

**INSTITUTO FEDERAL DE MINAS GERAIS
CAMPUS SÃO JOÃO EVANGELISTA
APARECIDA SARDINHA DOS SANTOS**

**CULTIVO DE ESPÉCIES VEGETAIS COM ÁGUA DO RIO DOCE CONTAMINADA
COM REJEITO DE MINERAÇÃO.**

**SÃO JOÃO EVANGELISTA
2016**

APARECIDASARDINHA DOS SANTOS

**CULTIVO DE ESPÉCIES VEGETAIS COM ÁGUA DO RIO DOCE CONTAMINADA
COM REJEITO DE MINERAÇÃO.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto Federal de Minas Gerais – Campus São João Evangelista como exigência parcial para a obtenção do título de Especialista em Meio Ambiente.

Orientador: Dr. Aderlan Gomes da Silva

SÃO JOÃO EVANGELISTA

2016

FICHA CATALOGRÁFICA

S586c Santos, Aparecida Sardinha dos
2016

Cultivo de espécies vegetais com água do Rio Doce contaminada com rejeito de mineração. / Aparecida Sardinha dos Santos. – 2016.
25f.

Monografia (Especialização em Meio Ambiente) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus São João Evangelista, 2016.

Orientador: Professor Dr. Aderlan Gomes da Silva

1. Rejeito de Mineração. 2. Espécies vegetais. 3. Rio Doce.
4. Fitoextrator. I. Santos, Aparecida Sardinha dos. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus São João Evangelista. III. Título.

CDD 632.19

Elaborada pela Biblioteca Professor Pedro Valério

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais.
Campus São João Evangelista

Bibliotecária Responsável: Rejane Valéria Santos – CRB-6/2907

APARECIDA SARDINHA DOS SANTOS

AGRADECIMENTOS

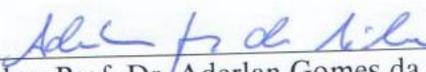
**CULTIVO DE ESPÉCIES VEGETAIS COM ÁGUA DO RIO DOCE CONTAMINADA
COM REJEITO DE MINERAÇÃO.**

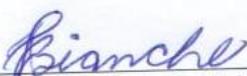
Trabalho de conclusão de curso apresentado
ao Instituto Federal de Minas Gerais –
Campus São João Evangelista como
exigência parcial para a obtenção do título de
Especialista em Meio Ambiente.

Orientador: Dr. Aderlan Gomes da Silva

Aprovada em 28 de outubro de 2016

BANCA EXAMINADORA


Orientador: Prof. Dr. Aderlan Gomes da Silva
Instituto Federal de Minas Gerais – Campus São João Evangelista


Prof. Dra. Juliana Jerásio Bianche –
Instituto Federal de Minas Gerais - Campus São João Evangelista.


Prof. Msc. Alisson José Eufrásio de Carvalho
Instituto Federal de Minas Gerais - Campus São João Evangelista

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela saúde, força e determinação para não desistir jamais permitindo que concluísse mais essa etapa.

À família, pelo exemplo, compreensão e apoio nessa caminhada.

Ao professor Dr. Aderlan Gomes da Silva, pela orientação e pela referência profissional.

A Alex Wesley Gonçalves dos Santos por toda colaboração e amor a mim dedicados.

Em especial aos amigos, Euller Sardinha, Carlos Henrique Azevedo e Luilla Lemes, pela valiosa ajuda e apoio na realização dos trabalhos.

Aos membros da comissão julgadora, pela disponibilidade e contribuição.

A todos que, direta ou indiretamente contribuíram para realização desse trabalho.

O meu sincero Muito Obrigada!

Tudo aquilo que sonha e espera de melhor está ao alcance de suas mãos, aguardando o seu pronto restabelecimento e amadurecimento espiritual.

Tudo o que se deseja é possível de se obter, mas se faz preciso acreditar, pensar firmemente no melhor, para depois recebê-lo.

