meio de processos de compostagem, que podem ser aplicados em varias escalas, desde a doméstica até industrial, e por diferentes modelos tecnológicos. Como produto final desse processo, pode-se obter adubo ou fertilizante orgânico (MMA, 2017).

Neste panorama, a reciclagem de resíduos, sobretudo a compostagem destaca-se como uma solução no tratamento de resíduos orgânicos, transformando-os em adubo e fertilizantes orgânicos que podem ser utilizados como um melhorador e recuperador da qualidade do solo (COUTO *et al.*, 2008).

### **3.2 Compostagem como alternativa para aproveitamento dos RSU**

A compostagem consiste em um processo biológico capaz de, sob certas condições de aerobiose, temperatura e umidade, converter a matéria orgânica em um produto estável, rico em húmus e nutrientes minerais, com atributos físicos, químicos e biológicos superiores ao da matéria prima, denominado composto orgânico (DE BERTOLDI *et al.*, 1983; MELLO-PEIXOTO *et al.*, 2014).

As evidências da utilização desse método pelo homem revelam que desde muitos séculos atrás o homem já aproveitava os diversos resíduos produzidos pela sua própria atividade, especificamente dejetos animais e os detritos vegetais e os aglomerava em pilhas ou depositava em fossas, onde sofriam um processo de compostagem ainda que de forma primitiva (GOTAAS, 1959).

Kiehl (1985) também assegura que desde os mais longínquos tempos o agricultor vem utilizando-se dos restos orgânicos, tanto vegetais como animais, como um material para ser incorporado ao solo com a finalidade de favorecer o desenvolvimento das plantas e aumentar a produção agrícola.

Apesar de evidências sobre a compostagem que remetem a milhares de anos atrás, a técnica ainda não é amplamente aplicada no Brasil. Dados do Plano Nacional de Resíduos Sólidos (2011) revelam que do montante de resíduos orgânicos urbanos gerados no país, apenas 1,6% é encaminhado para tratamento via compostagem.

A relevância da compostagem, por sua vez, é corroborada pela Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS) que estipula, em seu Art.36, item V, como sendo de responsabilidade do titular dos serviços públicos de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos “implantar sistema de compostagem para resíduos sólidos orgânicos e articular com os agentes econômicos e sociais formas de utilização do composto produzido” (BRASIL, 2010).

Ao longo do processo de compostagem, o volume de mistura diminui relativamente ao inicial, principalmente devido à decomposição da matéria orgânica em dióxido de carbono, água e nitrogênio liberado sob a forma de amoníaco. Entretanto, ocorre o aumento da concentração de alguns elementos que não se inserem no grupo das substâncias voláteis tais como o fósforo, potássio, cálcio entre outros (EPSTEIN, 2011).

As principais condições para a atividade dos microrganismos e uma decomposição efetiva durante o processo de compostagem são: qualidade e tamanho das partículas do material usado, teor de umidade, temperatura, presença de oxigênio, nitrogênio e carbono em proporções adequadas e pH (CHEN et al., 2011; TAVARES *et al.*, 2008).

Dentre as principais vantagens deste processo destacam-se: a rápida conversão dos resíduos sólidos orgânicos num produto final biologicamente estável; a recuperação do resíduo sob a forma de composto, podendo ser utilizado na agricultura como corretivo de solos; aumento da capacidade de infiltração de água, reduzindo a erosão; ativa a vida do solo, favorecendo a reprodução de microorganismos benéficos às culturas agrícolas; aumenta o número de minhocas e insetos devido à presença de matéria orgânica, reduzindo a incidência de doenças de plantas; promove a higienização do material devido às reações exotérmicas; requer menor quantidade de energia comparativamente com outras vias de tratamento; e apresenta flexibilidade na escala de operação (BARROS, 2012; CHEN e WU, 2005).

O composto orgânico produzido estabelece-se como uma importante fonte de nutrientes para as plantas por apresentar os mesmos na forma mineralizada. A compostagem transformará os nutrientes existentes na forma orgânica nos resíduos vegetais disponíveis para a cultura, em um processo de transformação bioquímica

da matéria orgânica em sais minerais solúveis, os quais podem ser absorvidos pelo sistema radicular das plantas. Além de ser caracterizar como um excelente condicionador e melhorador das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (NUNES, 2009).

A compostagem, porém, apresenta algumas desvantagens, sobretudo quando o processo não é conduzido de maneira adequada. Barros (2012) destaca algumas dessas desvantagens, como: necessidade de triagem eficaz evitando contaminação do solo; exige controle operacional eficaz de modo a garantir a qualidade do produto final; liberação de odores quando o arejamento não é suficiente; flutuação sensível no mercado consumidor do produto; necessidade de maior área de terreno disponível do que nos outros processos de tratamento; geração de vetores quando mal conduzida.

Quando o processo de compostagem é conduzido de maneira correta, obtém-se como produto final uma massa de textura fina e homogênea, sem cheiro característico dos resíduos que lhe deram origem e com concentrações dos elementos fertilizantes variáveis, sendo normalmente de: 1 a 2% de Nitrogênio (N) e de 0,5 a 1% de Fósforo (P) e Potássio (K), além dos micronutrientes. A utilização do fertilizante orgânico pode ser combinada com a adubação mineral (NUNES, 2009; TAVARES *et al.*, 2008).

### **3.3 Resíduos oriundos do beneficiamento de rochas ornamentais**

As rochas ornamentais compreendem os granitos, os mármore, ardósias, gnaiesses e quartzitos, as quais são usadas desde antiguidade. Essas rochas podem ter funções estruturais como alvenaria, colunas e pilares de revestimento, além de possuírem função estética associada a sua beleza. O mármore e o granito são os mais conhecidos e difundidos pela utilização em revestimentos ou peças ornamentais. Seus campos de aplicação essenciais incluem uso em bancadas de pias de banheiro e cozinha, revestimentos de pisos, paredes e soleiras, monumento funerário, entre outros (MELO, ano apud BRAGA *et al.*, 2010).

O Brasil apresenta atualmente status de destaque no mercado mundial de rochas ornamentais e revestimento, consolidando-se no grupo dos cinco maiores produtores de rochas ornamentais em todo o mundo (ABIROCHAS, 2016). Neste

cenário, a geração de resíduos oriundos dos processos de beneficiamento de rocha ornamentais tornou-se um potencial causador de impacto ambiental em várias etapas do processo produtivo (SILVA, 2011).

O beneficiamento desse tipo de rocha envolve as etapas que pretende atender às especificidades de mercado. Inicia-se com a etapa de desdobramento, seguida pelo polimento e corte/acabamento.

A etapa de desdobramento consiste na serragem dos blocos em chapas por meio de equipamentos denominados tares. A etapa seguinte consiste no polimento das chapas brutas utilizando-se de equipamento denominados politrizes. Já a última etapa do beneficiamento é caracterizada pelo corte das chapas polidas e acabamento final, transformando-as em artefatos (FEAM, 2015).

Durante o processo de beneficiamento são geradas diversas frações de resíduos, como lâminas e granalhas desgastadas, sacos de cimento e de cal, restos de pastilhas abrasivas e, sobretudo, a geração de lamas oriundas do processo de desdobramento e polimento das rochas, além de frações sólidas de rochas, como casqueiros e cacos (BRAGA *et al.*, 2010).

As lamas abrasivas surgem no processo devido a utilização de água para a refrigeração dos equipamentos em conjunto com o pó resultante dos processos de corte e polimento das rochas. Estes por sua vez apresentam baixo valor de mercado e são consideradas um dos grandes desafios das indústrias do setor no século XXI (CAMPOS *et al.*, 2014).

Alguns estudos realizados por Lima *et al.*, (2010) mostram que a lama abrasiva oriunda do corte de granito é composta predominantemente de sílica (59,56%), além de outros elementos em menor quantidade como: alumina (16,46%), óxidos de ferro (6,58%) proveniente da granalha utilizada como abrasivo e um teor de óxido de cálcio (6,14%) oriundo da cal utilizada durante o processo produtivo como lubrificante dos equipamentos. Entretanto, a composição química deste tipo de resíduos irá variar de acordo com composição das rochas, do processo de beneficiamento, das propriedades dos insumos, entre outros fatores que irão se diferenciar de acordo com o processo produtivo utilizado.

