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

MAYRA BATISTA GOMES BRITO

DESENVOLVIMENTO DE LEGUMINOSA HERBÁCEA EM REJEITO DO ROMPIMENTO DA BARRAGEM DO FUNDÃO, ADUBADA COM COMPOSTO ORGÂNICO

BELO HORIZONTE – MG
2019

MAYRA BATISTA GOMES BRITO

DESENVOLVIMENTO DE LEGUMINOSA HERBÁCEA EM REJEITO DO ROMPIMENTO DA BARRAGEM DO FUNDÃO, ADUBADA COM COMPOSTO ORGÂNICO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária do CEFET– MG como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheira Ambiental e Sanitarista.

Orientadora: Profª. Drª. Valéria Cristina Palmeira Zago

BELO HORIZONTE – MG
2019

MAYRA BATISTA GOMES BRITO

DESENVOLVIMENTO DE LEGUMINOSA HERBÁCEA EM REJEITO DO ROMPIMENTO DA BARRAGEM DO FUNDÃO, ADUBADA COM COMPOSTO ORGÂNICO

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: 05/12/2019

Banca Examinadora:

_____

Profª. Drª. Valéria C. P. Zago – Presidente/Orientadora- CEFET-MG

_____

Drª. Fernanda Badotti – CEFET-MG – membro da banca

_____

Drª Luana Rafaela M. Wilda – CEFET-MG – membro da banca

AGRADECIMENTOS

Á Deus pela vida, proteção e concretização de um sonho.

Aos meus pais, Vânia e Reinaldo, por todo amor, carinho, cuidado, ensinamentos, confiança, incentivo e por acreditarem nesta conquista. Ao meu irmão, Bruno, pelo companheirismo, amizade e por me apoiar sempre. Vocês têm o meu respeito, admiração e amor infinito.

A minha orientadora, Profª. Drª Valéria Cristina Palmeira Zago, pela oportunidade e confiança, por toda atenção e empenho no desenvolvimento deste trabalho, pelos ensinamentos e incentivo durante toda a graduação.

Aos familiares e amigos pelo carinho, orações e amizade. Aos meus amigos do CEFET, em especial, Jomara Nogueira, Lucas Soares, Jennifer Oliveira, Frances Botelho, Débora Christine Borges, Ana Luíza Fadel, Laura Agapito, Regeane Gomes, Júnia Teixeira, Marcos Chaim, Mateus Merched, Marina Damasceno, Isadora Mendes, Luíza Barbosa e Fabíola Carvalho - obrigada por tornarem meus dias mais alegres e agradáveis, sejam por palavras, abraços, conselhos ou risos.

A todos os professores que me acompanharam durante a minha trajetória nos estudos, em especial, os professores do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária do CEFET-MG, por todo conhecimento compartilhado e pela formação humana e profissional.

Ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG) pelo ensino de qualidade, pela oportunidade de desenvolvimento deste Trabalho de Conclusão de Curso e de outras atividades acadêmicas.

Aos membros da banca examinadora, Drª.Luana Rafaela Maciel Wilda e Profª. Drª. Fernanda Badotti, por aceitarem o convite para avaliar e colaborar com este trabalho.

A Bioeng Consultoria Ambiental pela contribuição continua no meu desenvolvimento e aperfeiçoamento profissional.

A Thácita, Hugo, Ângelo, Fernando, Italo, Adilson e todos que de alguma maneira contribuíram para o desenvolvimento deste Trabalho de Conclusão de Curso. Muito Obrigada!

“Digo: o real não está na saída nem na chegada: ele se dispõe para a gente é no meio da travessia.”

Grandes Sertões Veredas

RESUMO

BRITO, Mayra Batista Gomes, *Desenvolvimento de leguminosa herbácea em rejeito do rompimento da barragem do Fundão, adubada com composto orgânico*. 2019. 57f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019.

O rejeito de mineração gerado no beneficiamento do minério de ferro apresenta-se como um grande passivo ambiental. A disposição de maneira inadequada deste resíduo pode gerar graves danos ambietais dentre eles a degradação do solo, como o ocorrido no subdistrito de Bento Rodrigues, no Município de Mariana-MG. Diante deste contexto, é fundamental estudar e entender a dinâmica deste novo ambiente que se encontra alterado, a fim de propor alternativas adequadas que visam minimizar a degradação solo e que ofereçam condições básicas para que as relações ecológicas e qualidade química e física do solo sejam retomadas. O desenvolvimento de tecnologias de recuperação degradadas adaptadas as especificidades do local em que serão aplicadas é essencial para atingir a eficiência da remediação do solo. O objetivo deste trabalho foi avaliar o desenvolvimento de leguminosa herbácea quanto ao seu crescimento vegetativo em diferentes dosagens de rejeito e composto orgânico. O delineamento experimental foi conduzido inteiramente casualizado, com 5 tratamentos em doses decrescentes de rejeito (100%, 75%, 50%, 25% e 0%), associados a composto orgânico em doses complementares (0%, 25%, 50%, 75% e 100%), com 4 repetições, utilizando a espécie de leguminosa *Canavalia ensiformis.* Os parâmetros de desenvolvimento vegetativo foram comparados em função dos substratos utilizados por meio de análises estatísticas. As caracterizações físicas e químicas do rejeito e composto orgânico, bem como a determinação dos teores de metais pesados nas folhas e raízes foram determinados por análises laboratoriais. O substrato com 100% rejeito apresentou menores valores de altura da planta e de produção de Matéria Fresca da Parte Aérea (MFPA), Matéria Seca da Parte Aérea (MSPA) e Matéria Fresca da Raíz (MFR) em relação aos substratos contendo maiores proporções de composto orgânico. O composto orgânico adicionado ao rejeito favoreceu a produção de biomassa de *Canavalia ensiformis,* fornecendo macronutrientes e micronutrientes. Além disso, auxiliou na melhoria da estruturação física do rejeito.

Palavras-Chave: Recuperação de Áreas Degradadas; Leguminosa herbácea; Rejeito de Mineração; Composto Orgânico; Adubação verde.

ABSTRACT

BRITO, Mayra Batista Gomes, *Herbaceous legume development in tailings from Fundão dam disruption, fertilized with organic compost. 2019*. 57f. Monography (Undergraduate in Environmental and Sanitary Engineering) - Department of Environmental Science and Technology, Federal Center of Technological Education of Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019.

Mining tailings generated from iron ore processing represents a major environmental liability. The inadequate disposal of this waste can result in serious environmental harms, such as soil degradation, as occurred in the subdistrict of Bento Rodrigues, located in Mariana city, Minas Gerais. Given this context, it is essential to study and understand the dynamics of this new altered environment, in order to propose appropriate alternatives that aim to minimize soil degradation and provide basic conditions for the ecological relations and the chemical and physical quality of the soil to be resumed. The development of recovery technologies adapted to the specificities of the site where they will be applied is essential for achieving soil remediation efficiency. The objective of this work was to evaluate the development of herbaceous legume in terms of its vegetative growth at different dosages of tailings and organic compost. The experimental design was completely randomized., with 5 treatments in decreasing doses of tailings (100%, 75%, 50%, 25% e 0%), associated with organic compound in complementary doses (0%, 25%, 50%, 75% and 100%), with 4 repetitions, using the legume species *Canavalia ensiformis*. The parameters of vegetative development were compared depending on the substrates used by statistical analysis. The physical and chemical characterization of the tailings and organic compost, as well as the determination of leaf and root heavy metal contents were determined by laboratory analysis. The substrate with 100% tailings showed lower values of plant height and production of Fresh Matter of the Aerial Part (FMAP), Dry Matter of the Aerial Part (DMAP) and Root Fresh Matter (RFM), when compared to substrates containing higher proportions of organic compost. The organic compound added to the tailings favored the biomass production of *Canavalia ensiformis*, providing macronutrients and micronutrients. It also helped to improve the physical structure of the tailings.

Keywords: Recovery of Degraded Areas; Herbaceous Legume; Mining Tailings; Organic Compost; Green Manure.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

Al	Alumínio
Al_2O_3	Óxido de Alumínio
C	Carbono
ºC	Grau *Celsius*
Ca	Cálcio
C. ensiformis	*Canavalia ensiformis*
Cd	Cádmio
CEFET-MG	Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais
CFSEMG	Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais
cm	Centímetro
cmol.c/dm^3	Centimol de carga/ Decímetro Cúbico
C/N	Carbono / Nitrogênio
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
Cr	Crômio
CTC	Capacidade de troca de cátions
Cu	Cobre
dag/kg	Decagrama/Quilograma
dm^3	Decímetro cúbico
DN COPAM/CERH	Deliberação Normativa Conjunta do Conselho Estadual de Política Ambiental / Conselho Estadual de Recursos Hídricos
EMBRAPA	Empresa Brasileira de pesquisa Agropecuária
FB	Fator de Bioacumulação
Fe	Ferro
Fe_2O_3	Óxido de ferro
FRX	Fluorescência de raio X
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente
ICMBIO	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
IMA	Instituto Mineiro de Agropecuária
IN	Instrução Normativa
K	Potássio
KCl	Cloreto de potássio

K_2O	Óxido de potássio
MAPA	Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento
MFPA	Matéria fresca da parte aérea
MFR	Matéria fresca da raiz
MG	Minas Gerais
Mg	Magnésio
M.O.	Matéria Orgânica
m^3	Metro cúbico
mm	Milímetro
mg/dm^3	Miligrama / Decímetro Cúbico
mg/kg	Miligrama / Quilograma
mL	Mililitro
Mn	Manganês
MnO	Óxido de manganês
MSPA	Matéria seca da parte aérea
MSR	Matéria seca da raiz
N	Nitrogênio
Na	Sódio
Na^+	Íon Sódio
NaOH	Hidróxido de Sódio
ND	Não determinado
P	Fósforo
Pb	Chumbo
pH	Potencial de hidrogênionico
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
P_2O_5	Óxido de fósforo
Si	Silício
SiO_2	Óxido de silício
UFLA	Universidade Federal de Lavras
Zn	Zinco

LISTA DE SÍMBOLOS

*	Asterisco
®	Marca registrada
%	Porcentagem

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Compostagem em bags dos resíduos oriundos do preparo de refeições e de jardinagem do campus II do CEFET-MG 25
Figura 2 - Rejeito (a). Composto Orgânico (b).....26
Figura 3 - Ilustração da proporção dos substratos para cada tratamento 27
Figura 4 - Sementes de *Canavalia ensiformis* 28
Figura 5 - Ilustração da semeadura 28
Figura 6 - Substrato após a rega 29
Figura 7 - Monitoramento da germinação e desenvolvimento *Canavalia ensiformis* 29
Figura 8 - Desbaste da *Canavalia ensiformis.* Antes do desbaste (a). Pós desbaste (b) 30
Figura 9 - Verificação da altura do caule principal com auxilio de uma régua (a). Verificação do diâmetro médio do caule, utilizando paquímetro (b).....31
Figura 10 - Região onde foi realizado corte para separação da parte aérea e raízes 31
Figura 11 - Retirada das raízes do solo (a). Raízes sendo lavadas (b). Raiz após a lavagem (c). Raiz disposto em papel toalha para retirada do excesso de água da lavagem (d) 32
Figura 12 - Avaliação do peso de MFPA 33
Figura 13 - Amostras de MFPA na estufa com ventilação de ar forçado para procedimento de secagem 33
Figura 14 - Aparência do Rejeito Seco (a). Aparência do Rejeito Molhado (b) 37
Figura 15 - Comparação da perda de substrato de cada tratamento (feita ao final do ensaio logo após a coleta da parte aérea), variação das doses de rejeito 100% a 0% da esquerda para direita 38
Figura 16 - Perda de substrato durante a irrigação das mudas (a). Demonstração da perda de rejeito pelos furos do vaso de polietileno (b).....38
Figura 17 - Comparação de cobertura das raízes. - Tratamento 100% rejeito (a). Tratamento 75% rejeito + 25% composto (b). 39
Figura 18 - Comparação do acúmulo de água entre os diversos tratamentos (a).