Crie as oportunidades para conseguir o que deseja.

Faça um esforço.

O que Deus lhe destinou por mérito só compete a você fazer por merecer realmente.

Valdemir R. Barbosa.

RESUMO

A contaminação causada nos cursos d'água por metais pesados oriundos de rejeitos de mineração é uma grande preocupação ecológica, devido ao seu caráter prejudicial à qualidade ambiental. No presente trabalho objetivou-se avaliar o efeito da água do Rio Doce no crescimento de espécies vegetais. O experimento foi instalado com 2 tratamentos: T1 – Solução nutritiva com água destilada; T2 – solução nutritiva com água do Rio Doce utilizada na irrigação dos cultivares *Lactuca sativa* (Alface Regina), *Phaseolos vulgaris* (feijão carioca) e *Peltophorum dubium* (Tamboril Bravo) plantados em sacos de polietileno acondicionados em bandejas plásticas. A avaliação dos dados foi feita através de teste F para análise de variância das médias de massa seca de parte aérea e raiz para o feijão e alface, e para o tamboril além das médias de massa seca foram feitas as médias para diâmetro e altura. Ocorrendo diferenças significativas, entre os tratamentos, comparou-se as médias pelo teste de t Student a nível de 5% de significância. A alface e o tamboril-bravo submetidos ao tratamento com água do Rio Doce tiveram produção de matéria seca de raízes e folhas afetadas. O feijão não apresentou diferença em sua produção de massa seca, as características mostraram que os metais translocaram-se bastante para a parte aérea indicando seu potencial como fitoextratoras.

Palavras- chave: Mineração. Metal pesado. Crescimento.

ABSTRACT

The contamination caused the watercourses by heavy metals coming from mining waste is a major environmental concern because of its harmful character to environmental quality. In the present study aimed to evaluate the effect of water from the Rio Doce in the growth of plant species. The experiment was carried out with two treatments: T1 - Nutrient solution with distilled water; T2 - nutrient solution with water from the Rio Doce used for irrigation of crops *Lactuca sativa* (lettuce Regina), *Phaseolus vulgaris* (common bean) and *Peltophorum dubium* (monkfish Bravo) planted in polyethylene bags packed in plastic trays. The evaluation of the data was done by F test for dry mass means of variance analysis of shoot and root for beans and lettuce, and the monkfish beyond the dry mass of means were made to the average diameter and height. There are significant differences between treatments, compared to the average for the Student t test at the 5% level of significance. Lettuce and monkfish bravo undergoing treatment with water from the Rio Doce had dry matter production of roots and leaves affected. The beans showed no difference in their dry matter production, the characteristics showed that the metals-translocated enough to shoot indicating its potential as fitoextratoras.

Key words: Mining. Heavy metal. Growth

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	7
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	8
2.1 REJEITOS DE MINERAÇÃO.....	8
2.2 EFEITO DA TOXICIDADE DE METAIS NAS PLANTAS.....	9
2.3 IMPACTOS AMBIENTAIS CAUSADOS PELA MINERAÇÃO	11
3 METODOLOGIA	13
3.1 INSTALAÇÕES E EQUIPAMENTOS	13
3.2 TRATAMENTOS	14
3.3 CONDUÇÃO	14
3.4 ANÁLISES DE CRESCIMENTO DAS PLANTAS	14
3.5 PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA DO SISTEMA RADICULAR E DA PARTE AÉREA.....	15
3.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	15
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	16
5 CONCLUSÃO	21
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	22

1 INTRODUÇÃO

A poluição de ambientes aquáticos por metais é um fator que altera a qualidade do meio ambiente e traz risco eminente de intoxicação ao homem e às plantas. Diversos estudos têm sido feitos com o intuito de quantificar os impactos ambientais causados pelo aumento da concentração de metais pesados no meio ambiente, metais esses que podem ser originários de processos litogênicos ou atividades antrópicas como a mineração.