Apesar da alta produção da lama abrasiva, estimada por Campos *et al.* (2014) em 2,2 toneladas por metro cúbico de rocha serrada, o tratamento geralmente

aplicado a esses resíduos, sob forma de lama, limita-se somente no desaguamento em tanques de sedimentação, os quais apresentam baixa eficiência de remoção de sólidos. Já o acondicionamento final é realizado em tanques escavados no solo, descobertos e sem nenhuma proteção quanto à migração de poluentes para o solo, para as águas subterrâneas e superficiais e que atuam como tanques de armazenamento temporário (BRAGA *et al.*, 2010).

Segundo a NBR 10004/2004, a lama abrasiva é classificada como resíduo Classe IIB – inerte e não apresenta toxicidade. Apesar da ausência de constituinte perigoso na composição deste tipo de lama e das demais frações residuais do beneficiamento das rochas ornamentais, esses resíduos devem receber um tratamento adequado, pois podem gerar danos a biota local, alterar turbidez dos recursos hídricos, atingirem o lençol freático, contaminar solos e atmosfera, além de ser um potencial causador de danos à saúde humana (SILVA, 2011).

Neste viés, o aproveitamento dos rejeitos oriundos do beneficiamento de rochas ornamentais é de grande importância, bem como sua aplicação como insumo na agricultura, que devido sua mineralogia possa conter teores significativos de alguns elementos químicos, como o Ferro (Fe) e Cálcio (Ca), considerados nutrientes essenciais para as plantas de modo a criar uma fonte de renda mínima com agregação de valor ao material extraído (GUARCONI e FANTON, 2011).

Observa-se, porém, que são escassas as pesquisas de caracterização ambiental das lamas abrasivas na literatura consultada e que apesar de alguns resultados positivos da utilização do pó de rocha na agricultura, como observado por Guarconi e Fanton (2011), é insignificante o número de artigos publicados em revistas científicas com corpo editorial sobre o assunto.

### **3.4 Degradação Ambiental**

A degradação ambiental é um dos danos mais sérios que acometem a sociedade moderna. O acelerado processo de crescimento populacional nas últimas décadas resultou em uma elevada demanda por áreas aptas a atividade agrícola e pecuária (RODRIGUES *et al.*, 2012).

A história do uso do solo mostra que sua alteração nem sempre dá lugar a um

novo sistema ecológico sustentável. A falta de práticas conservacionistas e o manejo inadequado do solo devido às atividades agrícolas e pecuárias desencadeiam uma série alterações ambientais, como perda de matéria devido aos processos erosivos, acúmulo de matéria alóctone sobre o solo, alterações das propriedades físicas e características químicas, desequilíbrios entre as comunidades de organismos vivos presentes no solo (PIOLLI *et al.*, 2004).

Recentemente, tem se discutido sobre os impactos negativos das atividades agrícolas resultantes da chamada Revolução Verde. Nesse modelo agrícola, o uso de adubos industriais, herbicidas e inseticidas causa danos ao meio ambiente, contamina alimentos com substâncias tóxicas, além de ser um potencial causador de doenças, podendo levar até a morte humana. A monocultura, adotada nesse modelo, é dependente de constantes intervenções geradoras de poluição e erosão do solo, além de provocar a redução da biodiversidade e comprometer o patrimônio genético da agricultura (AKTAR *et al.*, 2009; COÊLHO *et al.*, 2016).

Essas alterações ambientais provenientes do processo de degradação ambiental ameaçam a fertilidade das terras, a qualidade das águas e o equilíbrio ecológico em geral, e são potencializados quando se leva em consideração que a resiliência natural de determinadas propriedades solo é muito lenta. Nesse caso, faz-se necessária a intervenção antrópica para acelerar o processo de regeneração (TAVARES *et al.*, 2008).

Neste caso, quando impacto pode impedir ou limitar de maneira drástica a capacidade do meio ambiente de retornar ao seu estado original, ou ao ponto de equilíbrio pelos meios naturais, ou seja, reduz sua resiliência, fala-se em área degradada.

Áreas degradadas são aquelas que não mais possuem a capacidade de repor as perdas de matéria orgânica do solo, nutrientes, biomassa e estoque de propágulos. Como as áreas degradadas sofreram impactos de várias ordens, deve-se proceder analisando cada caso separadamente, desta forma várias estratégias para a recuperação de uma área degradada podem ser propostas (BROWN; LUGO, 1994).

### 3.5 Recuperação de área degradada

A preocupação com a reparação de danos provocados ao meio ambiente pelas atividades humanas não é recente. Desde o século XIX, iniciativas de reflorestamento têm sido estabelecidas no Brasil com diferentes objetivos. Entretanto, somente na década de 1980, com o desenvolvimento da ecologia vegetal e da consolidação da ecologia de restauração como ciência, o termo restauração ecológica passou a ser mais claramente definido com objetivos mais amplos (ENGEL e PARROTA, 2003).

O termo recuperação é corriqueiramente utilizado como sinônimo de reabilitação e restauração. Entretanto, na literatura técnica recuperar não é sinônimo de reabilitar, nem de restaurar. A recuperação de áreas degradadas (RAD) é conceituada pela Lei Federal nº 9.985, de 18 de julho de 2000, em seu art. 2º como “restituição de um ecossistema ou de uma população silvestre degradada a uma condição não degradada, que pode ser diferente de sua condição original”, por sua vez define também o termo restauração como “restituição de um ecossistema ou de uma população silvestre degradada o mais próximo possível da sua condição original”.

A recuperação de áreas degradadas envolve inúmeros fenômenos biológicos e físico-químicos, executada por especialistas de diferentes áreas do conhecimento humano, tornando-a um processo complexo, amplo e diversificado. Dentre as técnicas já conhecidas de recuperação, pode-se destacar a indução de banco de sementes, condução da regeneração natural, adensamento e enriquecimento de mata em regeneração, plantio de espécies vegetais, além de adubação e reposição de matéria orgânica (PIOLLI *et al.*, 2004).

As estratégias de recuperação de áreas degradadas devem promover um planejamento baseado nos processos naturais de sucessão. Ou seja, busca-se, reproduzir o processo natural através do conhecimento sobre sua dinâmica e interrelações, visando assim acelerar o processo para garantir que uma determinada comunidade tenha condições de atingir seu estado clímax (ALMEIDA, 2016).

Na recuperação de áreas mediante plantio, o solo deverá ser devidamente preparado, atentando principalmente para as recomendações técnicas de

conservação de solo, de calagem e adubação, visto que na maioria das vezes, os impactos causados levaram a redução ou completa perda da capacidade de resiliência.

Para os projetos de recuperação de áreas degradadas, algumas das principais funções das espécies arbóreas são: reabilitação do solo, contenção de erosões, atração de polinizadores, recarga do lençol freático por meio das raízes, atração de fauna local, além do restabelecimento da beleza cênica do local. Ferreira et al., (2016) destaca que na escolha das espécies deve-se priorizar a utilização de mudas iguais ou de comportamento similar as espécies arbóreas anteriormente presentes na área.

#### 3.4.1 Adubação verde como estratégia de RAD

Na maior parte dos solos tropicais, a produção das culturas é severamente afetada pela deficiência de nitrogênio (N), o que as torna dependentes da utilização de adubos nitrogenados sintéticos ou de fontes nitrogenadas alternativas, como os adubos verdes (PAULINO *et al.*, 2009).

Os adubos verdes são plantas com características que permitem em médio e longo prazo a melhora de propriedades físico-químicas do solo, diminuição na competição entre espécies, além do cultivo para fins comerciais. Em regiões semiáridas, os adubos são cultivados para seu emprego como cobertura morta em áreas com histórico de manejo impróprio do solo e baixa precipitação (FERREIRA *et al.*, 2016)

A técnica é caracterizada como uma fonte de matéria orgânica que consiste na união entre leguminosas, gramíneas e ervas nativas. As leguminosas são importantes por fornecerem nitrogênio por meio do processo de associação simbiótica das bactérias do gênero *Rhizobium*. A capacidade de fixação de nitrogênio pelas leguminosas herbáceas é próxima a 350 kg N/ha/ano. O uso das leguminosas que apresentam elevado potencial de fixação biológica de nitrogênio e de produção de biomassa além de proporcionar economia com fertilizantes contribui para o manejo ecológico de culturas e diminui a dependência dos agricultores por subsídios (ESPINDOLA *et al.*, 2006; PENTEADO, 2003; TAVARES *et al.*, 2008).