Tratamento 100% rejeito com acumulo de água (b). Tratamento 100% rejeito dia posteior a irrigação ainda muito úmido (c) 41
Figura 19 - Curvas de regressão para *Canavalia ensiformis*, em função das proporções de rejeito e composto orgânico nos substratos 43
Figura 20 - Desenvolvimento das raízes para os diferentes tipos de tratamento para *Canavalia ensiformis* 45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Delineamento do experimento. 26
Tabela 2 - Resultados das análises físicas e químicas do rejeito do rompimento da barragem do Fundão, Bento Rodrigues, Mariana-MG e do composto orgânico produzido no CEFET-MG. 35
Tabela 3 - Valores médios para germinação, altura, diâmetro de caule, número de folhas, MFPA, MSPA, MFR e MSR de *Canavalia ensiformis* submetidas a diferentes doses de Rejeito associados a Composto orgânico em doses complementares. 42
Tabela 4 – Fator de Bioacumulação (FB) obtido para *Canavalia ensiformis*.....47
Tabela 5 - Fracionamento dos elementos químicos entre raiz e parte aérea da *Canavalia ensiformis* 47

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 15
2 OBJETIVOS 17
2.1 Objetivo geral 17
2.2 Objetivos específicos 17
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 18
3.1 Rejeito de mineração e a degradação ambiental 18
3.2 Recuperação de áreas degradadas 19
3.2.1 Compostagem e os fertilizantes orgânicos 21
3.2.2 A utilização de leguminosas na adubação verde 22
4 METODOLOGIA 24
4.1 Coleta e Caracterização do rejeito 24
4.2 Coleta e caracterização do composto orgânico 24
4.3 Delineamento experimental 25
4.4 Desenvolvimento da planta 30
4.5 Análise química dos tecidos vegetais de *Canavalia ensiformis* 34
4.6 Cálculo do Fator de Bioacumulação (FB) 34
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO 35
5.1 Características dos Substratos 35
5.2 Desenvolvimento vegetativo e produção de *Canavalia ensiformis* 42
5.3 Concentração de elementos químicos na matéria seca de *Canavalia ensiformis* 46
6 CONCLUSÃO 51
7 REFERÊNCIAS 52

1 INTRODUÇÃO

No dia 5 de novembro de 2015, ocorreu um dos eventos mais impactantes no cenário ambiental, econômico e social do país. Uma barragem de rejeitos de mineração, localizada na unidade industrial de Germano, se rompeu. A lama proveniente deste rompimento provocou uma enxurrada de rejeitos de mineração atingiram o subdistrito de Bento Rodrigues, caracterizando-se como um dos maiores desastres ambientais ocorridas no Brasil (IBAMA, 2015).

Os impactos imediatos provocados foram à destruição completa do subdistrito, deixando mortos e desaparecidos, populações desabrigadas e desalojadas, sem água e luz elétrica. O escoamento da lama continuou por diversos municípios dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo, até chegar ao mar. Ao longo desse trajeto, a lama foi causando diversos impactos ambientais, como a contaminação das águas e dos solos; atingindo diretamente atividades econômicas, de pesca, de turismo, de agricultura e também de comunidades ribeirinhas e comunidade indígena (IBAMA, 2015).

De acordo com laudo de análise de solo, realizado pela Embrapa, logo após o rompimento da barragem, as amostras dos rejeitos apontavam valores inferiores para metais pesados àqueles adotados como referência para avaliação da contaminação no solo, de acordo com o CONAMA. Entretanto, solos que antes eram naturalmente férteis, após serem cobertos pela lama apresentaram baixos valores para os principais nutrientes do solo, sendo a fertilidade altamente comprometida. Os baixos índices de matéria orgânica, abaixo de 0,1% de C, e as baixas concentrações de argila do rejeito comprometeram a capacidade de troca catiônica do solo. A presença de altos teores de sódio trocável, prejudicial às plantas, e alterações no pH do solo também foram relatados. A condição de desestruturação física e química exige à aplicação de medidas corretivas adequadas as características desta nova cobertura do solo, sendo a aplicação de material orgânico fundamental (EMBRAPA, 2015).

Segundo Iglesias (2013), solos contaminados devido à atividade de mineração, geralmente estão tão degradados, que não possuem mais capacidade de desenvolver plenamente e de forma sustentável, as suas funções ecológicas potenciais.

A enxurrada de lama e rejeitos também destruiu lavouras anuais, hortaliças, frutíferas, eucalipto, pastagens, capineiras, além de matas ciliares em grandes extensões, em todo o percurso entre a barragem de Fundão em Mariana e a barragem de Candonga em Rio Doce. Estudos aprofundados em recuperação de áreas degradadas, manejos ecológicos do solo e adaptação de plantas à situação atual são basilares para o trabalho de correção (DA FORÇA-TAREFA, 2016). A perda da principal fonte de subsistência de muitos agricultores familiares é uma das principais consequências sociais dessa catástrofe.

A recuperação das áreas atingidas precisará incluir uma ampla gama de tecnologias, que associadas possam estabilizar e conter os rejeitos; além de reconstruir condições mínimas ecológicas necessárias para restabelecer a resiliência ecológica.

O objetivo final da recuperação é melhorar as características do ambiente, de tal forma que um ecossistema autossustentável possa se desenvolver. A recolonização das espécies autóctones da flora e da fauna dependerá dos estoques de carbono orgânico e nutrientes do solo (AKALA; LAL, 2000).

As espécies leguminosas herbáceas têm grande capacidade de incremento de biomassa e pela sua capacidade de realizar simbioses com microrganismos do solo, reiniciar os ciclos biogeoquímicos dos nutrientes, especialmente, o nitrogênio. Esse estrato herbáceo prepara a base necessária para que espécies mais exigentes se fixem posteriormente.

Ademais, associar a utilização de leguminosas herbáceas ao uso de adubos orgânicos, em condições de degradação ambiental, aporta a maioria dos nutrientes necessários às plantas, inexistentes no ambiente. Além disso, melhoram as características físicas do solo, como porosidade, estabilidade dos agregados, armazenamento de água, etc (TEJADA *et al*., 2009; HERNANDEZ *et al*, 2015).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar o desenvolvimento inicial de leguminosa herbácea *Canavalia ensiformis*, crescendo sobre rejeito oriundo do rompimento da barragem de Fundão, adubado com doses crescentes de composto orgânico.

2.2 Objetivos específicos

- Medir os parâmetros de desenvolvimento vegetativo, comparando o desenvolvimento em função dos substratos utilizados;
- Analisar os teores de metais pesados nas folhas e raízes.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Rejeito de mineração e a degradação ambiental

Os minerais raramente encontram-se puros na natureza para sua comercialização, além do processo de exploração, é necessário também que passe pela fase do beneficiamento (PORTES, 2013).

No processo de beneficiamento do mineiro de ferro é gerado um dos principais passivos ambientais: a produção de resíduos em grandes volumes. Algumas metodologias de beneficiamento do minério utilizam água e produtos químicos na planta para o tratamento, produzindo o resíduo chamado de rejeito que é armazenado em barragens (ANDRADE, 2014).

Barragens são estruturas construídas para armazenar os resíduos de mineração. Não são a única forma e nem a mais adequada para disposição de rejeitos, mas trata-se do método mais utilizado devido ao menor custo quando comparado a outros métodos (DUARTE, 2008).

A cidade de Mariana possui importantes jazidas de minerais metálicos, sendo a extração do minério de ferro a principal atividade industrial do município, forte geradora de empregos e receita pública (PMMARIANA-MG, 2019). Entre os municípios de Mariana e Ouro Preto está localizado o Complexo Minerário de Alegria. A mina de Germano, que possui reservas de minério de ferro estimadas em 400 milhões de toneladas, pertence ao complexo de Alegria (SALINAS, 2016).

Em 2007, com objetivo de atender a demanda de disposição dos resíduos gerados no processo de produção do minério de ferro, foi instalada a barragem de Fundão. Neste período, a barragem de Germano que era utilizada para disposição dos rejeitos já estava com sua capacidade de armazenar próxima do limite. A Barragem de Fundão armazenava, no vale do córrego Fundão, rejeitos arenosos e a lama proveniente da planta de beneficiamento de minério da Samarco Mineradora (MANEJO, 2011).

Em 2015, as estruturas do complexo de Germano possuíam três barragens de disposição de rejeito à montante: Germano, com capacidade de 116 milhões de metros cúbicos; Santarém, com capacidade de 7 milhões de metros cúbicos; e Fundão, com capacidade de 55 milhões de metros cúbicos (SALINAS, 2016).

No dia 05/11/2015, a estrutura da barragem de Fundão que segurava aproximadamente 50 milhões m³ de rejeitos rompeu, desses estima-se que 34 milhões m³ foram lançados no meio ambiente após a tragédia (IBAMA, 2015). Os rejeitos, advindos do rompimento de Fundão, formaram uma avalanche de água, lama e detritos que destruiu o subdistrito de Bento Rodrigues. O material depositou-se ao longo da calha do Rio Gualaxo do Norte, soterrando o vilarejo (LOPES, 2016).

De acordo com IBAMA (2015), a destruição causada pelo rompimento da barragem de Fundão foi de 1.469 hectares, devastando matas ciliares remanescentes (fragmentos/mosaicos), ocorreu soterramento de espécies de menor porte pelo aporte de rejeitos e também a supressão de indivíduos arbóreos.

Além do cenário visual de destruição, os rejeitos de mineração de ferro também possuem potencial para afetar o solo no decorrer do tempo, pois se trata de um material pobre em matéria orgânica, promovendo a desestruturação química do solo alterando o pH. Essas mudanças de características físico-químicas do solo podem dificultar o desenvolvimento e a recuperação das espécies que ali se encontravam (IBAMA, 2015).

Diante deste contexto, é fundamental estudar e entender a dinâmica deste novo ambiente que se encontra alterado, a fim de propor alternativas adequadas que visam minimizar a degradação solo e que ofereçam condições básicas para que as relações ecológicas e qualidade química e física do solo sejam retomadas. O desenvolvimento de tecnologias adaptadas as especificidades do meio em que serão aplicadas é essencial para atingir a eficiência da remediação do solo.

3.2 Recuperação de áreas degradadas

A recuperação de uma área degradada consiste na restituição de um ecossistema ou de uma população degradada, que poderá ser diferente de sua condição original (BRASIL, 2000).

Um ambiente degradado identifica-se pela perda das adaptações ecológicas, a partir das características físicas, químicas e biológicas desenvolvidas durante milhões de anos. Por exemplo, quando se observa destruição, remoção ou expulsão da vegetação e fauna nativa, assim como a perda da porção fértil do solo por remoção ou soterramento e o distúrbio do regime de vazão do sistema hídrico (IBAMA, 1990).

De acordo ICMBIO (2014), uma área degradada é aquela onde não é impossível retornar por uma trajetória natural a um ecossistema no seu estado inicial, tratando-se de uma área que dificilmente será restaurada, apenas recuperada. Para Reis*et al.*(1999), trata-se de uma área onde não é possível, ou é reduzida drasticamente a capacidade de retornar, por meio natural, ao estado original.

Souza (2004) ressalta que a intensidade da degradação pode impedir sua recuperação natural ou ser extremamente lenta, de modo a ser necessária a utilização de técnicas/tecnologias ambientais para promover a recuperação e restabelecimento desse ecossistema.

A recuperação do ambiente significada que sua utilização poderá ser retornada de acordo com um plano preestabelecido para o seu uso. Assim, requer uma condição estável em conformidade dos valores ambientais, estéticos e sociais da circunvizinhança. Em um ambiente recuperado, há o desenvolvimento de um novo solo e paisagem, trata-se de uma área que deve apresentar condições mínimas para estabelecer um novo equilíbrio dinâmico (IBAMA, 1990).

O solo é uma estrutura complexa onde há constantes interações químicas, físicas e biológicas que funcionam harmonicamente, qualquer alteração em alguma dessas propriedades ocasionam uma situação de desequilíbrio que interfere diretamente na capacidade reprodutiva natural do solo (MACHADO *et al*., 2014).

Existe uma variedade de técnicas e estratégias para a recuperação de áreas degradadas, que visam restabelecer o equilíbrio químico, físico e biológico do solo. As características das condições de degradação do ambiente influenciam diretamente na escolha da melhor técnica/estratégica para sua recuperação (TAVARES *et al*., 2008).

Porém, em alguns casos, a utilização de mais de uma técnica, ou seja, a associação de técnicas pode ser necessária e interessante para viabilizar e acelerar o processo de recuperação de uma área. A introdução de espécies de leguminosas arbóreas e arbustiva que consigam sobreviver e crescer em condições adversas, associada à adução orgânica pode apresentar-se como uma alternativa para a recuperação de áreas degradadas. Franco *et al.* (1992), afirma que a utilização de leguminosas associadas a composto orgânico apresenta-se como uma opção mais barata para a revegetação de áreas degradadas.

3.2.1 Compostagem e os fertilizantes orgânicos

A compostagem da fração orgânica dos resíduos faz parte do rol de obrigações dos municípios instituída pela Lei 12.305/2010. Ainda de acordo com as definições de *reciclagem* e *rejeitos* da PNRS (Art. 3º, incisos XIV e XV), processos que promovam a transformação de resíduos orgânicos em adubos e fertilizantes orgânicos também podem ser entendidos como processos de reciclagem (BRASIL, 2010).

De acordo com definição apresentada pelo Decreto nº 4954 de 2004 que aprova e regulamenta a Lei nº 6894 de 16/12/80, o fertilizante orgânico é um produto de natureza fundamentalmente orgânica fornecedora de um ou mais nutrientes para plantas, sendo obtido por processo físico, químico, físico-químico ou bioquímico, natural ou controlado, a partir de matérias-primas de origem industrial, urbana ou rural, vegetal ou animal, enriquecido ou não de nutrientes minerais (BRASIL, 2004).

Além de produzir os fertilizantes orgânicos, a compostagem apresenta-se como uma alternativa para diminuir a quantidade de resíduos sólidos que são direcionados aos aterros sanitários, pois os resíduos orgânicos representam metade dos resíduos sólidos urbanos gerados no Brasil. Essa tecnologia de reciclagem de resíduos orgânicos corresponde a uma alternativa de gestão e poderia reciclar mais de 50% do total de resíduos sólidos urbanos gerados no Brasil (MMA, 2019).