No dia cinco de novembro de dois mil e quinze ocorreu no município de Mariana (MG) o rompimento da Barragem de Rejeitos do Fundão, da empresa SAMARCO MINERAÇÃO S/A, com o galgamento e erosão da Barragem de Santarém, esse rompimento liberou um volume estimado de 34 milhões de metros cúbicos de rejeitos de mineração, água e materiais utilizados em sua construção, causando diversos impactos socioeconômicos e ambientais na bacia do Rio Doce.

A lama e os sedimentos das barragens da mineradora atingiram o leito do Rio Doce, e a qualidade da água nos municípios atingidos foi comprometida, principalmente devido aos elevados índices de turbidez e risco de contaminação por metais pesados oriundos do processo de beneficiamento do minério.

O Ministério Público de Minas Gerais (MPMG) apresentou o resultado das análises laboratoriais feitas em amostras coletadas em 19 de novembro de 2015 diretamente no Rio Doce e nos sedimentos, onde se constatou a presença de metais, inclusive os classificados como metais pesados segundo a União Internacional de Química Pura e Aplicada (Iupac), e esses estavam acima do padrão estabelecido pela Deliberação DNC Copam/CERH-MG na água bruta do rio em Governador Valadares.

Fundamentado nas informações supracitadas, essa pesquisa objetivou avaliar o efeito da água do Rio Doce no crescimento de espécies vegetais.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para o desenvolvimento desse trabalho foram abordados diversos itens, que são de suma importância, sendo eles:

2.1 REJEITOS DE MINERAÇÃO

Segundo POLETTI et al., 2014 uma das atividades industriais exercidas pelo homem com intuito de obtenção de lucro é a mineração, porém os indivíduos que exercem essas atividades muitas vezes não possuem conhecimentos prévios em relação aos estragos que podem causar ao meio ambiente. A destruição da cobertura vegetal, a erosão dos solos, e a lixiviação dos metais para o lençol freático podem provocar um acréscimo significativo das concentrações de metais no meio aquático (OLIVEIRA, 2007).

De acordo com relatório diagnóstico do IPEA 2012, a atividade de mineração gera dois tipos principais de resíduos sólidos, sendo eles resíduos estéreis e rejeitos. Os estéreis são oriundos da extração ou lavra, não tem valor econômico e são simplesmente deixados em pilhas nos locais de mineração, já os rejeitos resultam do beneficiamento aos quais os minerais são submetidos. Estes processos têm a finalidade de padronizar granulometricamente os fragmentos, remover minerais associados sem valor econômico e aumentar a qualidade, pureza ou teor do produto final via purificação que pode ser física ou química. Essa etapa de beneficiamento tem como problemática a geração de grandes volumes e massas de resíduos misturados à água (DNPM, 2012).

Segundo Andrade (2014), os rejeitos depois de gerados são dispostos em sua maioria em barragens que caracterizam a principal forma de disposição de rejeitos minerários em Minas gerais, armazenando aproximadamente 85% dos rejeitos gerados no estado. Castro et al. (2011), descreveram as barragens de rejeitos como iniciativas com grandes impactos ao meio ambiente que provocam desmatamentos, poluição da água superficial e subterrânea, geração de poeira e impacto visual.

No que diz respeito aos impactos ambientais causados, a água que é levada para as barragens voltam ao processo produtivo no beneficiamento dos minérios, no entanto os sólidos gerados são direcionados as barragens muitas vezes sem nenhuma reutilização podendo perdurar como impacto ambiental mesmo após a desativação de tais barragens (ANDRADE, 2014).