As gramíneas, por sua vez, devem ser incluídas como produtoras de

biomassa, pois fornecem carbono, mantêm e aumentam o teor de matéria orgânica, favorecem os microrganismos benéficos ao solo, além de contribuir para a estabilidade do solo devido ao seu sistema radicular abundante. Já as ervas nativas reciclam os nutrientes e preservam o ecossistema (PENTEADO, 2003; TAVARES *et al.*, 2008).

A adubação verde, portanto, consiste no manejo de plantas visando à melhoria e manutenção da capacidade produtiva do solo com principal vantagem a fixação de nitrogênio atmosférico por meio de simbiose com bactérias. Outros benefícios são gerados a partir dessa técnica, destacando-se:

- a) proteção da camada superficial do solo contra as chuvas de alta intensidade, o sol e o vento;
- b) manutenção de elevadas taxas de infiltração de água;
- c) redução da velocidade do escoamento superficial;
- d) aporte de massa vegetal ao solo podendo elevar o teor de matéria orgânica ao longo do tempo;
- e) reciclagem de nutrientes (o sistema radicular possui a capacidade de translocar os nutrientes que se encontram em camadas profundas para as camadas superficiais tornando-os novamente disponíveis para as culturas de sucessão);
- f) atenuação da lixiviação de nutrientes;
- g) melhoria da dinâmica física e química do solo; e
- h) múltiplos usos na propriedade (alimentação humana e animal, fonte de madeira e lenha).

Os benefícios gerados pela adubação verde consolidam a técnica como uma alternativa ambientalmente e economicamente sustentável, ademais a grande diversidade de espécies de leguminosas, aliada a ocorrência e disponibilidade em varias regiões do território brasileiro aumenta a viabilidade da técnica em RAD (NOGUEIRA *et al.*, 2012; TAVARES *et al.*, 2008).

Peoples e Craswell (1992) complementam que o manejo da adubação verde reduz a susceptibilidade do solo aos processos erosivos, minimizam os riscos de contaminação das águas subterrâneas por nitrato, além de ser uma fonte de suplementação alimentar de homens e animais de proteína.

Existe grande variação na produtividade de biomassa das leguminosas, conforme as condições nas quais elas crescem. A quantidade de nutrientes acumulada é proporcional à quantidade de biomassa produzida, variando, entre as espécies, a eficiência de absorção (FAVERO *et al.*, 2000). A produtividade de matéria seca, bem como a potencialidade de fixação de nitrogênio das principais espécies de leguminosas herbáceas são apresentadas por alguns autores (Tabela 1).

**Tabela 1** – Produção de matéria seca e a potencialidade de fixação de nitrogênio por algumas leguminosas utilizadas como adubo verde.

Nome científico	Nome comum	Produtividade de Matéria Seca Total (t.ha <sup>-1</sup> )	Fixação de Nitrogênio no solo (kg.ha <sup>-1</sup> )
<i>Cajanus cajan</i>	Feijão-guandu	8 – 18	37 – 280
<i>Canavalia ensiformis</i>	Feijão-de-porco	5 – 8	49 – 190
<i>Crotalaria juncea</i>	Crotalaria juncea	10 – 20	150 – 450
<i>Dolichos lab-lab</i>	Labelabe	5 – 7	66 – 180
<i>Lupinus albus L.</i>	Tremoço branco	5	128 – 268
<i>Mucuna aterrima</i>	Mucuna-preta	7,1	120 – 210
<i>Vicia sativa</i>	Ervilhaca	4 – 6	90 – 180

Fonte: Adaptado de ALVARENGA *et al.*, 1995; CATI, 2002; DERPSCH & CALEGARI, 1992; WUTKE, 1993

Embora o estudo dos adubos verdes ter demonstrado um grande potencial na recuperação da produtividade do solo, alguns desafios ainda se impõem ao desenvolvimento desta técnica, como observa Calegari (1992) em seus estudos, na

qual evidencia como um dos principais desafios da técnica o estabelecimento de um esquema de uso compatível das diferentes espécies com os sistemas de produção específicos de cada região, levando-se em consideração os aspectos ligados ao clima, solo e infra-estrutura da área para produção.

#### 3.4.1.1 *Crotalaria juncea*

A *Crotalaria Juncea* (*Crotalaria juncea* L.) é uma espécie de clima tropical e subtropical, da família das leguminosas, cuja altura pode variar de 2 m a 3 m de caule ereto semi-lenhoso, ramificado na parte superior (BARRETO; FERNANDES, 2001).

A espécie tem apresentado bom comportamento nos solos argilosos e arenosos e o seu uso como adubo verde é amplamente aconselhado devido ao rápido crescimento, supressão de ervas espontâneas e ao grande potencial de produção de biomassa e de fixação de nitrogênio ao solo (PEREIRA *et al.*, 2005).

O fenômeno do acelerado crescimento inicial da *Crotalaria juncea* confere a espécie maior competitividade com as invasoras. Ademais, a produção elevada da quantidade de sementes compensa eventuais perdas ocasionadas pelo ataque da lagarta-das-vagens (BARRETO; FERNANDES, 2001; PEREIRA *et al.*, 2005).

Destaca-se, entretanto, que a *Crotalaria* é sensível ao fotoperíodo, o que torna necessária a adequação de seu uso mediante estratégias agronômicas, como a variação das épocas de semeadura (AMABILE *et al.*, 2000).

#### 4 METODOLOGIA

O experimento foi conduzido no *campus* I, do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET-MG, no período de agosto a novembro de 2018. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com 5 tratamentos em doses decrescentes de lama abrasiva (100%, 75%, 50%, 25% e 0%), associados a composto orgânico em doses complementares (0%, 25%, 50%, 75% e 100%), além da incorporação de 0,3 dm<sup>3</sup> de solo, em todos os tratamentos, com 5 repetições, utilizando a espécie de leguminosa *Crotalaria juncea*.

O composto orgânico incorporado foi produzido em composteiras em *bags* com dimensão de 90 x 90 x 120 cm em formato retangular (Figura 1).

**Figura 1.** Composteira em *bags* de resíduos oriundos do preparo de refeições e de jardinagem dos *campi* I e II do CEFET-MG.



A montagem foi realizada no período de 21 a 28 de outubro de 2016 em um espaço no campus II do CEFET-MG. Foram utilizados resíduos orgânicos vegetais oriundos do preparo das refeições dos restaurantes universitários e de jardinagem dos campi I e II do CEFET-MG, intercalados em camadas de 15 cm até atingir altura aproximada de 110 cm.

Foram utilizados 70% de resíduos de jardins (96 kg), 22% de cortes de frutas (31,4 kg) e 8% de composto orgânico finalizado (10,6 kg). Após a montagem e durante processo, a composteira foi irrigada de forma a controlar a umidade e permitir a atividade microbiana do processo.

O processo foi interrompido no dia 13 de fevereiro de 2017, quando a temperatura da composteira se igualou à temperatura ambiente.

A lama abrasiva (Figura 2) foi coletada em agosto de 2018, no tanque de sedimentação do processo produtivo de um estabelecimento industrial de beneficiamento de rochas ornamentais localizada no município de Belo Horizonte.

**Figura 2.** Rejeito constituído de lama oriundo do processo de beneficiamento de rochas.



A produção da marmoraria é essencialmente composta por rochas graníticas representando 70% da produção total e tem como origem o Estado do Espírito Santo. Já a parcela ardósia e mármore representam, respectivamente, 20% e 10% do total das rochas beneficiadas no empreendimento.

Durante o processo produtivo são gerados em média 4m<sup>3</sup> de resíduos por semana, constituídos por restos e fragmentos de rochas e, principalmente, por lama abrasiva. A lama é resultante da água utilizada para refrigeração das máquinas, em conjunto com o pó, oriundo dos processos de serragem, polimento e corte. Não utilizando qualquer outro aditivo que altere a composição química ou as características de não biodegradabilidade e não toxicidade do material.

Após a secagem, as características químicas da lama foram determinadas, pelo Laboratório de Química Agropecuária do Instituto Mineiro de Agropecuária – IMA e do composto orgânico, pelo Laboratório Oficial de Fertilizantes e Correlatos de Varginha, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Tabela 2).

**Tabela 2.** Características químicas dos materiais utilizados na produção de substrato para a produção de mudas de *Crotalaria juncea*.