Kiehl (2002) define a compostagem como um processo de decomposição controlada realizada pela ação de microrganismos, que oxidam e oxigenam uma massa heterogênea de matéria orgânica no estado sólido e úmido. A partir do controle de todas as etapas e fatores que afetam o processo de compostagem, é obtido o composto orgânico que pode ser utilizado como fertilizantes orgânicos, pois apresenta em sua composição: nutrientes (sais minerais) que auxiliam no crescimento das plantas e húmus que podem melhorar as condições físicas, químicas e biológicas do solo.

Os benefícios da aplicação para a estrutura física do solo são o acréscimo de matéria orgânica, melhoria da estrutura do solo, aumento da retenção de água, porosidade e da infiltração da água e a redução da compactação e da erosão. Quanto aos parâmetros químicos há o aumento da capacidade de retenção de cátions, fornecimento de macro e micronutrientes, liberação gradativa de nutrientes

e redução da fixação de fósforo(P). Em relação aos biológicos, correspondem ao aumento da vida do solo com melhoria da microbiota (PENTEADO, 2006).

3.2.2 A utilização de leguminosas na adubação verde

A técnica de adubação verde corresponde ao uso de espécies vegetais para reciclar nutrientes do solo e/ou fixar nitrogênio atmosférico. A adubação verde pode recuperar a fertilidade do solo, pois recicla e mobiliza nutrientes, aumenta o teor de matéria orgânica, a capacidade de troca de cátions, reduz os teores de alumínio trocável, ajuda no controle de erosão do solo e reduz ou elimina camadas compactadas do solo (CARVALHO *et al.*,1999; BERTONI; LOMBARDI-NETO, 2010).

Ao longo do seu ciclo de vida, a planta produz biomassa a partir da fotossíntese. Essa biomassa pode ser introduzida ao solo por meio dos exsudatos produzidos, células desprendidas pelas raízes e pela decomposição do vegetal após sua morte. Esses processos de transferência de biomassa da planta para o solo aumentam o teor de matéria orgânica do solo, que tende a elevar a agregação do mesmo, além de melhorar a drenagem e aeração (MACHADO, 2014).

As leguminosas são comumente utilizadas como adubos verdes, pois devido à deposição das folhas com baixa relação C/N e o crescimento das raízes, estabilizam o solo e aumentam a atividade biológica criando condições favoráveis para o desenvolvimento de espécies mais exigentes (FRANCO *et al.*, 1992).

Além disso, as leguminosas possuem a capacidade de converter nitrogênio, na forma de gás presente na atmosfera (N_2), em nitrogênio solúvel e disponível no solo. Esse processo é chamado fixação biológica de nitrogênio ocorre pela característica de associação das raízes com as bactérias fixadoras de nitrogênio dos gêneros *Rhizobium*, *Sinorhizobium*, *Bradyrhizobium, Azorhizobium, Mesorhizobium, Methylobacterium*e e outros (GUARINO, 2016).

Pereira (2008) cita algumas espécies de leguminosas que podem ser utilizadas na adubação verde entre elas a Crotalária juncea (*Crotalaria juncea*) e o Feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*), pois apresentam eficiente desenvolvimento vegetativo e possuem tolerância a: altas temperaturas, solos com baixa fertilidade e a períodos de seca.

A *Canavalia ensiformis* é uma espécie de leguminosa originária da América Tropical, planta anual, de crescimento determinado, herbácea, atingindo de 0,60 a

1,20 de altura. É frequetemente utilizada na adubação verde, com objetivo de aumentar a fertilidade do solo e melhorar suas características químicas, físicas e biológicas (PEREIRA, 2006). Kiehl (2001) apresenta a composição química (base seca) de *Canavalia ensiformis*: Matéria orgânica 88, 54 (%); Nitrogênio (N) 2,55 (%); Relação carbono nitrogênio (C/N) 19/1; Óxido de fósforo 0,50 (%); Óxido de potássio 2,41.

4 METODOLOGIA

4.1 Coleta e Caracterização do rejeito

O rejeito utilizado como substrato para o desenvolvimento das plantas foi coletado no dia 23 de Outubro de 2017, no subdistrito de Bento Rodrigues, no Município de Mariana-MG, localizado na parte nordeste do Quadrilátero Ferrífero de Minas Gerais, pertence à Bacia Hidrográfica do Rio Doce. O principal curso d'água é o Rio Carmo que possui dois afluentes: Gualaxo do Norte e Gualaxo do Sul (PMMARIANA-MG, 2019).

Uma amostra do material coletado foi encaminhada ao Laboratório de Química Agropecuária do Instituto Mineiro de Agropecuária (IMA) para caracterização quanto a Granulometria, Matéria Orgânica, Capacidade de Troca Catiônica e Fertilidade (macro e micronutrientes).

Análises de quantificação dos componentes químicos e dos óxidos foram feitas, através de Fluorescência de Raio X (FRX) presente na amostra de rejeito, no Laboratório de Caracterização de Materiais do Departamento de Engenharia de Materiais, do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Campus I. Os resultados foram gerados por meio do equipamento EDX-720, marca Shimadzu, atmosfera a ar e colimador de 3 mm. O ensaio foi realizado à temperatura ambiente 22,5°C.

4.2 Coleta e caracterização do composto orgânico

O composto orgânico utilizado foi produzido em composteiras em *bags* (Figura 1), utilizando os resíduos orgânicos vegetais oriundos do preparo das refeições do restaurante universitário e de jardinagem do *campus II*, do CEFET-MG.

Figura 1 – Compostagem em *bags* dos resíduos oriundos do preparo de refeições e de jardinagem do *campus II* do CEFET-MG.

Fonte: Projeto de compostagem CEFET–MG, 2017.

Uma amostra do composto orgânico foi coletada e encaminhada, ao Laboratório Oficial de Fertilizantes e Corretivos (MAPA), para caracterização quanto à matéria orgânica, fertilidade e micronutrientes.

4.3 Delineamento experimental

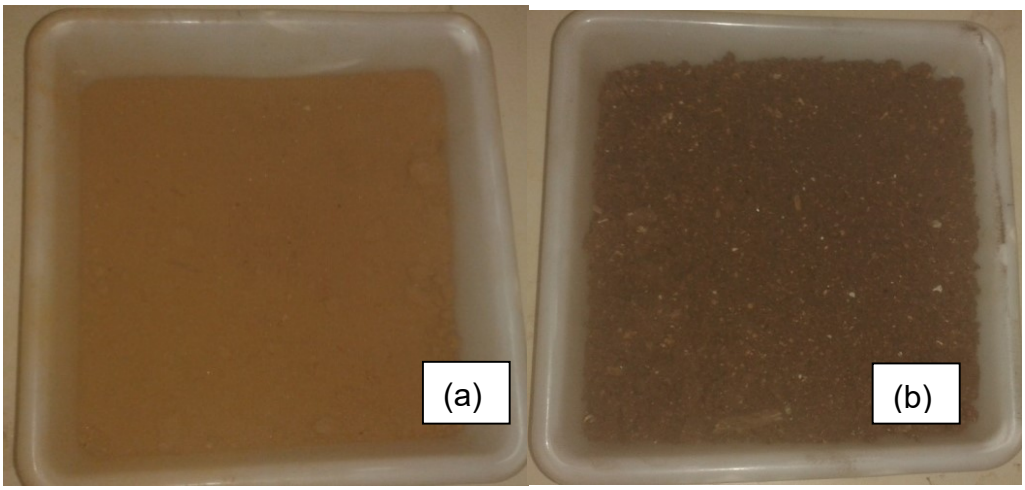
A prática experimental foi conduzida no *campus I*, do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET/MG, entre os meses de Setembro a Dezembro de 2018. O ensaio foi realizado com a leguminosa herbácea (*Canavalia ensiformis)*. O delineamento experimental do ensaio foi inteiramente casualizado, com 5 tratamentos, sendo eles a combinação de doses decrescentes de rejeito (100%, 75%, 50% , 25% e 0%) associados a doses complementares de composto orgânico (0%, 25%, 50%, 75% e 100%), com quatro repetições (Tabela 1).

Tabela 1- Delineamento do experimento.

DELINEAMENTO DO EXPERIMENTO				
Espécie de Leguminosa	Tratamento	Rejeito	Composto Orgânico	Número de Repetições
Ensaio – Canavalia ensiformis	1	100%	0%	4
	2	75%	25%	4
	3	50%	50%	4
	4	25%	75%	4
	5	0%	100%	4

A Figura 2 (a) a seguir corresponde ao rejeito, e a Figura 2 (b) ao composto orgânico utilizados como substratos no experimento.

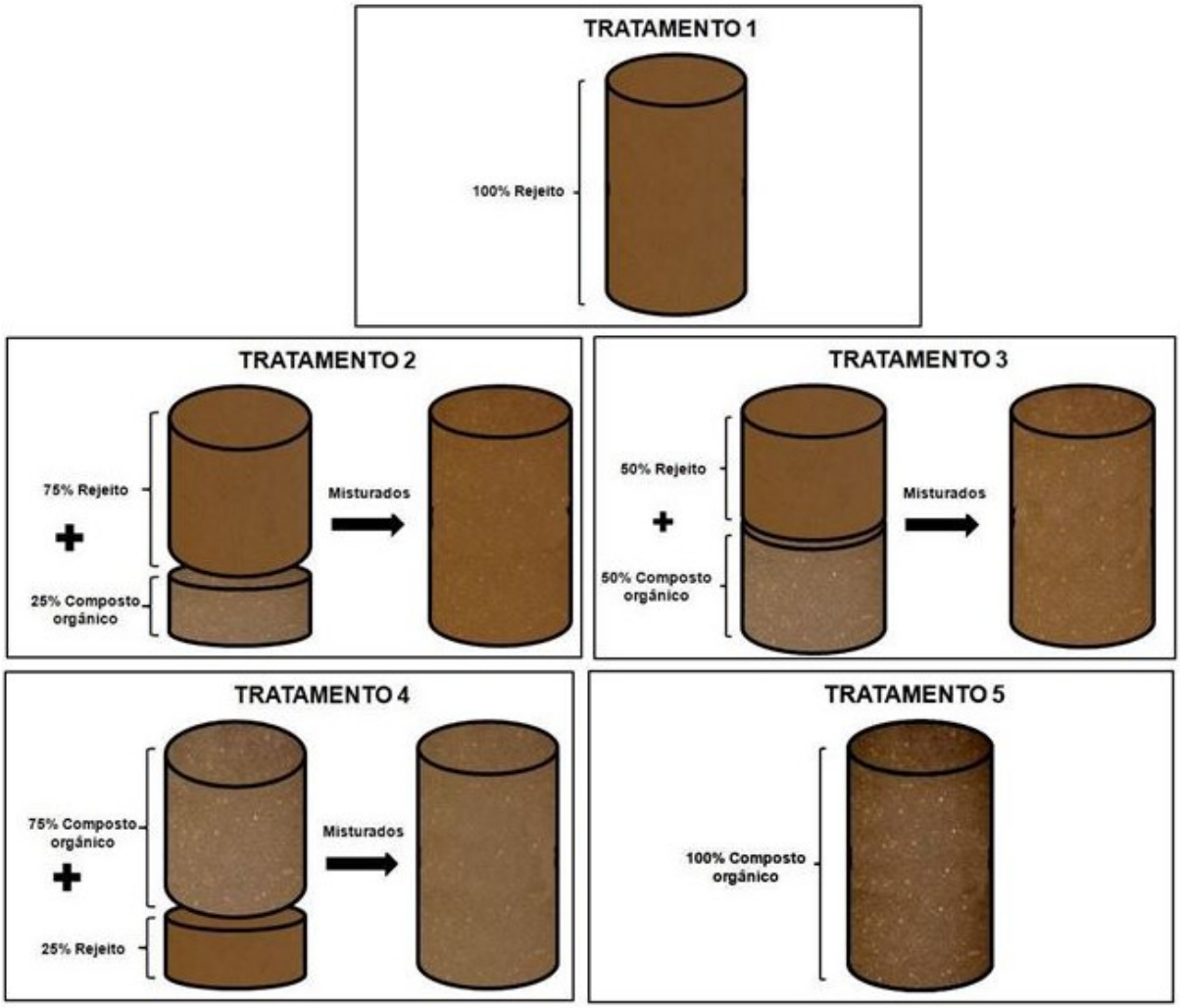
Figura 2 - Rejeito (a). Composto Orgânico (b).



Os substratos foram dispostos em vasos de polietileno com 11,5 cm de diâmetro, 15 cm de altura e volume de 1,7 dm^3. Cada vaso foi identificado de acordo com o tratamento e repetição. Por meio do peso de cada material (rejeito e composto) foram definidas as proporções para cada tratamento. Os vasos que receberam o tratamento 100% rejeito possuíam aproximadamente 2,17 kg de rejeito.