Parâmetro	Unidade	Lama Abrasiva <sup>1</sup>	Composto orgânico
pH em água	-	8,7	7,58
N		0,7	9,3
P		0,0029	3,53
K		0,168	1,4
Ca		0,35	28,60
Mg		0,059	2,3
S		-	0,9
B		-	0,07
Co	g.dm <sup>-3</sup>	-	0,016
Cu		0,028	0,10
Fe		0,232	22,06
Mn		0,031	0,25
Na		0,092	-
Zn		0,0069	0,10
Mat. Org.		12,7	267

<sup>1</sup> – Densidade das partículas– 2,70 g/cm<sup>3</sup>; Densidade do solo – 1,51 g/cm<sup>3</sup>;

Granulometria (método pipeta adaptado): areia total – 36,64%; silte – 60,58%; argila – 2,79%

Fonte: Laboratório Oficial de Fertilizantes e Correlatos de Varginha (2018); Laboratório de Química Agropecuária do Instituto Mineiro de Agropecuária – IMA (2018).

Os substratos foram dispostos em sacos pretos de polietilenos de 11,5 cm de diâmetro e 15 cm de altura, em volume (1,7 dm<sup>3</sup>) para todos os tratamentos.

As sementes de *Crotalaria juncea* foram selecionadas manualmente, descartando-se aquelas que eventualmente apresentassem injúrias ou deformações. E, após 10 dias de descanso para reação entre substratos, no dia 21 de agosto de 2018, procedeu-se a semeadura.

As amostras foram expostas a pleno sol e irrigadas diariamente de segunda à sexta, utilizando-se o mesmo volume de água para cada tratamento. Decorridos 7 dias após a emergência de todas as plantas, foi realizado o desbaste, mantendo-se somente uma planta por vaso.

Os parâmetros de crescimento vegetativo da espécie foram obtidos ao final de 60 dias após a semeadura, através da medição do diâmetro médio dos caules e da altura da planta a partir do “colo” da parte aérea, com o uso de régua e paquímetro. Foram avaliadas também a matéria fresca da parte aérea (MFPA) e matéria seca da parte aérea (MSPA), obtidas após secagem em estufa com ventilação de ar forçado, até massa constante a 65°C, e pesadas em balança eletrônica de precisão.

Os dados obtidos foram submetidos às análises de variância para matéria seca da parte aérea (MSPA) e de matéria fresca da parte aérea (MFPA), em função das doses de lama abrasiva e de composto aplicadas. As médias foram comparadas pelo Teste de Tukey (P<0,05) utilizando o programa estatístico Sisvar® para Windows (FERREIRA, 2014).

A morfologia do material foi investigada por microscopia eletrônica de varredura (MEV). As análises de MEV foram realizadas em um microscópio eletrônico Hitachi TM 3000, operando em 15 kV, com ampliações de 600, 1000 e 1500x.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 6.1 Características físicas e químicas dos substratos

A composição granulométrica da lama abrasiva é composta de areia total – 36,64%; silte – 60,58%; argila – 2,79% e as densidades do solo e das partículas foram, respectivamente, 1,51 g/cm<sup>3</sup> e 2,70 g/cm<sup>3</sup>. A densidade do solo representa a massa das partículas e o volume total (inclui os espaços vazios), enquanto a densidade das partículas é a relação da massa das partículas e o volume ocupado por elas (Ferreira, 2010). Por sua vez, a matéria orgânica por ter uma densidade de partículas baixo, variando 1,1 a 1,4 g/cm<sup>3</sup>, contribui para também para a redução da densidade do solo (BRADY, 1989).

A consistência da lama abrasiva foi ligeiramente dura, solta, não plástica e não pegajosa, no estado seco, úmido e molhado, respectivamente. Estas características denotam que a lama abrasiva, por si só, não possibilita estruturação ao solo e a formação de agregados, dificultando o armazenamento da água, favorecendo a sua drenagem e a lixiviação de nutrientes.

Durante o experimento com a *Crotalaria juncea*, observou-se nas mudas no Tratamento A (100% lama – 0% composto), uma grande perda de substrato carregado por fluxo de água durante a irrigação. Esse fenômeno pode estar atribuído a limitada quantidade de matéria orgânica e às características físicas da lama abrasiva (Tabela 2).

Brady e Weil (2013) destacam que nos solos, a fração de composto orgânico nos substratos afetará indiretamente a quantidade de água disponível para as plantas, pois auxilia na estabilização da estrutura do solo e no aumento do seu volume total, bem como no desenvolvimento dos microporos. Isso resulta em um aumento da infiltração e da capacidade de retenção de água.

As imagens obtidas pela microscopia eletrônica de varredura (MEV) reforçam as observações acima, visto que o tratamento com 100% lama (Figura 3a) apresentou em sua grande maioria, partículas superior a 100 µm, com características de material mineral com fases e bordas angulares, enquanto o tratamento 100% composto (Figura 4a) percebe-se diferentes tamanhos de partículas, incluindo as de tamanho coloidal (< 0,001 µm), predominantemente com

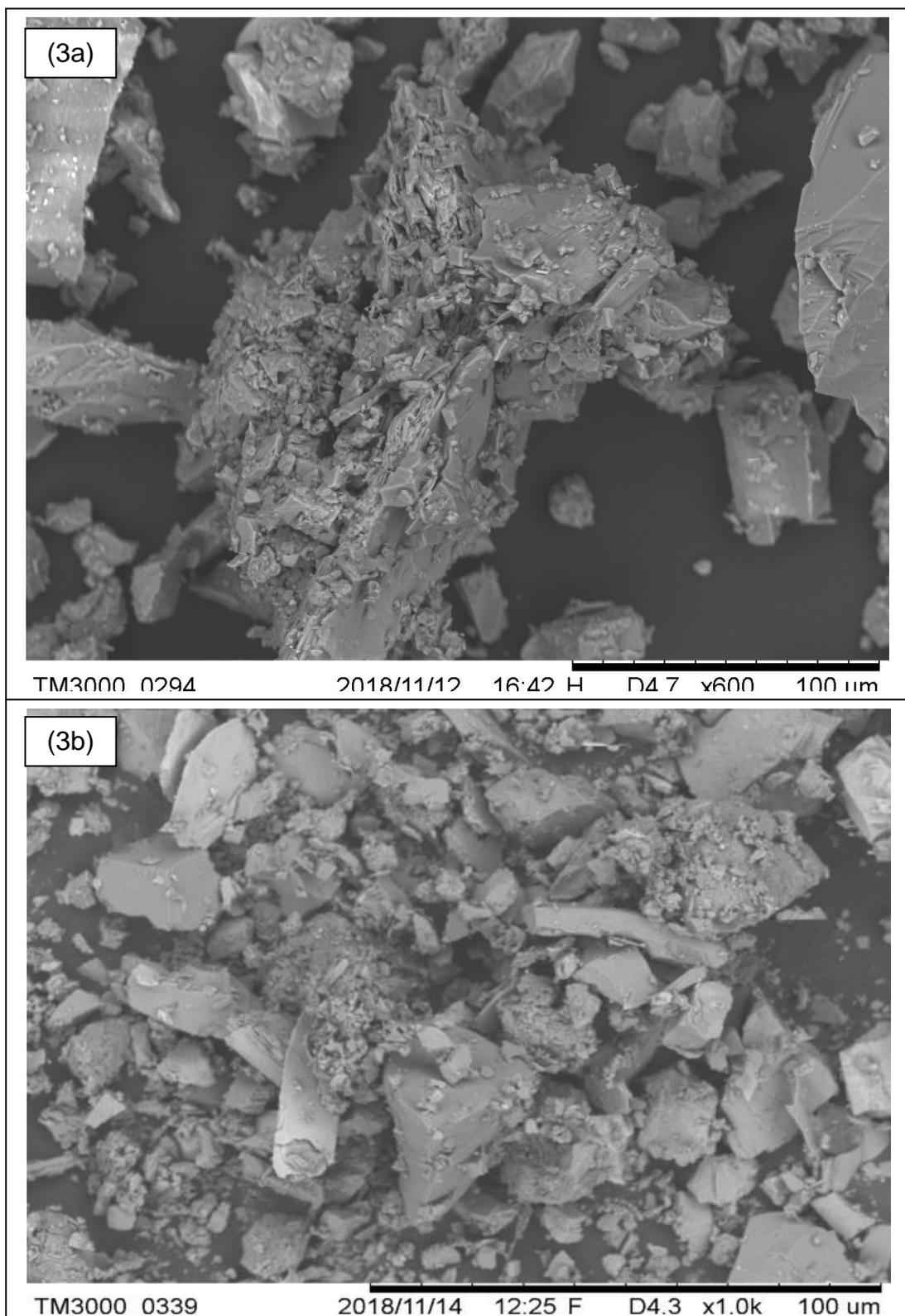
características de material orgânico, podendo identificar fragmentos de exoesqueleto de insetos e, também de agregados (Figura 3b).

Já no tratamento D (25% de lama – 75% composto) (Figura 3b) há um arranjo entre as partículas minerais e orgânicas, com formação de agregados, o que pode favorecer a estrutura do substrato, apresentando macro e microporos e, por consequência, contribuindo para a manutenção da porosidade e aeração do solo, e no crescimento das plantas (DEXTER, 1988).

Segundo Brady (1989), uma vez que quartzo ( $\text{SiO}_2$ ), predomina nas frações areia e silte, estas duas frações são totalmente inativas do ponto de vista químico. O que pode ser observado a partir das análises químicas da lama abrasiva, onde os teores de nutrientes são bem inferiores ao composto orgânico (Tabela 2).

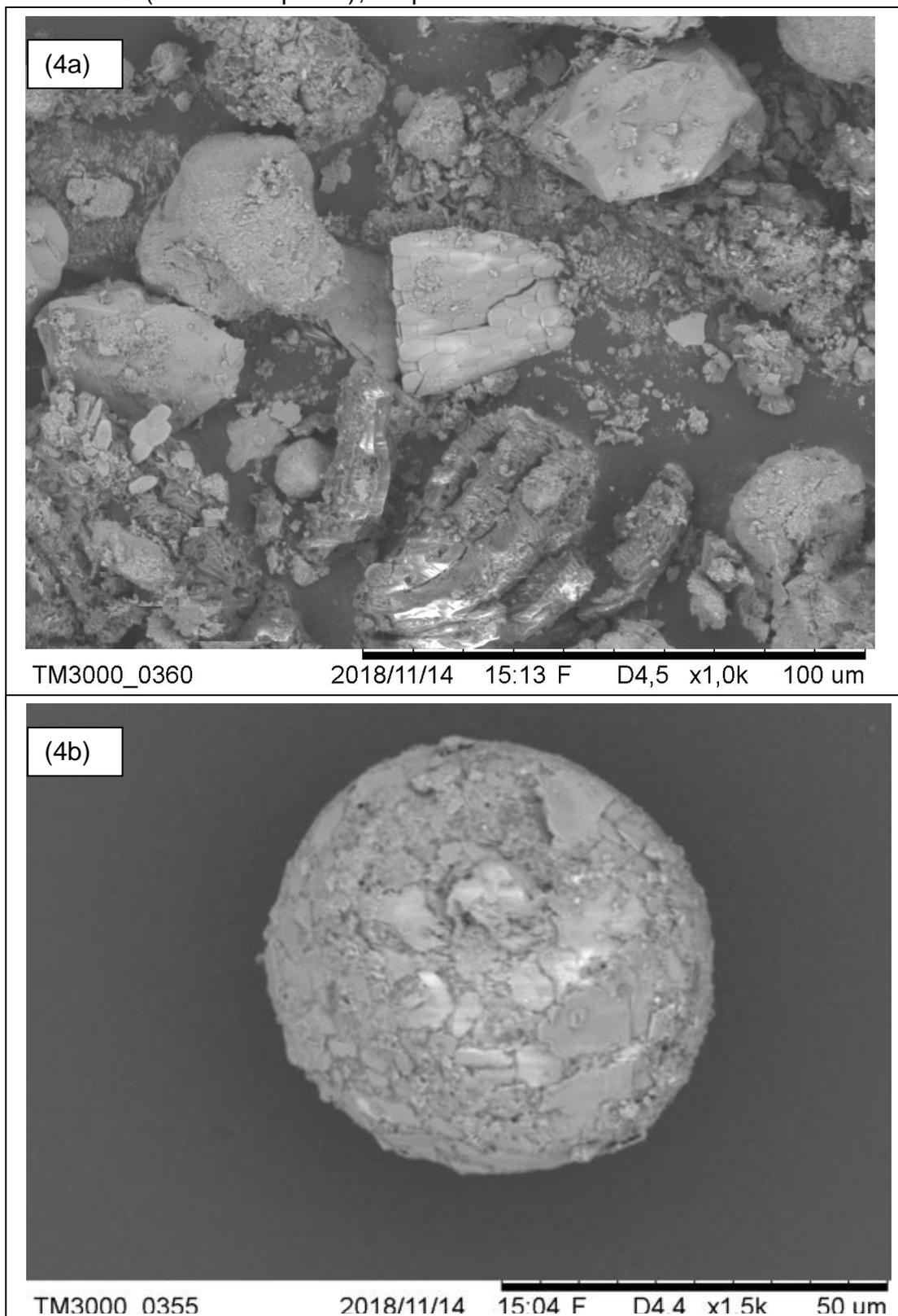
No entanto, os extratores utilizados na amostra de lama abrasiva para a determinação dos nutrientes só possibilita a análise daqueles elementos que estão disponíveis para as plantas (troca iônica), não daqueles que estão nas fases internas dos cristais de rocha e que, podem ser intemperizados com o tempo, favorecendo a liberação residual para o solo.

**Figura 3.** MEV do Tratamento A (100% lama) e do Tratamento D (25% de lama – 75% composto), respectivamente.



Fonte: Laboratório de Solos – Departamento de Engenharia de Transportes – CEFET-MG (2018).

**Figura 4.** Imagens de MEV do tratamento E (100% composto) e do agregado no tratamento E (100% composto), respectivamente.



Fonte: Laboratório de Solos – Departamento de Engenharia de Transportes – CEFET-MG (2018).

## 6.2 Desenvolvimento vegetativo e produção de *Crotalaria juncea*

Em relação aos parâmetros avaliados de desenvolvimento vegetativo e de produção da *Crotalaria juncea*, pode-se observar que o substrato A apresentou menores valores de diâmetro e altura da planta (Figura 5, Tabela 3) e produção de MSPA e de MFPA (Tabela 4), em relação aos demais tratamentos.

**Tabela 3.** Altura e diâmetro da parte aérea de plantas jovens de *Crotalaria juncea* submetidas a diferentes doses de lama abrasiva (L) associados a composto orgânico (C) em doses complementares.

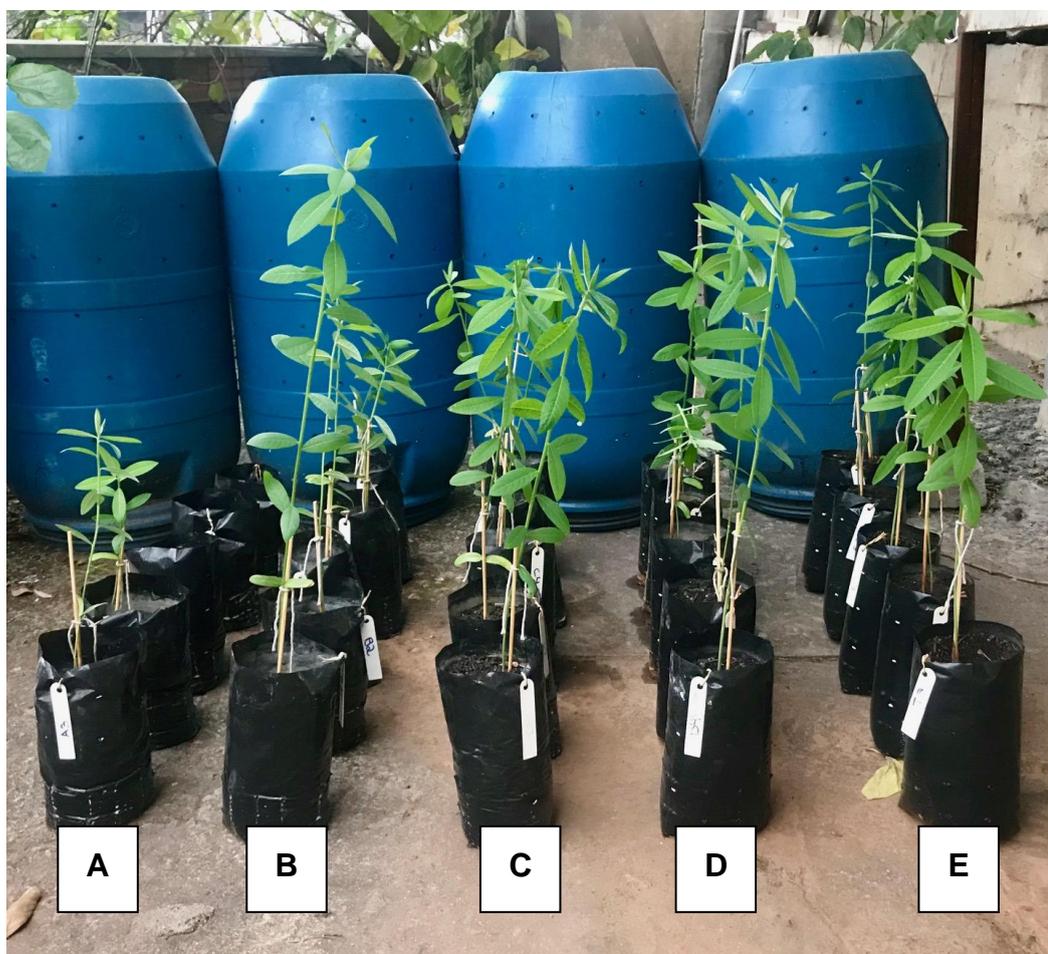
Tratamento	Altura (cm)	Diâmetro (mm)
A (100%L-0%C)	16,30 b	1,04 b
B (75%L-25%C)	56,4 a	2,86 a
C (50%L-50%C)	64,63 a	3,00 a
D (25%L-75%C)	53,20 a	3,18 a
E (0%L-100%C)	54,00 a	2,68 a