A Figura 3 ilustra como foi feita a proporção do substrato (rejeito e/ou composto orgânico) no vaso de polietileno. Nos vasos em que havia doses de ambos os substratos ocorreu à mistura e posterior disposição no recipiente. E, após 10 dias de descanso para reação entre substratos, no dia 16 de Setembro de 2018, procedeu-se a semeadura das sementes de *Canavalia ensiformis*.

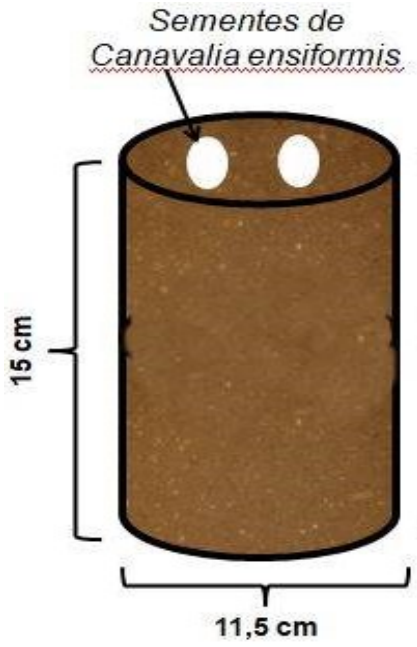
Figura 3 - Ilustração da proporção dos substratos para cada tratamento.



As sementes da leguminosa (Figura 4) foram selecionadas manualmente, descartando-se aquelas que eventualmente apresentassem injúrias ou deformações. Foram utilizadas 2 sementes de Canavalia ensiformis por vaso (Figura 5).

Figura 4 - Sementes de *Canavalia ensiformis*.

Figura 5 - Ilustração da semeadura.



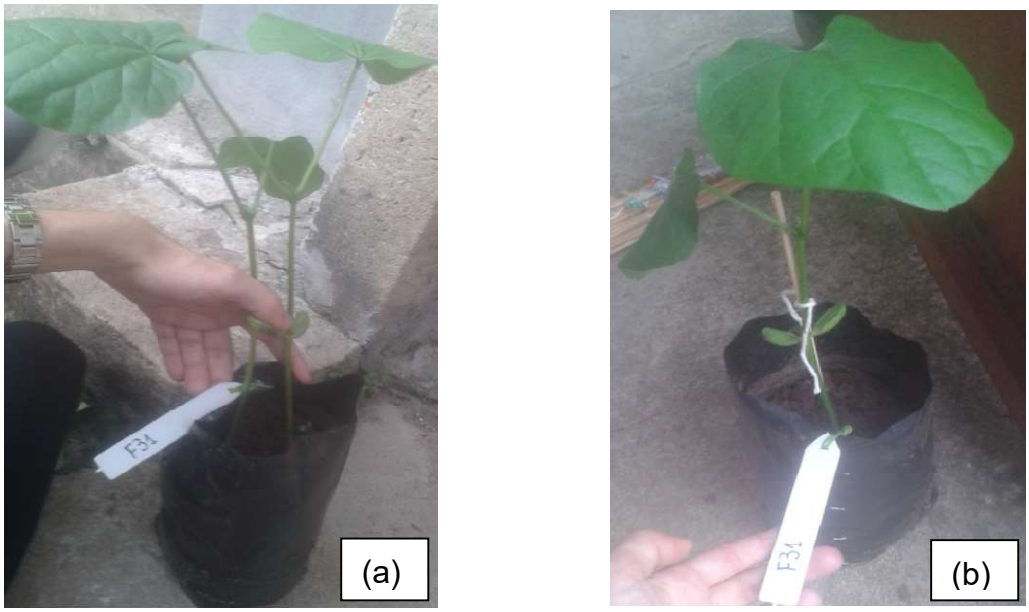
Depois de finalizada a semeadura, os vasos de polietileno foram dispostos em uma bancada com cobertura feita por um sombrite. Os vasos foram irrigados diariamente com exceção dos domingos. Cada vaso recebia a mesma quantidade de água, aproximadamente 250 mL (Figura 6). Diariamente, avaliou-se a germinação em cada vaso (Figura 7).

Figura 6 - Substrato após a rega

Figura 7 - Monitoramento da germinação e desenvolvimento *Canavalia ensiformis*

Decorridos 14 dias após a emergência, foi realizado o desbaste dos indivíduos de *Canavalia ensiformis*, mantendo-se somente um indivíduo por vaso (Figura 8).

Figura 8 - Desbaste da *Canavalia ensiformis.* Antes do desbaste (a). Pós desbaste (b).



4.4 Desenvolvimento da planta

Ao final de 73 dias, após a semeadura, as plantas foram coletadas. Em seguida verificou-se o número de folhas, o diâmetro médio do caule, a altura do caule principal (a partir do “colo” da parte aérea), utilizando régua e paquímetro (Figura 9). A parte aérea foi separada das raízes com uso de uma tesoura, por meio de um corte rente ao “colo” da parte aérea (Figura 10). Posteriormente às raízes foram retiradas do solo, lavadas com água corrente e dispostas em papel toalha para retirada do excesso de água da lavagem (Figura 11).

Figura 9– Verificação da altura do caule principal com auxilio de uma régua (a). Verificação do diâmetro médio do caule, utilizando paquímetro (b).

Figura 10– Região onde foi realizado corte para separação da parte aérea e raízes.

Figura 11 - Retirada das raízes do solo (a). Raízes sendo lavadas (b). Raiz após a lavagem (c). Raiz disposto em papel toalha para retirada do excesso de água da lavagem (d).

Em seguida, as plantas foram pesadas para determinação da matéria fresca da parte aérea (MFPA) e matéria fresca das raízes (MFR) utilizando balança eletrônica de precisão (Figura 12). Posteriormente, as amostras de MFPA e de MFR foram acondicionadas em sacos de papel e direcionadas para secagem em estufa com ventilação de ar forçado, até massa constante a 65ºC (Figura 13). Obtido peso constante, as amostras foram retiradas da estufa e pesadas para a determinação da matéria seca da parte aérea (MSPA) e matéria seca das raízes (MSR).

Figura 12 – Avaliação do peso de MFPA,

Figura 13 – Amostras de MFPA na estufa com ventilação de ar forçado para procedimento de secagem.

Os dados obtidos, para *Canavalia ensiformis*, foram submetidos às análises de variância. Os parâmetros utilizados foram germinação, diâmetro do caule, número de folhas, altura, peso da MFPA, da MSPA, da MFR e da MSR, em função das doses de rejeito e de composto aplicadas. As médias foram comparadas pelo Teste de Tukey ($P<0,05$) e por regressão ($P<0,05$) utilizando o programa estatístico Sisvar® para Windows (FERREIRA, 2014).

4.5 Análise química dos tecidos vegetais de Canavalia ensiformis

As análises químicas da parte aérea e da raiz foram realizadas pelo Laboratório de Análise Foliar da Universidade Federal de Lavras (UFLA), cujas metodologias de análise seguiram Malavolta; Vitti; Oliveira (1997).

Em função de restrições orçamentárias, as análises foram feitas apenas para três tratamentos: 100% rejeito, 50% rejeito e 50% composto, 25% rejeito e 75% Composto e com a junção das amostras das quatro repetições de cada tratamento. Foram realizadas análises de Ferro (Fe), Manganês (Mn), Cobre (Cu), Zinco (Zn), Cádmio (Cd), Cromo (Cr), Sódio (Na) e Chumbo (Pb). Devido à junção das repetições não foi possíveil realizar as análises estatísticas para os elementos químicos encontrados nos tecidos vegetais.

4.6 Cálculo do Fator de Bioacumulação (FB)

O FB foi calculado de acordo com o de método de Kisku *et al*. (2000) para avaliar a quantidade de Cu, Mn, Zn e Fe acumulado no tecido da planta, conforme a equação 1:

Equação 1:

FB= Concentração do metal na planta/Concentração do metal no substrato

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Características dos Substratos

A tabela 2 apresenta os resultados obtidos das análises físicas e químicas do rejeito do rompimento da barragem do Fundão, Bento Rodrigues, Mariana-MG e do composto orgânico produzido no CEFET-MG.

Tabela 2 - Resultados das análises físicas e químicas do rejeito do rompimento da barragem do Fundão, Bento Rodrigues, Mariana-MG e do composto orgânico produzido no CEFET-MG.

TIPO DE ANÁLISE	PARÂMETRO	UNIDADE	REJEITO[1]	COMPOSTO[2]
Granulometria	Areia total	(%)	64,13	-
	Silte	(%)	27,7	-
	Argila	(%)	8,17	-
Matéria orgânica	Matéria orgânica	(dag/kg)	1,06	-
	Carbono Orgânico	(dag/kg)	0,62	15,58
Macronutrientes	P_2O_5	(mg/dm^3)	27,50	8100
	K_2O	(mg/dm^3)	72,27	1700
	Ca	(mg/dm^3)	290,56	28600
	Mg	(mg/dm^3)	14,58	2300
	N	(mg/dm^3)	600	9300
Micronutrientes*	Cobre	(mg/dm^3)	1,4	16
	Manganês	(mg/dm^3)	116,9	250
	Ferro	(mg/dm^3)	125	22060
	Zinco	(mg/dm^3)	2,1	100
Capacidade de troca catiônica e índices de saturação	Al	($cmol.c/dm^3$)	0,01	-
	Sódio	($cmol.c/dm^3$)	0,19	ND
	Soma de bases trocáveis	($cmol.c/dm^3$)	1,91	-
	CTC efetiva	($cmol.c/dm^3$)	1,92	105,15
	CTC Total	($cmol.c/dm^3$)	2,58	-
	Saturação Al	(%)	0,53	-
	Saturação Na	(%)	7,4	-
	pH		7	7,5

*Elementos disponíveis na solução (extrator Mehlich)–ND= não determinado; Fonte: Rejeito: Laboratório de Química Agropecuária do Instituto Mineiro de Agropecuária – IMA (2018); Composto orgânico: Laboratório Oficial de Fertilizantes e Corretivos (MAPA).

A análise de composição química elementar e de óxidos por fluorescência de raio X (FRX) mostrou que a amostra de rejeito de mineração é predominantemente composta por: 42% de Óxido de Silício (SiO_2) (39% Sílica (Si)); 25% de Óxido de Ferro Fe_2O_3 (37,4% Fe); 24% de Óxido de Alumínio Al_2O_3 (20% Al); 1,3 % de Óxido de Manganês MnO (2% Mn), sendo a percentagem restante composta por outros elementos em quantidades bem inferiores.

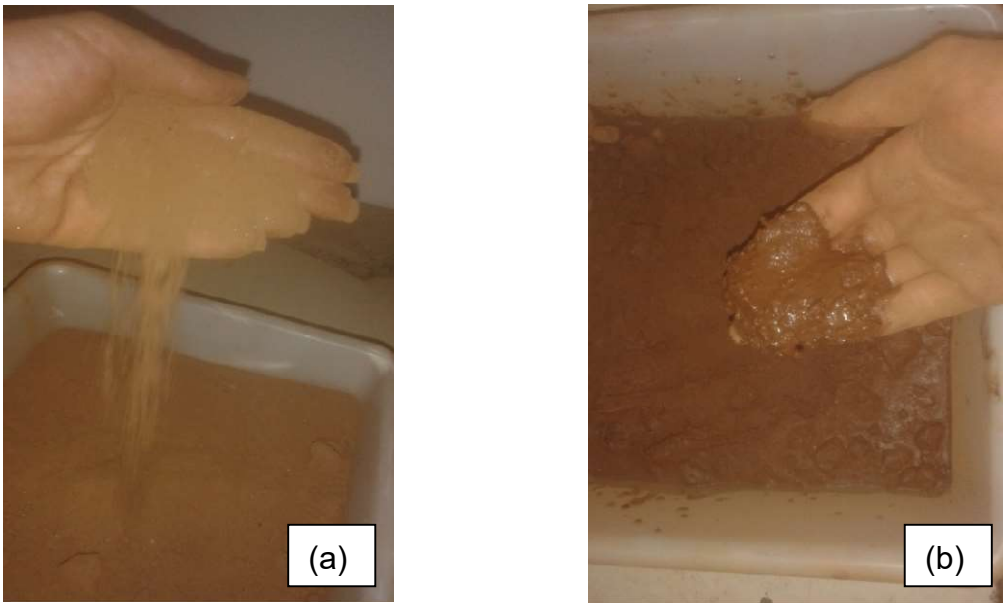
Segura et al. (2016) também analisaram amostras dos rejeitos do rompimento da barragem do Fundão, em vários pontos ao longo do trajeto da lama. Nas análises de FRX e Microscopia Eletrônica de Varredura, encontrou valores semelhantes, sendo 48% de SiO_2; 20-31% de Fe; 6,6 % Mn; 5,3% Al.

Os resultados obtidos para a análise de granulometria, do rejeito foram: 64,13% - Areia Total; 27,7% - Silte; 8,17% - Argila. Para o composto não foi realizada análise granulométrica (Tabela 2).