\* Médias seguidas por letras iguais não diferem significativamente, onde  $P < 0,05$ , pelo teste de Tukey

Ademais, no tratamento A apenas 2 sementes germinaram, das cinco semeadas (Figura 5). Figliolia *et al.* (1993) cita que o substrato é o componente mais sensível e complexo do sistema de produção de mudas, sendo que qualquer variação na sua composição altera o processo final de produção de mudas, prejudicando o desenvolvimento de mudas de boa qualidade ou, até mesmo, provocando a não germinação de sementes. Dino *et al.* (2006) também verificaram que a lama produzida no beneficiamento de rochas ornamentais em teste de

germinação (ensaios em vasos) apresentaram menores taxas de germinação em relação a sua mistura com resíduos orgânicos.

**Figura 5.** Mudanças de *Crotalaria Juncea* 45 dias após plantio em 5 tratamentos de doses decrescentes de lama abrasiva (A-100%,B-75%, C-50%, D-25% e E-0%) associados a composto orgânico em doses complementares.



A (100%L-0%C); B (75%L-25%C); C (50%L-50%C); D (25%L-75%C); E (0%L-100%C)

Os resultados obtidos de produção de MFPA e MSPA demonstraram que não houve diferença estatística (Tukey 0,05) entre os quatro tratamentos, com alguma dose de composto orgânico, analisados. Portanto, é possível flexibilizar as proporções de composto de acordo com a oferta do material ou, até mesmo, priorizar substratos com doses menores de composto orgânico, visando diminuir custos.

O menor desenvolvimento da MSPA e MFPA das mudas no tratamento A frente aos demais tratamentos com doses de composto, pode estar relacionado, aos teores significativamente maiores de nutrientes e matéria orgânica do composto orgânico em relação à lama abrasiva (Tabela 2), que favorecem a nutrição das plantas.

Oliveira, Queiroz, Ribeiro (2009) observaram que a utilização dos resíduos de beneficiamento de rochas ornamentais elevou o pH do solo, porém quando associados à composto orgânico, também elevaram os teores de potássio.

**Tabela 4.** Matéria Fresca da Parte Aérea (MFPA) e Matéria Seca da Parte Aérea (MSPA) de plantas de *Crotalaria juncea* submetidas a diferentes doses de lama abrasiva (L) associados a composto orgânico (C) em doses complementares.

Tratamento	MFPA (g)	MSPA (g)
A (100%L-0%C)	1,328 b	0,116 b
B (75%L-25%C)	5,710 a	0,610 ab
C (50%L-50%C)	8,170 a	0,868 a
D (25%L-75%C)	5,932 a	0,796 a
E (0%L-100%C)	6,438 a	0,648 ab

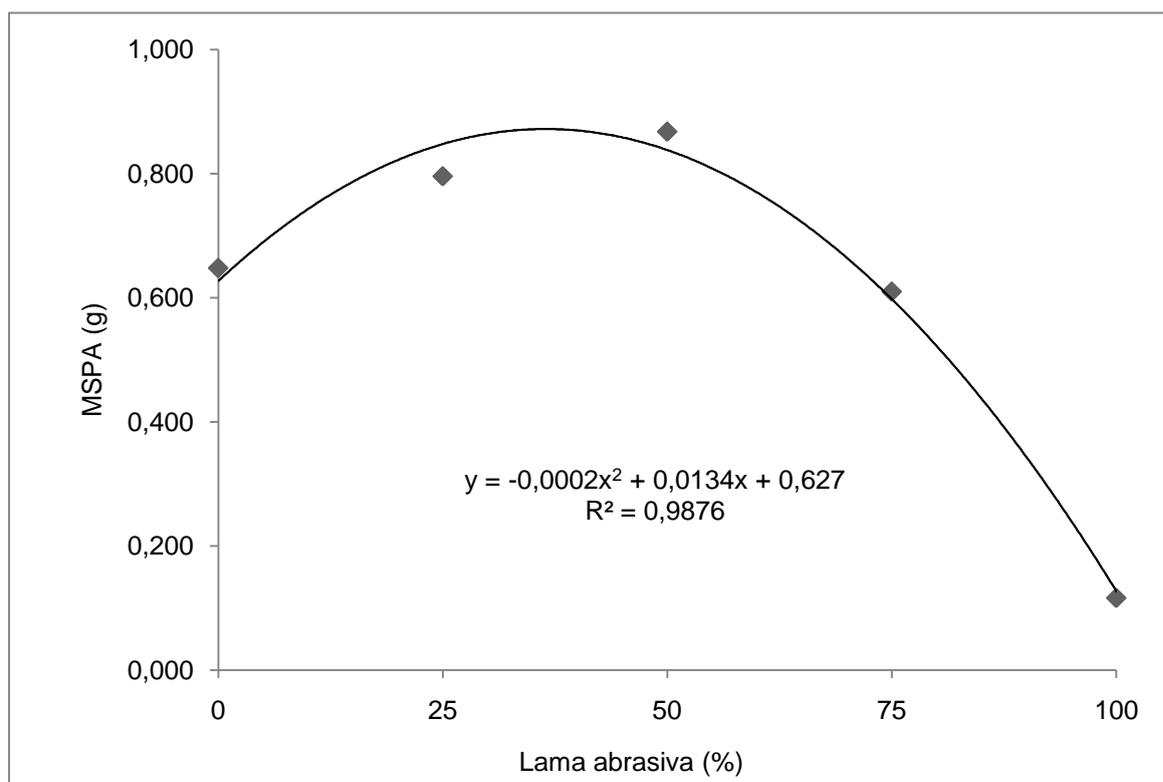
\* Médias seguidas por letras iguais não diferem significativamente, onde  $P < 0,05$ , pelo teste de Tukey

A análise estatística foi significativa para a regressão do efeito das doses para a produção de MSPA (Apêndice A). Os valores de MSPA aumentaram até a concentração de 50% de lama, obtendo valores máximos na faixa de 30 a 45% de lama abrasiva (Figura 6).

Por tanto, a lama abrasiva associada ao composto orgânico apresenta-se

como uma potencial alternativa na reciclagem de resíduos, bem como na recuperação de áreas degradadas através do aumento do desenvolvimento vegetal.

**Figura 6.** Curva de regressão em função das proporções de lama abrasiva e composto orgânico nos substratos.



Não foram encontrados muitos estudos sobre a utilização da lama abrasiva na agricultura. Tozsin et al. (2014) utilizaram resíduos do beneficiamento de mármore, como corretor da acidez do solo em pomares de avelaneira e verificaram o aumento do pH do solo e aumento da produtividade das árvores.

Por fim, deve-se destacar que o comportamento da lama abrasiva não irá variar muito com a variação dos tipos de rochas beneficiados nas marmorarias, devido a composição mineralógica das rochas ornamentais. Entretanto, para que a lama abrasiva seja reutilizada, esse material deve ser disposto de forma separada, evitando eventuais contaminações por substâncias tóxicas e garantindo segurança do uso da lama como composto para mudas.

## 7 CONCLUSÃO

O uso da lama abrasiva como único substrato para produção de mudas de *Crotalaria Juncea* inibiu a germinação de sementes e limitou o desenvolvimento vegetativo das mudas. Contudo, o uso da lama mostrou-se viável em doses com composto orgânico, com melhores resultados na faixa de 30 a 45% de lama abrasiva.

## REFERÊNCIAS

ABIROCHAS – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ROCHAS ORNAMENTAIS. Brazil is a highlight in the international dimension Stone market. In: Abirochas. ABINEWS 1(1), p. 6-10, 2015.

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2016**. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2016.pdf>>. Acesso em: 29 abr. 2018.

AKTAR, W.; SENGUPTA, D.; CHOWDHURY, A. Impact of pesticides use in agriculture: their benefits and hazards. **Interdisciplinary Toxicology**, v.2, Issue 1, p.1–12, 2009.

ALMEIDA, D. S. DE. **Recuperação ambiental da Mata Atlântica**. Ilhéus, Ilhéus, BA: Editus, 2016, 200 p. ISBN 978-85-7455-440-2.

ALVARENGA, R.C.; COSTA, L.M.; MOURA FILHO, W. & REGAZZI, A.J. Características de alguns adubos verdes de interesse para a conservação e recuperação de solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 30:175-185, 1995.

AMABILE, R. F.; FANCELLI, A. L.; CARVALHO, A. M. de. Comportamento de espécies de adubos verdes em diferentes épocas de semeadura e espaçamentos na região dos cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 35, n. 1, p. 47-54, jan. 2000.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. NBR 10004: **Resíduos sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro, 2004.

BARRETO, A. C.; FERNANDES, M. F. Recomendações técnicas para o uso da adubação verde em solos de tabuleiros costeiros. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2001, 24p. **(Circular Técnica, 19)**.

BARROS, Raphael Tobias Vasconcelos. **Elementos de gestão de resíduos sólidos**. Belo Horizonte: Tessitura, 2012. 424 p.

BRADY, N.C.; WEIL, R.R. Elementos da natureza e propriedades dos solos. 3.ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 704p.

BRAGA, F. S.; BUZZI, D.C.; COUTO, M. C. L.; LANGE, L. C. Caracterização ambiental de lamas de beneficiamento de rochas ornamentais. **Eng Sanit Ambient**, v.15, n. 3, p.237-244, 2010.

BRASIL, Lei no 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos: altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm)> Acesso em: 30 abr. 2018.

BRASIL. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília, DF. 2012. Disponível em <[http://www.mma.gov.br/estruturas/253/\\_publicacao/253\\_publicacao02022012041757.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/253/_publicacao/253_publicacao02022012041757.pdf)>. Acesso em 30 de abr. 2018.

BRASIL. lei nº 9.985, de 18 de Julho de 2000. Regulamenta o artigo 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o **Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências**. Ministério do Meio Ambiente, Brasília.

BROWN, S.; LUGO, A.E. Rehabilitation of tropical lands: a key to sustaining developing. **Restoration Ecology**, v.2, p.97-111, 1994.

CALEGARI, A. **Plantas para adubação verde de inverno na sudoeste do Paraná**. Londrina: IAPAR, 1992. 37p. (Boletim Técnico, 35).

CAMPOS, A. R.; RIBEIRO, R. C. C.; CASTRO, N. F.; AZEVEDO, H. C. A.; CATTABRIGA, L. Resíduos: tratamento e aplicações industriais. In: VIDAL, F. W. H.; AZEVEDO, H. C. A.; CASTRO, N. F. (eds.). Tecnologia de rochas ornamentais: pesquisa, lavra e beneficiamento. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, p. 431-492, 2014.

CATI. **Plantio direto na palha em São Paulo**. Campinas: Departamento de Sementes, Mudanças e Matrizes, 2002. 21p.

CELESTINI, R. M.; MAGON, R. **Teoria e prática em recuperação de áreas degradadas: plantando a semente de um mundo melhor**. Serra Negra, SP,. 2004. Apostila da Associação de Defesa do Meio Ambiente – Planeta Água.

CHEN, J.; WU, J; **Benefits and Drawbacks of Composting**. Food and Fertilizer Technology Center. Taiwan, 2005.

CHEN, L.; MARTI, M. E. de H.; MOORE, A.; FALEN, C. **The composting Process**. Dairy Composting. University of Idaho. Moscow, 2011. p.1-5.

COÊLHO, J. G. S.; ARAÚJO, J.; LIMA, A. K. V. O.; PEREIRA, F. C.  
**FITORREMEDIAÇÃO NA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS E COMBATE À DESERTIFICAÇÃO: ESTADO DA ARTE**. 2016, Vitória de Santo Antão, PE.

COUTO, J. R. do; RESENDE, F. V. de; SOUZA, R. B. de; SAMINEZ, T. C. de O.  
**Instruções práticas para produção de composto orgânico em pequenas propriedades**. Brasília: Embrapa, 2008. 8p. Comunicado Técnico.

DE BERTOLDI, M.; VALLINI, G.; PERA, A. The biology of composting: a review. **Waste Management & Research**, v. 1, n. 2, p. 157-176, 1983. Disponível em: <<http://cesantaclara.ucanr.edu/files/232893.pdf>>. Acesso em: 30 abr. 2018.

DERPSCH, R.; CALEGARI, A. **Plantas para adubação verde de inverno**. Londrina: IAPAR, 1992. 80p. (Circular, 73).Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542007000400033>> Acesso em: 30 abr. 2018.

DEXTER, A.R. Advances in characterization of soil structure. *Soil & Till. Res.*, 11:199-238, 1988. <<https://www-sciencedirect.ez107.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/0167198788900025>>

DINO, Giovanna Antonella et al. Quarry rehabilitation: first results of an experimental project about residual sludge bioremediation treatment, in order to obtain loam. In: MPES 2006. GEAM, 2006. p. 292-297.

ENGEL, V. L.; PARROTTA, J. A.. Definindo A Restauração Ecológica: Tendências E Perspectivas Mundiais. Restauração Ecológica De Ecossistemas Naturais. Botucatu: Fepaf, 2003. p. 1-26.

EPSTEIN, E., **Industrial Composting: Environmental Engineering and Facilities Management**. Taylor and Francis Group, Florida, 2011.

ESPINDOLA, J.A.A.; GUERRA, J.G.M.; PERIN, A.; TEIXEIRA, M.G.; ALMEIDA, D.L. de; URQUIAGA, S.; BUSQUET, R.N.B. Bananeiras consorciadas com leguminosas herbáceas perenes utilizadas como coberturas vivas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.415-420, 2006.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Status of the World's Soil Resources**, 2015. Disponível em: <<http://www.fao.org/documents/card/en/c/c6814873-efc3-41db-b7d3-2081a10ede50/>>. Acesso em: 30 abr. 2018.

FAVERO, C.; JUCKSCH, I.; COSTA, L. M.; ALVARENGA, R. C.; NEVES, J. C. L. Crescimento e Acúmulo de Nutrientes por Plantas Espontâneas e por Leguminosas Utilizadas para adubação Verde. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 1, p. 171-177, 2000.

FEAM - Fundação Estadual do Meio Ambiente. Guia técnico ambiental da indústria de rochas ornamentais / Fundação Estadual do Meio Ambiente, Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte: FEAM; FIEMG, 2015. 60 p.

FERREIRA, D.F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciênc. agrotec.** [online], v.38, n.2, p. 109-112, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542014000200001>> Acesso em: 30 abr. 2018.

FERREIRA, E. M.; ANDRAUS, M. P.; CARDOSO, A. A.; COSTA, L. F. S. LÔBO, L. M.; LEANDRO, W. M. Recuperação de áreas degradadas, adubação verde e qualidade da água. Revista **Monografias Ambientais - REMOA** v. 15, n.1, p.228-246, jan-abr. 2016. Disponível em:

<<http://revistas.ufcg.edu.br/acsa/index.php/ACSA/article/view/916/pdf>>

Acesso em: 03 de out. de 2018.

FIGLIOLIA, M. B.; OLIVEIRA, E. C.; PIÑARODRIGUES, F. C. M. Análise de sementes. In: AGUIAR, I. B.; PIÑA-RODRIGUES, F. C. M.; FIGLIOLIA, M. B. (Coords.). **Sementes florestais tropicais**. Brasília: ABRATES, 1993. p.137-174.