O baixo teor de argila contribui para a baixa capacidade de troca de cátions (CTC) apresentada pelo rejeito, com valor igual a 2,58 cmol.c/dm^3. Este valor coincide com encontrado no trabalho de Shaefer *et al.*(2016), onde analisaram sedimentos da região, logo após o rompimento da barragem de Fundão,atribuindo essa CTC baixa, a composição do rejeito de Goethita (63 %), Hematita (24 %), Quartzo (11 %) e Caulinita (7%).

A amostra do rejeito apresentou as seguintes consistências: quando seco, muito duro e solto e quando molhado ligeiramente pegajoso (Figura 14). Segundo Resende *et al.* (2002), a presença de óxidos de Fe tendem a desorganizar as partículas no seu aspecto microestrutural.

Figura 14 - Aparência do Rejeito Seco (a). Aparência do Rejeito Molhado (b).



De acordo com Silva (2007), o rejeito de mineração é constituído por um material muito fino e com baixa coesão. Estas características denotam que o rejeito, por si só, não possibilita estruturação ao solo e a formação de agregados.

As análises químicas do rejeito indicaram alta alcalinidade, níveis baixos de nutrientes e valor de Matéria Orgânica (M.O.), além de altos teores de Ferro (Fe), Mangânes (Mn) e Sódio (Na) (Tabela 2), em comparação aos parâmetros utilizados para os solos brasileiros (TOMÉ JÚNIOR, 1997). A matéria orgânica do rejeito foi aproximadamente 16 vezes menor que a encontrada no composto orgânico.

Estudos realizados por Silva *et al.* (2016), e Zago *et al.* (2019), utilizando rejeitos do rompimento da barragem de Fundão, demonstram características semelhantes de potencial hidrogênionico (pH) alcalino, teores baixos de matéria orgânica e nutrientes.

O pH elevado pode estar associado ao uso de Hidróxido de Sódio (NaOH) no beneficiamento do minério de ferro como dispersante (SHAEFER *et al*., 2016). De acordo com CFSEMG (1999), os valores de Mn e Fe encontrados 116,9 e 125 mg/dm^3, respectivamente, são considerados altos para solos do estado de Minas Gerais.

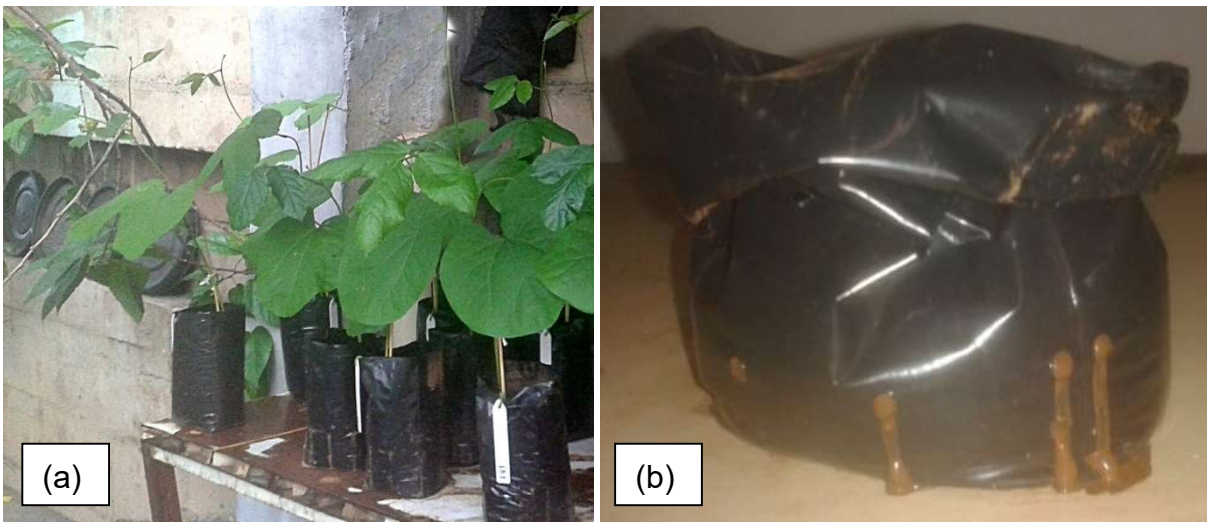
A saturação por Sódio (Na) na CTC foi de 7,4%, equivalente a um solo salino, ou seja, o rejeito possui altos teores de sódio disponível. De acordo com Santos et

al., (2016) altos níveis de sódio trocável podem levar a um adensamento do solo apresentando-se pegajoso quando molhado e compacto quando seco.

Ademais, íons monovalentes, especialmente o íon de Sódio (Na^+), que possui um raio hidratado relativamente grande, podem provocar repulsão entre as partículas (BRADY; WEIL, 2013). Durante os ensaios, observou-se que as mudas que receberam o Tratamento 100% rejeito apresentaram uma grande perda de substrato. À medida que as doses de composto orgânico aumentavam nos tratamentos, essa perda foi inversamente proporcional (Figura 15 e Figura 16)

Figura 15 - Comparação da perda de substrato de cada tratamento (feita ao final do ensaio logo após a coleta da parte aérea), variação das doses de rejeito 100% a 0% da esquerda para direita.

Figura 16 – Perda de substrato durante a irrigação das mudas (a). Demonstração da perda de rejeito pelos furos do vaso de polietileno (b).



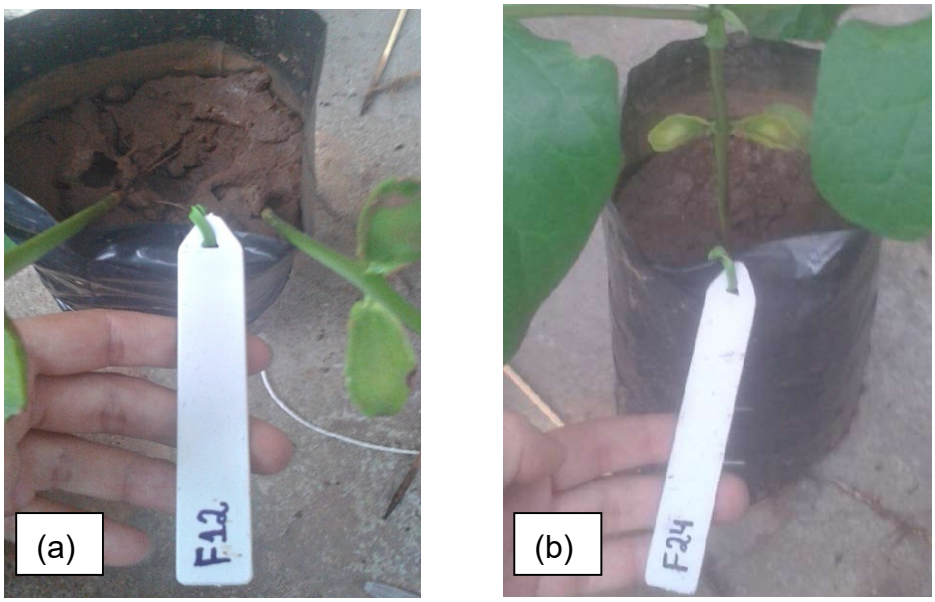
Os baixos teores de matéria orgânica encontrados podem ter interferido diretamente nas características físico-químicas do rejeito. Lopes (1998) destaca que

a matéria orgânica melhora as condições físicas do solo, aumenta a infiltração de água, diminui as perdas de erosão, fornece nutrientes para as plantas e a aumenta a CTC.

Para Brady; Weil (2013), a matéria orgânica, argilas e outras substâncias funcionam como agentes cimentantes para as partículas individuais favorecendo a estruturação de torrões e agregados do solo, além disso, ajudam na resistência dessas estruturas contra ação hídrica e eólica, por exemplo. Portanto, a perda expressiva de substrato para o Tratamento 100% rejeito, pode estar associado à textura fina apresentada pelo rejeito e também pela presença em pequena quantidade de matéria orgânica.

Os tratamentos com doses crescentes de composto orgânico apresentaram melhor estruturação física do substrato, menor perda de substrato e melhor aporte para o desenvolvimento das plantas. A adição de matéria orgânica reduziu a perda de substrato, permitindo maior proteção das raízes (Figura 17).

Figura 17 - Comparação de cobertura das raízes. Tratamento 100% rejeito (a). Tratamento 75% rejeito + 75% composto (b).



Salton; Tomazi (2014) destacam que solos bem estruturados, podem apresentar maior produtividade quando comparados a solos desestruturados ou compactados. Solos compactados tendem a dificultar a penetração das raízes limitando a absorção de água e nutrientes.

Todas as mudas foram regadas diariamente com mesma quantidade de água, porém os vasos com Tratamento 100% rejeito permaneciam com acúmulo de água e úmidos, por mais tempo, quando comparados aos demais tratamentos (
Figura **18**).

Este fato pode estar relacionado à presença do sódio em altos teores, à porosidade e a predominância de material fino em sua composição o que pode levar a retenção de água por um período maior de tempo.

Para Dias; Blanco (2010), solos com excesso de sódio trocável possuem baixa permeabilidade e, portanto podem apresentar-se encharcados a partir de qualquer excesso de água, podendo afetar a germinação de sementes e crescimento de plantas pela ausência de aeração.

Figura 18 – Comparação do acúmulo de água entre os diversos tratamentos (a). Tratamento 100% rejeito com acumulo de água(b). Tratamento 100% rejeito no dia posteior a irrigação ainda muito úmido(c).

Brady; Weil (2013) destacam que em solos com textura muito fina, principalmente os que não possuem uma estrutura granular estável, pode ocorrer o predomínio de microporos, nessas microestruturas há um movimento relativamente lento de água. De acordo Reinert; Reicherd (2006), quando ocorre a saturação do solo pela presença de água, os microporos passam a reter a água contra a gravidade gerando o acúmulo.

A análise de fertilidade do composto orgânico mostra um pH adequado para o crescimento de vegetais, alto teor de Matéria orgânica e teores adequados Nitrogênio (N), Fósforo (P), Cálcio (Ca) e Ferro (Fe). Porém, baixos teores de Magnésio (Mg), Manganês (Mn) e Potássio (K) (Tabela 2), de acordo com a normativa para comercialização de fertilizantes orgânicos no Brasil (BRASIL,2009).

De acordo com Zago *et al.* (2019), o rejeito de minério de ferro possui características físico-químicas que não oferecem condições propícias ao desenvolvimento da planta por ser pobre em nutrientes e matéria orgânica. O uso do composto orgânico visa melhorar as condições físicas do solo além de fornecer nutrientes essências ao desenvolvimento das plantas.

5.2 Desenvolvimento vegetativo e produção de Canavalia ensiformis

Os resultados da análise de variância e teste de médias para os parâmetros avaliados em relação à *Canavalia ensiformis* são apresentados na tabela 3. Observou-se que para as doses, tanto de rejeito, quanto de composto, não afetaram os parâmetros: germinação, diâmetro, número de folhas e MSR. No entanto, a adição de composto orgânico promoveu melhorias para altura das plantas, MFPA, MSPA e MFR (Tabela 3).

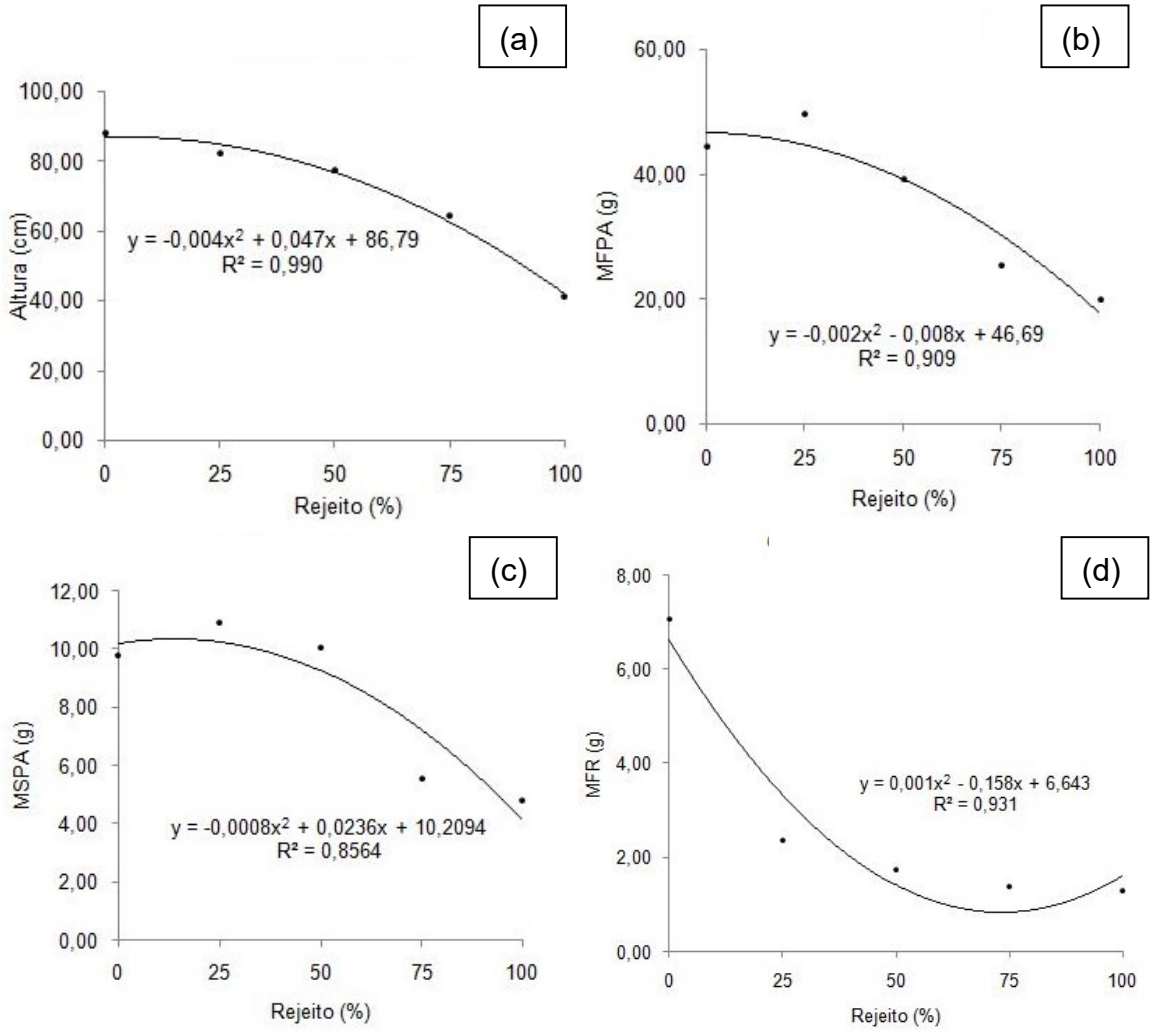
Tabela 3 - Valores médios para germinação, altura, diâmetro de caule, número de folhas, MFPA, MSPA, MFR e MSR de *Canavalia ensiformis* submetidas a diferentes doses de Rejeito associados a Composto orgânico em doses complementares.