GANDY, M. Recycling and the Politics of Urban Waste. London: Routledge. 1994. Disponível em: < <https://www.taylorfrancis.com/books/9781134162703>>. Acesso em: 01 nov. 2018.

GOTAAS, H. B. **Compostage et assainissement**. Organization Mondiale de la Santé. Genève, 1959. p.13-34.

GUARCONI, M. A.; FANTON, C. J. Resíduo de beneficiamento do granito como fertilizante alternativo na cultura do café. **Rev. Ciênc. Agron.**, Fortaleza, v. 42, n. 1, p. 16-26, Mar. 2011 . Disponível em:

<[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1806-66902011000100003&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-66902011000100003&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 22 Mai. 2018.

HOORNWEG, D.; BHADA-TATA, P.. **What a Waste: A Global Review of Solid Waste Management**. Urban Development Series Knowledge Paper. World Bank, Washington, DC, 2012.

JACOBI, P. R.; BESEN, G. R. Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 25, n. 71, p.135-158, Jan/Abr. 2011.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1985.

LIMA, R. C. O., NEVES, G. A., CARVALHO, J. B. Q. Durabilidade de tijolos de solo-cimento produzidos com resíduo de corte de granito. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, Paraíba, v. 5.2, p. 24-31, 2010.

MELLO-PEIXOTO, E. C. T. et al. Compostagem: construções e benefícios. In: Congresso Paranaense de Agroecologia, 1., 2014, Pinhais. Pinhais: **Cadernos de Agroecologia**, 2014. p. 1 - 5.

Ministério do Meio Ambiente (MMA); Centro de Estudos e Promoção da Agricultura de Grupo (CEPAGRO); Serviço Social Do Comércio (SESC). **Compostagem doméstica, comunitária e institucional de resíduos orgânicos: manual de orientação**. Brasília: MMA, 2017. 66 p.

NOGUEIRA, N.O., Oliveira, O.M., Martins, C.A.S., Bernardes, C.O. 2012. **Utilização de leguminosas para recuperação de áreas degradadas**. Enciclopédia biosfera, Centro Científico Conhecer, 8: 2121-2131.

NUNES, M. U. C. Compostagem de Resíduos para Produção de Adubo Orgânico na Pequena Propriedade. Circular Técnica 59 EMBRAPA. Aracaju, SE Dezembro, 2009. Disponível em: < [http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes\\_2010/ct\\_59.pdf](http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes_2010/ct_59.pdf)>. Acesso em: 22 mai. 2018.

OLIVEIRA, C. N.; QUEIRÓZ, Joedy Patrícia Cruz; RIBEIRO, RCC. Efeito da Fertilização do Solo com Resíduos de Rochas Ornamentais na Qualidade do Biodiesel Extraído. XVII Jornada de Iniciação Científica–CETEM, 2009.

ONWOSI, C. O.; IGBOKWE, V. C.; ODIMBA, J. N.; EKE, I. E.; NWANKWOALA, M. O.; IROH, I. N.; EZEUGU, L. I. **Composting technology in waste stabilization: On the methods, challenges and future prospects**. Department of Microbiology, Faculty of Biological Sciences, University of Nigeria, Nsukka, Enugu State, Nigeria, 2016.

PAULINO, G. M.; ALVES, J. R. A.; BARROSO, D. G.; URQUIAGA, S.; ESPINDOLA, J. A. A. Fixação biológica e transferência de nitrogênio por leguminosas em pomar orgânico de mangueira e gravioleira. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 44, n. 12, p. 1598-1607, Dez. 2009 . Disponível em:  
<[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-204X2009001200006&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2009001200006&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 03 Jun. 2018.  
<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2009001200006>.

PENTEADO, Silvio Roberto. **Introdução a agricultura orgânica**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2003.

PEOPLES, M. B.; CRASWELL, E. T. Biological nitrogen fixation: investments, expectations and actual contributions to agriculture. **Plant and Soil**, v.141, p.13-39, 1992.

PEREIRA, A. J.; GUERRA, J. G. M.; MOREIRA, G. F.; TEIXEIRA, M. G.; URQUIAGA, S.; POLIDORO, J. C.; ESPÍNDOLA, J. A. A. Desempenho agrônômico de *Crotalaria juncea* em diferentes arranjos populacionais e épocas do ano. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2005, 4p. (Comunicado Técnico 82).

PIOLLI, A. L.; CELESTINI, R. M.; MAGON, R. **Teoria e prática em recuperação de áreas degradadas**: plantando a semente de um mundo melhor. Serra Negra, SP, 2004. Apostila da Associação de Defesa do Meio Ambiente – Planeta Água. Disponível em:  
<[http://homologa.ambiente.sp.gov.br/EA/projetos/Apostila\\_Degrad.pdf](http://homologa.ambiente.sp.gov.br/EA/projetos/Apostila_Degrad.pdf)>. Acesso em: 30 abr. 2018.

RIBEIRO, K. D.; MENEZES, S. M.; MESQUITA, M. da G. B. F; SAMPAIO, F. M.T. **Propriedades físicas do solo, influenciadas pela distribuição de poros, de seis classes de solos da região de Lavras-MG**. *Ciênc. agrotec.* [online]. 2007, vol.31, n.4, pp.1167-1175. ISSN 1413-7054.

RODRIGUES, W. N. et al. Recuperação de áreas degradadas. In: MARTINS, L. D. et al. *Atualidades em desenvolvimento sustentável*. Manhuaçu: FACIG, 2012, p. 21-35.

SANTOS, A. T. L. et al. Aproveitamento da fração orgânica dos resíduos sólidos para produção composto orgânico. **Revista Brasileira de Ciências da Amazônia**, Rondônia, v. 3, n. 1, p.15-28, 2014.

SANTOS, H. M. N. dos. **Educação ambiental por meio da compostagem dos resíduos sólidos orgânicos em escolas públicas de Araguari-MG**. 2007. 160 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2007.

SILVA, A. A. A. Gestão de resíduos na indústria de rochas ornamentais, com enfoque para a lama abrasiva. In: CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO, 7., 2011, Rio de Janeiro. Anais eletrônicos... Rio de Janeiro: Excelência em Gestão, 2011. p. 1-19.

TAVARES, R. L. et al. **Curso de recuperação de áreas degradadas**: a visão da Ciência do Solo no contexto do diagnóstico, manejo, indicadores de monitoramento e estratégias de recuperação. Manual publicado pela EMBRAPA – Rio de Janeiro, 2008. 228p.

TOZSIN, G. et al. The effects of marble wastes on soil properties and hazelnut yield. **Journal of cleaner production**, v. 81, p. 146-149, 2014.

WUTKE, E.B. Adubação Verde, manejo da fitomassa e espécies utilizadas no Estado de São Paulo. In: WRITKE, E.B.; BULISANI, E.A.; MASCARENHAS, H.A.A. Curso de adubação verde no Instituto Agronômico. Campinas: Instituto Agronômico, 1993. p.17-29.

## APÊNDICE A – Análises estatísticas

**Tabela 1.** Análise de regressão quadrática para a variável Matéria Seca da Parte Aérea (MSPA) e Matéria Fresca da Parte Aérea (MFPA)

Variável	FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc*
MSPA	Tratamento	4	1.73056	0.433264	4.873	0.0066
	Erro	20	1.778200	0.088910		
	Total corrigido	24	3.511256			
	CV (%)	49,07				
MFPA	Tratamento	4	128.219176	32.054794	5.984	0.0025
	Erro	20	107.142040	5.357102		
	Total corrigido	24	235.361216			
	CV (%)	41,96				

\*Houve diferença estatística pelo Teste de Tukey (P<0,05)  
Fonte: SISVAR, 2018

**Tabela 2.** Análise de regressão quadrática para as variáveis: Altura (cm) e Diâmetro do colo (mm)

Variável	FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc*
Altura	Tratamento	4	7054.084704	1763.521176	9.527	0.0002
	Erro	20	3701.987520	185.099376		
	Total corrigido	24	10756.072224			
	CV (%)	27,82				
Diâmetro	Tratamento	4	14.901784	3.725446	6.768	0.0013
	Erro	20	11.009080	0.550454		
	Total corrigido	24	25.910864			
	CV (%)	29,08				

\*Houve diferença estatística pelo Teste de Tukey (P<0,05)  
Fonte: SISVAR, 2018