					FOLHAS		RAIZ	
Tratamento	**Germinação (%)**	**Altura (cm)**	**Diâmetro (mm)**	**N° Folhas**	**MFPA (g)**	**MSPA (g)**	**MFR (g)**	**MSR (g)**
100% Rejeito	75a	41,13a	3,55a	15,75a	20,01a	4,83a	1,30a	0,40a
75% Rejeito + 25% Composto	100a	64,25ab	4,02a	19,25a	25,51ab	5,54ab	1,39a	0,54a
50% Rejeito + 50% Composto	100a	77,50ab	4,80a	22,50a	39,09abc	10,07ab	1,74a	0,97a
25% Rejeito + 75% Composto	87,5a	82,25b	5,11a	24,50a	49,57bc	10,90ab	2,38a	0,86a
100% Composto	100a	88,00b	5,43a	21,75a	44,29c	9,77b	7,08b	1,14a

*Medias seguidas por letras iguais não diferem significativamente, onde P < 0,05, pelo teste de Tukey.

Para entender melhor a influência da adição de composto orgânico, nos parâmetros afetados, foram realizadas as análises de variação para as regressões (Figura 19). As regressões com maior significância foram às quadráticas.

Figura 19– Curvas de regressão para *Canavalia ensiformis*, em função das proporções de rejeito e composto orgânico nos substratos



* Curva de regressão da altura (a); Curva de regressão da Matéria Fresca da Parte Aérea (MFPA) (b); Curva de regressão da Matéria Seca da Parte Aérea (MSPA) (c); Curva de regressão da Matéria Fresca da Raíz (MFR) (d).

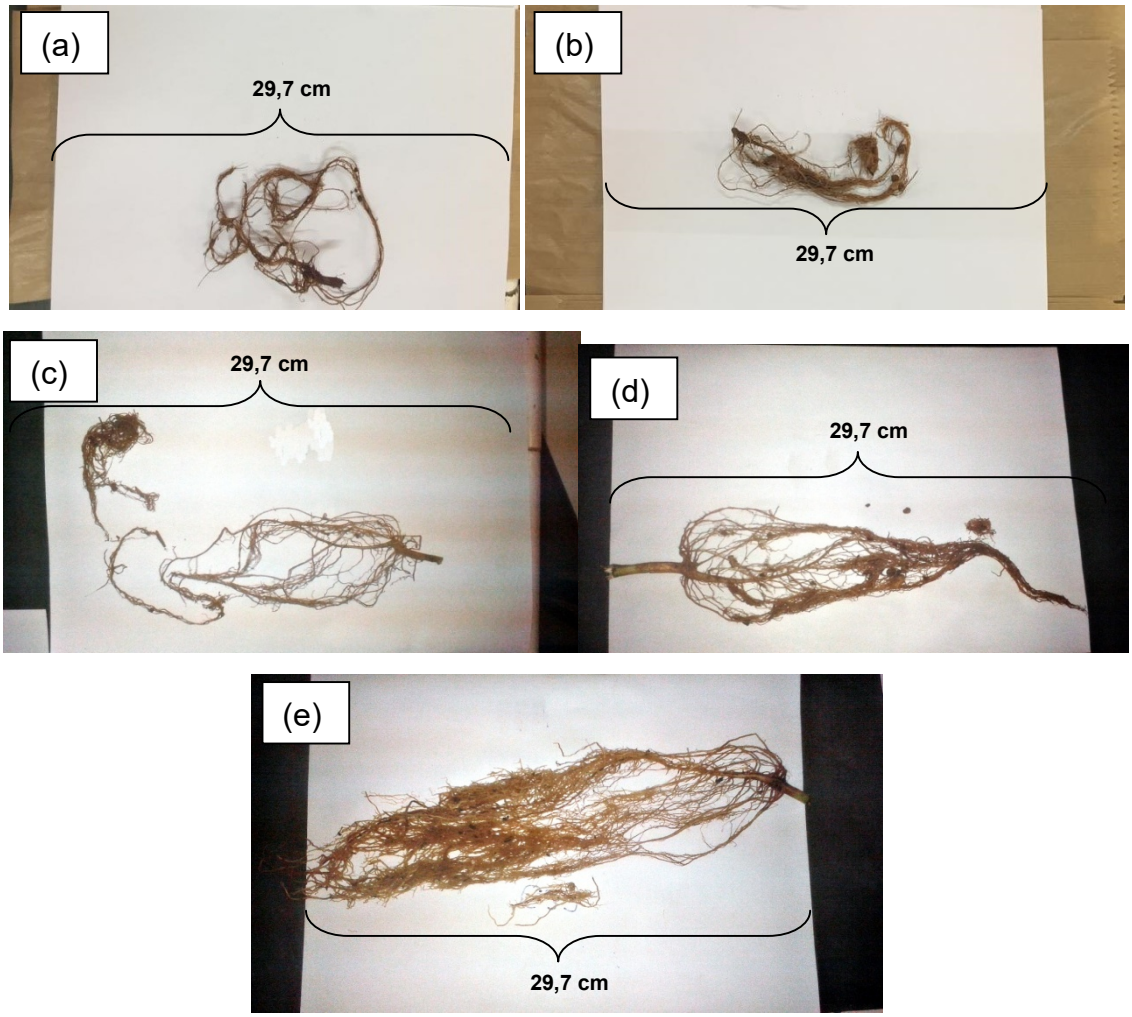
O Tratamento 100% composto foi que apresentou maior altura, decrescendo com o aumento da proporção do rejeito ao substrato, chegando a um valor 2 vezes menor no Tratamento 100% Rejeito.

Como indicado anteriormente, os vasos que receberam o Tratamento 100% rejeito apresentam-se com aspecto encharcado. Além disso, verificou-se o baixo

índice de fertilidade para o rejeito (Tabela 2). Ambos os fatores mencionados podem ter contribuído para o comportamento observado no experimento. Onde os menores índices de desenvolvimento vegetativo para a Altura, MFPA, MSPA e MFR foram verificados para o tratamento 100% rejeito. Pereira (2008) relata que *Canavalia ensiformis* possui uma baixa tolerância ao encharcamento e média exigência de fertilidade.

Com a Figura 20, é possível perceber visualmente uma significativa diferença no desenvolvimento das raízes e suas ramificações em relação aos diferentes tipos de tratamento. Observa-se que o Tratamento 100% rejeito foi o que apresentou o menor desenvolvimento radicular. Nota-se que a medida em que há variação decrescente na dosagem de rejeito e crescente para o composto há um maior desenvolvimento das raízes.

Figura 20 – Desenvolvimento das raízes para os diferentes tipos de tratamento para *Canavalia ensiformis*



*As raízes estão dispostas sobre uma folha de papel A4. O papel apresenta as seguintes medidas Altura e largura 21 x 29,7 cm, respectivamente.

**Tratamento 100% rejeito (a), Tratamento 75% rejeito + 25% composto (b), Tratamento 50% rejeito + 50% composto (c); Tratamento 25% rejeito + 75% composto (d); 100% composto (e).

Resultado semelhante foi encontrado por Puga *et al.* (2015), onde foi observado maior desenvolvimento radicular de *Canavalia ensiformis e Mucuna* a medida em que foram adicionadas doses mais elevadas de biocarvão, em solos contaminados provenientes de mineração de Zn no Brasil.

No presente estudo, um dos fatores limitantes do crescimento radicular pode estar relacionado ao estado de compactação e encharcamento apresentado pelo Tratamento 100% rejeito. Lopes (1998), explica que solos rasos ou compactos não são favoráveis ao desenvolvimento do sistema radicular em maior profundidade para obter água e nutrientes. Já os solos suficientemente granulados e permeáveis

permitem uma expansão e allimentação das raízes. Solos encharcados ou mal drenados podem resultar em um sistema radicular raso.

Além disso, os baixos teores nutricionais do rejeito podem ter afetado o desenvolvimento da raiz. Gonçalves (2014) relata que a proliferação das raízes, depende da disponibilidade de água e nutrientes na rizosfera. O desenvolvimento máximo de uma planta só é atingido quando todas as suas demandas nutricionais são atendidas, sendo a quantidade de nutrientes exigida função dos seus teores no material vegetal e do total de matéria seca produzida.

As exigências nutricionais variam de acordo com diferentes espécies. Uma baixa produção de matéria vegetal seca pode indicar que os níveis nutricionais demandados por determinada espécie não foram atingidos (FAQUIN, 2005).

A água em nível excessivo por algum tempo, por exemplo, provoca um abaixamento da pressão parcial de O_2, o que dificulta a passagem do elemento para as raízes. Nessas condições as raízes não conseguem mais oxidar carboidratos e formar álcool por fermentação, apresentando considerável prejuízo para o crescimento vegetal (RAIJ, 1981).

5.3 Concentrações de elementos químicos na matéria seca de Canavalia ensiformis

Apesar de não ter sido feita análise estatística, é possível fazer algumas inferências utilizando os valores absolutos.

O fator de bioacumulação representa a relação entre a concentração do elemento presente no solo e aquela acumulada nos tecidas da planta. Observou-se que à medida que aumentou a proporção de composto orgânico nos tratamentos, aumentou também a bioacumulação nos tecidos da *Canavalia ensiformis* (Tabela 4). Bañuelos; Ajwa (1999) destacam que a matéria orgânica do solo tem uma função essencial na solubilização e ciclagem de oligoelementos no solo.

Tabela 4 – Fator de Bioacumulação (FB) obtido para *Canavalia ensiformis*

Tratamento	Cu	Mn	Zn	Fe	Na
100% Rejeito	22,54	2,29	22,60	12,88	20,97
50 % rejeito + 50% Composto	31,56	4,3	117,5	24,63	24,36
25% rejeito + 75% Composto	45,31	5,8	228,0	46,27	39,26

Como apresentado na Tabela 1, à grande quantidade de Fe e Mn do rejeito está na forma de óxidos, provavelmente sua maior parte não estava disponível para absorção pelas raízes das plantas. Os elementos Cu e Zn presentes no rejeito também são muito baixos. Portanto, deduz-se que os teores absorvidos (Tabela 5) pela *Canavalia ensiformis* sejam oriundos da adição do composto orgânico. O Pb, Cr e Cd não foram analisados no composto e no rejeito .

Tabela 5 - Fracionamento dos elementos químicos entre raiz e parte aérea da *Canavalia ensiformis*

Tratamento	Cu	Mn	Zn	Fe	Na	Cd	Cr	Pb
	---------- mg / kg ----------							
100% Rejeito	26,71 (4,84)*	212,60 (54,90)	26,03 (21,42)	1236,19 (373,36)	807,80 (108,80)	ND**	ND	20,99 (17,55)
50% Rejeito + 50% Composto	19,10 (2,99)	196,66 (55,25)	88,68 (34,74)	1242,20 (297,49)	431,40 (100,80)	ND	ND	20,24 (12,88)
25% Rejeito + 75% Composto	12,37 (3,49)	130,20 (39,24)	68,71 (49,87)	1168,95 (277,04)	328,60 (100,20)	ND	ND	19,92 (12,17)

* (correspondem aos teores presentes na matéria seca da parte aérea)

** ND= não detectado

Os teores de Na foram mais bioacumulados com o aumento da quantidade de composto (Tabela 4). Porém, como o Na não foi analisado no composto orgânico e os teores no rejeito foram altos, não há como saber a sua origem. O elemento Na para Faquin (2005) pode variar desde elemento essencial para plantas do gênero Atriplex a tóxico para outras espécies. Embora não seja caracterizado como um

elemento essencial sua presença pode afetar o crescimento e desenvolvimento das plantas.

Neste estudo, observou-se o desenvolvimento de *Canavalia ensiformes*, mesmo com a alta absorção de Na apresentada no tratamento 100% rejeito (Tabela 5), indicando que a espécie pode ter desenvolvido mecanismo de defesa. Em resposta ao estresse salino, as plantas podem apresentar estratégias como acumulação de Na em tecidos relativamente tolerantes da raiz ou da parte aérea (CHEESEMAN, 1998; BOURSIER *et al*., 1987; GARCIA *et al*., 2007).

Em relação ao fracionamento (parte aérea e raiz), pôde-se observar que para todos os elementos analisados, a concentração é muito maior nas raízes, em todos os tratamentos, com exceção do Pb, que os teores das raízes e parte áerea não apresentaram muita distinção (Tabela 5). Tal fato indica que a *Canavalia ensiformis* possui mecanismos de proteção para evitar a translocação de elementos que possam ser tóxicos.

Os possíveis mecanismos de tolerância a metais em plantas incluem: 1) captação seletiva de íons, 2) imobilização de íons nas raízes, folhagens e sementes; 3) precipitação de íons metálicos; 4) permeabilidade diminuída da membrana celular e 5) liberação de íons metálicos através da lixiviação da folhagem e excreção das raízes (KABATA-PENDIAS, 2011).

A translocação corresponde à transferência, em forma igual ou diferente da absorvida, do elemento para outro órgão ou região. Para atingir a parte aérea da planta um íon absorvido pela raiz sofre o transporte radial e o transporte a longa distância. O transporte a longa distância, da raiz para a parte aérea, pode ocorrer via xilema (predominante) ou floema (em alguns caos) (FAQUIN, 2005).

Observou-se que os teores de Cu e Pb foram menores à medida em que foram acrescidas maiores doses de composto orgânico, indicando que a presença da matéria orgânica pode estar auxiliando na retenção deste elementos. Estudos demonstram que a influência da presença de matéria orgânica em solos tropicais pode levar a retenção de Cu e Pb (RIEUWERTS, 2007).

Appel *et al.* (2003), em um estudo de troca catiônica, observou o Pb associado ao Carbono orgânico. Rosolen (2005) observou em um solo do Brasil, que a presença da matéria orgânica foi importante na retenção de Pb. Os resultados relatados nos estudos destes autores corroboram os resultados encontrados nesta pesquisa.

Ao analisar absorção de Mn pela *Canavalia ensiformis,* observou-se um decréscimo ao aumentar as dosagens de composto orgânico que pode estar relacionado à complexação deste elemento pela matéria orgânica (Tabela 5). Em seus estudos Geering *et al.* (1969) relata que o maganês presente na solução do solo foi complexado pela matéria orgânica. Malavolta (1980) destaca que teores muito elevados de matéria orgânica podem até levar a quadros de deficiência do metal.

Kabata-Pendias (2011), afirma que elementos como o Cu, Fe, Mn e Zn são essenciais para todas as plantas, mas que apesar de possuírem efeitos estimulantes no crescimento das plantas, estes elementos podem também ter efeitos tóxicos nas células quando em concentrações mais altas.

Os metais pesados geralmente apresentam em baixa disponibilidade para valores de pH do solos próximos de 6,5 a 7 (KABATA–PENDIAS, 2011). Essa baixa disponibilidade é ocasionada pela perda de mobilidade dos metais pesados em virtude da precipitação de formas insolúveis, como hidróxidos, carbonatos e complexos orgânicos (TAVARES *et al,* 2013).

O Fe, por exemplo, diminui em formas solúveis para absorção á medida que o pH aumenta no solo (BARBOSA FILHO *et al*., 1994). Neste estudo o valor elevado de pH no tratamento 100% rejeito pode estar associado a redução de solubilidade do Fe no solo. De acordo com Kabata-Pendias (2011), absorção de elementos pelas raízes das plantas ocorre somente na fase líquida, portanto o conteúdo de metais na solução do solo é fundamental para que ocorra a captação do elemento. As raízes ocupam cerca de 1% do volume do solo, logo a absorção de elementos com baixa mobilidade será mais difícil (SALTON; TOMAZI, 2014).

Para os teores de Fe, Mn, Zn, Cu e Pb (Tabela 5), na parte aérea da *Canavalia ensiformis* observou-se que não houve toxicidade, para nenhum dos elementos, conforme valores referenciados em White (2002).

Segundo Brady (2013) uma quantidade insuficiente (nível de deficiência) de nutrientes, pode comprometer o crescimento das plantas. Com o aumento dos teores do nutriente, as plantas absorvem mais deste nutriente levando a um maior crescimento. Embora sua concentração possa continuar aumentando no tecido vegetal, o excesso de nutriente (intervalo de toxicidade), causa reações fisiológicas adversas.

Kabata-Pendias (2011), destaca que as ordens de toxicidade de oligoelementos para plantas variam de acordo com cada experimento, cada espécie e até mesmo para plantas individuais e que concentrações tóxicas desses elementos nos tecidos das plantas são muito difíceis de estabelecer.

Neste estudo, observou-se que para todos os tratamentos existe uma tendência significativa a maiores concentrações de metais no tecido vegetal de matéria seca das raízes de *Canavalia ensiformes*. Este mecanimo de imobilização e acumulação em tecidos interfere diretamente na translocação de metais para as partes acima do solo, e ocorrem especialmente quando o suprimento de metal é suficiente (KABATA-PENDIAS, 2011).

As variáveis eletroquímicas dos elementos também podem interferir no seu transporte entre os órgãos das plantas. Mn e Zn tendem a ser moderadamente móveis e o Cu, Pb e Fe são fortemente ligados nas células radiculares (KABATA-PENDIAS, 2011).

Existem muitas incertezas sobre os mecanismos de absorção dos metais pesados, principalmente em relação aos não essenciais. O teor e o acúmulo do elemento nos tecidos podem estar associados às funções de sua disponibilidade na solução do solo. Assim, os teores nas raízes e parte aérea aumentam à medida que há uma elevação da concentração de metais na solução do solo (GUSSARSSON *et al*., 1995; SOARES *et al*., 2001).

6 CONCLUSÃO

O desenvolvimento de *Canavalia ensiformis* utilizando o rejeito como único substrato apresentou limitações quando comparado ao uso de rejeito adubado com composto orgânico em doses crescentes. Os teores de metais detectados para a parte aérea da planta não indicaram níveis tóxicos.

O rejeito associada ao composto orgânico apresenta-se como uma boa alternativa na melhoria das propriedades físicas do substrato evitando que ele seja arrastado para corpo hídrico e também oferecendo melhores condições para a prática de recuperação de áreas degradadas por meio do aumento do desenvolvimento vegetal.

O composto orgânico adicionado ao rejeito favoreceu a produção de biomassa de *Canavalia ensiformis,* fornecendo macronutrientes e micronutrientes. Além disso, auxiliou na melhoria da estruturação física do rejeito. A *Canavalia ensiformis* pode ser utilizada associada à adição de matéria orgânica como adubação verde nas áreas de solo soterradas com rejeitos de mineração.

REFERÊNCIAS

AKALA, V. A.; LAL, R. **Potential of mine land reclamation for soil organic carbon sequestration in Ohio.** Land Degradation & Development, v. 11, n. 3, p. 289-297, 2000.

ANDRADE, Luana Caetano Rocha de. **Caracterização de rejeitos de mineração de ferro, in natura e segregados, para aplicação como material de construção civil. Viçosa, MG**, 2014. Disponível em:
< http://www.reciclos.ufop.br/media/uploads/downloads/texto_completo.pdf>. Acesso em: 01 Nov. 2018.

APPEL, Chip *et al.***Selectivities of potassium-calcium and potassium-lead exchange in two tropical soils.** Soil Science Society of America Journal, v. 67, n. 6, p. 1707-1714, 2003.

BARBOSA FILHO, Morel Pereira; DYNIA, José Flavio; FAGERIA, Nand Kumar. **Zinco e ferro na cultura do arroz.** Embrapa Arroz e Feijão-Documentos (INFOTECA-E), 1994. Disponível em:
<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/201503>. Acessoem: 13 Nov. 2019.

BANUELOS, G. S.; AJWA, H. A. **Trace elements in soils and plants: an overview**. Journal of Environmental Science & Health Part A, v. 34, n. 4, p. 951-974, 1999.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 2010. 355 p.

BOURSIER, Patrick *et al*. **Chloride partitioning in leaves of salt-stressed sorghum, maize, wheat and barley.** Functional Plant Biology, v. 14, n. 4, p. 463-473, 1987.

BRADY, Nyle C.; WEIL, Ray R. . **Elementos da natureza e propriedades dos solos.** 3. Ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 704p. Disponível em: <http://www.geografia.fflch.usp.br/graduacao/apoio/Apoio/Apoio_Attila/1s2018/livros/Elementos_da_Natureza_e_Propriedades_dos_Solos_Livro-por Ray_R_Weil.pdf>Acesso em: 12 Jun.2019

BRASIL. **Decreto nº 97.632, de 10 de Abril de 1989. Dispõe sobre a regulamentação do artigo 2°, inciso VIII, da Lei n° 6.938, de 31 de agosto de 1981, e dá outras providências**. Diário Oficial da União - Seção 1 - 12/4/1989. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1989/decreto-97632-10-abril-1989-448270-publicacaooriginal-1-pe.html>. Acesso em: 27 Mai. 2019.

BRASIL. **Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 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.** Diário Oficial da União, 19/7/2000. Disponível em:
<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9985.htm>. Acesso em: 27 Mai. 2019.

BRASIL. **Decreto nº 4954, de 14 de janeiro de 2004. Aprova o regulamento da Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura.** Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil,Brasília, 15 jan. 2004a. Disponível em:
<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2004/Decreto/D4954.htm>. Acesso em: 13 Set. 2019.

BRASIL. **Instrução Normativa nº 25, de 23 de julho de 2009. Estabelece as normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura.** Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Poder Executivo, Brasília, DF. 2009.

CFSEMG - Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. R**ecomendações para o uso de corretivos e fertilizantes 1999 em Minas Gerais** - 5ª Aproximação / Antonio

CHEESEMAN, J.M. **Mechanisms of salinity tolerance in plants**. (1998) Plant Physiology, 87:547-550.

DA FORÇA-TAREFA, Grupo. **Avaliação dos efeitos e desdobramentos do rompimento da Barragem de Fundao em Mariana-MG**. Belo Horizonte: Secretaria de Desenvolvimento Regional, Polıtica Urbana e Gestao Metropolitana, Governo do Estado de Minas Gerais, 2016. Disponível em:<http://www.mariana.mg.gov.br/localizacao>. Acesso em: 05 Mai. 2019.

DIAS, N. da S.; BLANCO, Flávio F. **Efeitos dos sais no solo e na planta**. Embrapa Meio-Norte-Capítulo em livro científico (ALICE), 2010. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/889229/1/Efeitos0002.pdf>. Acesso em: 13 Nov. 2019.

DUARTE, A.P. **Classificação das barragens de contenção de rejeitos de mineração e de resíduos industriais no estado de Minas Gerais em relação ao potencial de risco.** [dissertação]. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais; 2008. Disponível em:<http://www.smarh.eng.ufmg.br/defesas/502M.PDF>. Acesso em: 20 ago. 2018.

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2001. 182p. Disponível em: <http://www.dcs.ufla.br/site/_adm/upload/file/pdf/Prof_Faquin/Nutricao%20mineral%20de%20plantas.pdf>. Acesso em: 04 Nov. 2019.

FERREIRA, D. F. **Sisvar: A Guide for its Bootstrap procedures in multiplecomparisons.** *Ciênc. agrotec.* [online]. 2014, vol.38, n.2, pp. 109-112. Disponível em: ISSN 1413-7054. Acesso em: 20 Ago. 2018.
.

FRANCO, *et al*. **Revegetação de solos degradados. Infoteca e - Repositório de informação tecnológica da Embrapa** N° 09, out./92, p. 1/9. (ISSN 0103-9407). Disponível em:
<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/623376/1/cot009.pdf>.
Acesso em: 05 Mai. 2019.

GARCIA, G.O.; FERREIRA, P.A.; MIRANDA, G.V.; NEVES, J.C.L.; MORAES, W.B.; SANTOS, D.B. **Teores foliares dos macronutrientes catiônicos e suas relações com sódio em plantas de milho sob estresse salino**. *Idesia*, Arica, v.25, n.3, set/dez. 2007. Disponível em: < https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-34292007000300010&script=sci_arttext>. Acesso em: 17 Nov. 2019.

GEERING, H.R.; HODGSON, J.F.; SDANO, C. **Micronutrient cation complexes in soil solution. IV.** The chemical state of manganese in soil solution. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 33:81-5,1969.

GUARINO, E.S.G. *et al*. **As leguminosas na recuperação de áreas degradadas do bioma Pampa**. Pelotas: EMBRAPA, Clima Temperado, 2016. Disponível em:

<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1041920/1/Asleguminosasnarecuperacaodeareasdegradadasdobiomapampa.pdf>12 Jun. 2019.

GUSSARSSON, M. *et al*. **Cadmium and copper interactions on the accumulation and distribution of Cd and Cu in birch (Betula pendula Roth) seedlings**. Plant and soil, v. 171, n. 1, p. 185-187, 1995.

HERNANDEZ, M.T., GARCIA, E., GARCÍA, C. **A strategy for marginal semiariddegradedsoilrestoration: a sole additionofcompostat a high rate. A five-year field experiment**. *Soil Biol. Biochem*. 89, p. 61–71, 2015.

IBAMA, DIPRO, CGEMA. **Laudo Técnico Preliminar: Impactos ambientais decorrentes do desastre envolvendo o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, Minas Gerais**. Belo Horizonte-MG [Relatório] 2015. 74p. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/phocadownload/barragemdefundao/laudos/laudo_tecnico_preliminar_Ibama.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2018.

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Manual de Recuperação de áreas degradadas pela mineração.** Brasília: IBAMA, 1990. 96p.Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/livros/ManualdeRecuperacaodeareasDegradadaspelaMineracao.pdf>. Acesso em: 27 Mai. 2019.

ICMBIO (Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade), 2014. Instrução Normativa ICMBIO Nº 11, de 11 de Dezembro de 2014**. Estabelecer procedimentos para elaboração, análise, aprovação e acompanhamento da execução de Projeto de Recuperação de Área Degradada ou Perturbada - PRAD, para fins de cumprimento da legislação ambiental**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 12 dez 2014, seção 01, p. 126. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Instrucao_normativa/2014/in_icmbio_11_2014_estabelece_procedimentos_prad.pdf>. Acesso em: 27 Mai. 2019.

IGLESIAS, T. P. **Recuperación de suelos contaminados por elementos traza mediante fitotecnologías de estabilización**. *Revista Ecosistemas*, v. 22, n. 2, p. 122-124, 2013.

KABATA-PENDIAS, A. **Trace elements in soils and plants**. 4th Ed.Boca Raton (FL): CRC Press LLC, p. 505, 2005.

KIEHL, E.J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba: Agronômica Ceres. 1985. 492p.

KIEHL, E.J. **Produção de compsoto orgânico e vermicompostagem**. Informe Agropecuário, v. 22, n. 212, p. 40-42, 47-52, Piracicaba. 2001.

KIEHL, E.J. **Manual de Compostagem: maturação e qualidade do composto**. 3° Ed. Piracicaba: O Autor, 2002. 2 p.

KISKU, G.C., BARMAN, S.C., BHARGAVA, S.K. **Contamination of soil and plants with potentially toxic elements irrigated with mixed industrial effluent and its impact on the environment.**Water Air Soil Poll 120:121–137, 2000.

LOPES, Alfredo Scheid. Manual internacional de fertilidade do solo. Piracicaba: Potafos, p. 79-85, 1998. Disponível em: <http://brasil.ipni.net/ipniweb/region/brasil.nsf/0/40A703B979D0330383257FA80066C007/$FILE/Manual%20Internacional%20de%20Fertilidade%20do%20Solo.pdf>. Acesso em: 12 Jun. 2019.

LOPES, L. M. N. **O rompimento da barragem de Mariana e seus impactos socioambientais**. Periódicos Puc Minas: Sinapse Múltipla, Betim – MG, V. 5, p. 1-14, 2016. Disponível em: <http://periodicos.pucminas.br/index.php/sinapsemultipla/article/view/11377/9677.Acesso em: 05 Mai. 2019.

MACHADO, D. F. T.; CONFESSOR, J. G.; RODRIGUES, S. C.; **Processo inicial de recuperação de área degradada a partir de intervenções físicas e utilização de leguminosas**. Caderno de Geografia, v.24, número especial (1), 2014. (ISSN 2318-2962). Disponível em:<http://periodicos.pucminas.br/index.php/geografia/article/view/7584>12 Jun. 2019.

MALAVOLTA, E. , 1980. **Elementos de Nutrição Mineral de Plantas**. Editora Agronômica Ceres, São Paulo. 251 p.

MALAVOLTA, Eurípedes; VITTI, Godofredo César; OLIVEIRA, **Sebastião Alberto de. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 1997.

MANEJO. **RADA – Relatório de avaliação do desempenho ambiental: Programa de acompanhamento do desmate e resgate de fauna na Barragem do Fundão**. Instituto de Pesquisas e Consultoria Ambiental Ltda. Mariana-MG, 2013. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/siam/lc/2013/0001519840952013/7086862013.pdf>. Acesso em: 05 Mai. 2019.

McBRIDE, M.B. and BLASIAK, J.J.**Zinc and copper solubility as a function of pH in an acid soil**.Soil Science Society of America Journal, v.43, pp.866-870, 1979.

MENDES, Alessandra Monteiro Salviano. **Introdução a fertilidade do solo. In: Embrapa Semiárido-Artigo em anais de congresso (ALICE).** In: Curso de manejo e conservação do solo e da água, 2007, Barreiras. Palestras... Barreiras: MAPA; SFA-BA: Embrapa Semi-Árido; Embrapa Solos-UEP Recife, 2007. 1 CD-ROM., 2007. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/159197/introducao-a-fertilidade-do-solo>. Acesso em: 04 Nov. 2019.

MINAS GERAIS. **Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 02, de 08 de setembro de 2010. Institui o Programa Estadual de Gestão de Áreas Contaminadas, que estabelece as diretrizes e procedimentos para a proteção da qualidade do solo e gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por substâncias químicas**. Diário do Executivo-Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Instrução Normativa 25, de 23 de julho de 2009**. Diário Oficial, Brasília, DF, 28 de junho de 2009. Seção 1, p. 20.

PENTEADO, S.R. **Adubação orgânica: compostos orgânicos e biofertilizantes.** 2.ed. Campinas Viaverde Agroecologia, 2006. 150 p.

PEREIRA, A. R. **Como selecionar plantas para áreas degradadas e controle de erosão**. 2. Ed. Belo Horizonte: Editora FAPI, 2006. p. 39 - 100.

PEREIRA, J. **Avaliação de características agronômicas de leguminosas adubos verdes no Cerrado.** Planaltina : Embrapa-CPAC, 1988. 12p. Projeto de pesquisa.

PEREIRA, J.; BURLE, M.L.; RESCK, D.V.S. **Adubos verdes e sua utilização no cerrado**. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO NO CERRADO. Goiânia, GO. Anais. Campinas, SP : Fundação Cargill, 1992. p.140-154, 1990.

PMMARIANA-MG: Prefeitura Municipal de Mariana - Minas Gerais. A cidade. Localização; **Brasil**. 2019. Disponível em:<. http://www.pmmariana.com.br/localizacao>. Acesso em: 15 Maio. 2019.

PORTES, A. M. C.**Avaliação da disposição de rejeitos de minério de ferro nas consistências polpa e torta.** Belo Horizonte /MG - BRASIL, 2013. Disponível em: <https://www.ufmg.br/pos/geotrans/images/stories/diss023.pdf>. Acesso em: 30 Out, 2018.

PUGA, A. P. *et al.***Biochar application to a contaminated soil reduces the availability and plant uptake of zinc, lead and cadmium.** Journal of environmental management, v. 159, p. 86-93, 2015.Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/277590159_Biochar_application_to_a_contaminated_soil_reduces_the_availability_and_plant_uptake_of_zinc_lead_and_cadmium>Acesso em: 10 Nov. 2019.

RAIJ, B. V. **Avaliação da Fertilidade do solo/Bernardo Van Raij**, 1939 – Piracicaba: Instituto da Potassa & Fosfato: Instituto Internacional da Potassa, 1981. 142p.: Il.

REINERT, Dalvan José; REICHERT, José Miguel. **Propriedades físicas do solo.** Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.Disponível em: < ttps://www.agro.ufg.br/up/68/o/An_lise_da_zona_n_o_saturada_do_solo__texto.pdf>. Acesso em: 04 Nov. 2019.

RESENDE, Mauro. **Pedologia: base para distinção de ambientes**. Neput, 2002. 4ª edição

RIEUWERTS, John S. **The mobility and bioavailability of trace metals in tropical soils: a review**. Chemical Speciation & Bioavailability, v. 19, n. 2, p. 75-85, 2007.Disponível em: < https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.3184/095422907X211918>Acessoem: 10 Nov. 2019.

SALINAS, Natasha Schmitt Caccia.**Caso Samarco: implicações jurídicas, econômicas e sociais do maior desastre ambiental do Brasil.** Fundação Getúlio Vargas - FGV Direito RIO. – Rio de Janeiro. P. 1-12. 2016. Disponível em: <http://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/bitstream/handle/10438/24889/caso_de_ensino_mariana_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 05 Mai. 2019.

SALTON, J. C.; TOMAZI, M. **Sistema radicular de plantas e qualidade do solo**. Embrapa Agropecuária Oeste-Comunicado Técnico (INFOTECA-E), 2014.Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/339/33945552008.pdf>. Acesso em: 13 Nov. 2019.

SANTOS, R. V. D *et.al.***Interação salinidade-fertilidade do solo**. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. (eds.). Manejo da Salinidade na Agricultura: Estudos Básicos e Aplicados. Fortaleza, INCTSal, 2016, p.277-293. Disponível em: < https://ppgea.ufc.br/wp-content/uploads/2018/04/manejo-da-salinidade-na-agricultura.pdf>. Acesso em: 13 Nov. 2019.

SCHAEFER, C. E. G. R. *et al.***Paisagens de lama: Os tecnossolos para recuperação ambiental de áreas afetadas pelo desastre da Barragem de Fundão, em Mariana**. Boletim informativo da SBCS, p. 18-23, 2016.Disponível em: < https://www.sbcs.org.br/wp-content/uploads/2016/06/vol42num1.pdf>. Acesso em: 13 Nov. 2019.

SEGURA, Fabiana Roberta *et al.***Potential risks of the residue from Samarco's mine dam burst (Bento Rodrigues, Brazil)**. Environmental Pollution, v. 218, p. 813-825, 2016.

SILVA, A. C. *et al.***Chemical, mineralogical and physical characteristics of a material accumulated on the river margin from mud flowing from the collapse of the iron ore tailings dam in Bento Rodrigues, Minas Gerais, Brazil**. Revista Espinhaço, v. 5, n. 2, p. 44-53, 2017.Disponível em:< http://oaji.net/articles/2017/2253-1500924110.pdf>. Acesso em: 13 Nov. 2019.

SILVA, Gilson Pereira *et al.*C**aracterização química, física e mineralógica de estéreis e rejeito da mineração de ferro da Mina de Alegria, Mariana-MG.** Pesquisa Agropecuária Tropical, v. 36, n. 1, p. 45-52, 2006.Disponível em:
< https://www.revistas.ufg.br/pat/article/view/2171>. Acesso em: 12 Jun. 2019.

SOARES, Cláudio Roberto Fonsêca Sousa *et al.***Content and distribution of heavy metals in roots, stems and leaves of tree seedlings in soil contaminated by zinc industry wastes.** Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal, v. 13, n. 3, p. 302-315, 2001. Disponível em: < http://www.scielo.br/pdf/%0D/rbfv/v13n3/9261.pdf>Acesso em: 03Nov. 2019.

SOUZA, Maurício Novaes. **Degradação e recuperação ambiental e desenvolvimento sustentável.** Viçosa, MG: UFV, 2004. Disponível em:
<http://www.locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/9327/texto%20completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 27 Mai. 2019.

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. Disponível em: <https://www.ufjf.br/analiseambiental/files/2012/02/curso_rad_2008.pdf>. Acesso em: 02 Nov. 2019.

TAVARES, S. D. L., Oliveira, S. A., Salgado, C. M. 2013. **Avaliação de espécies vegetais na fitorremediaçãoe solos contaminados por metais pesados**. Holos 5. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/4815/481548607008.pdf>. Acesso em: 27 Mai. 2019.

TEJADA, M.; HERNANDEZ, M. T.; GARCIA, C. **Soil restoration using composted plant residues: Effects on soil properties.** Soil and Tillage Research, v. 102, n. 1, p. 109-117, 2009.

TOMÉ JÚNIOR, Juarez Barbosa. **Manual para interpretação de análise de solo.** Guaíba: agropecuária, v. 19997, 1997.

WHITE, Philip J. **10 Heavy Metal Toxicity in Plants**. Plant stress physiology, v. 2, n. 5, p. 210, 2012.

ZAGO, Valéria Cristina Palmeira; DAS DORES, Nathália Corrêa; WATTS, Beatriz Amanda. **Strategy for phytomanagement in an area affected by iron ore dam rupture: A study case in Minas Gerais State, Brazil**. Environmental pollution, v. 249, p. 1029-1037, 2019.Disponível em:<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.03.060.>. Acesso em: 10 Nov. 2019.