As barragens são obras grandiosas e apresentam grandes riscos em consequência de rompimentos, infiltrações no solo, mau funcionamento e vazamentos, prova disso os desastres recentes que ocorreram no Brasil como o rompimento de uma das barragens da mineradora Rio Pomba Cataguases que ocorreu em 10 de janeiro de 2007 em Mirai (MG), espalhando aproximadamente dois milhões de metros cúbico de bauxita pela cidade e por outros quatro municípios: Muriaé, Patrocínio de Muriaé, Laje de Muriaé e Itaperuna, no Rio de Janeiro. (CETEM, 2012). No quadrilátero ferrífero em Itabirito (MG) em 10 de setembro de 2014 ocorreu rompimento de barragem de contenção de rejeitos da mineração Herculano, esse desastre causou grandes impactos na região metropolitana de Belo Horizonte, pois além de deixar mortos e feridos afetou córregos da Bacia do Rio das Velhas (FEAM, 2014).

Em Minas Gerais em novembro de 2015, o rompimento da Barragem do Fundão da SAMARCO MINERAÇÃO S/A, com o galgamento e erosão da Barragem de Santarém, ocasionando danos incalculáveis ao meio ambiente e a sociedade nunca vistos no estado, pois o deslocamento da lama ocorreu desde o distrito de Bento Rodrigues (Mariana- MG) até a foz do Rio Doce (CEAT, 2016). O relatório analítico parcial da lama oriunda do rompimento da barragem do Fundão emitido em novembro de 2015, comprovou que os índices de metais como arsênio, bário, boro, cádmio, chumbo, ferro, mercúrio, zinco, alumínio, níquel entre outros estavam todos com valores acima dos que são considerados como referência minimamente aceitável pelos órgãos fiscalizadores.

Em julho de 2016 foram realizadas análises da água tratada em amostras coletadas em Governador Valadares e não foram detectados, metais tóxicos e prejudiciais à saúde humana em concentrações acima dos padrões de potabilidade, tais como os metais pesados: arsênio, bário, cádmio, chumbo, cobre, cromo, mercúrio, níquel e selênio, mas o alumínio apresentou na maioria das amostras concentrações acima dos limites estabelecidos na Portaria MS No 2914/2011(CEAT, 2016).

2.2 EFEITO DA TOXICIDADE DE METAIS NAS PLANTAS

São considerados perigosos para as plantas ,metais como Zn, Cu, Ni e Cr além de As, Cd, Co, Pb, Mo e Se (BAIRD, 2001). A avaliação de concentração no tecido, a visualização dos sintomas, o crescimento e produção são os principais aspectos a serem observados para que se estabeleça o nível de fitotoxidez de cada elemento (SIMÃO e SIQUEIRA, 2001).

A principal diferença entre os compostos orgânicos tóxicos e os metais é que os metais não se degradam, proporcionando a acumulação desses na formação do ambiente e assim tornando visível seu efeito tóxico (BARD et al., 2002).

De acordo com Rodrigues 2016, existem diversas respostas que são dadas pelas plantas quando essas se desenvolvem em ambientes expostos à metais pesados, e de acordo com essas reações à contaminação é que podemos analisar o quanto a planta resiste aos efeitos nela causados e por consequência, como esses interferem em seu desenvolvimento.

BERTOLI (2011) afirmou que as reações químicas e bioquímicas ocorrentes aos metais pesados disponíveis no solo comprometem a sua disponibilidade e toxicidade para as plantas afetadas. A concentração desses elementos e seu caráter acumulativo nas plantas dependem diretamente do índice de disponibilidade no solo (SILVA et al., 2015).

Existem metais que fazem parte da composição de proteínas e enzimas das plantas como cobre (Cu), zinco (Zn) e cobalto (Co), e são considerados imprescindíveis para o desenvolvimento das mesmas, no entanto podem ter efeito tóxico quando estão em grandes concentrações. Alguns metais não fazem parte do processo de formação e desenvolvimento dos vegetais como cádmio (Cd), chumbo (Pb), arsênio (As) e selênio (Se) e apresentam toxicidade em quantidades ínfimas que podem ser analisadas de acordo com os sintomas apresentados pela planta (HALL, 2005).

Os metais pesados uma vez em contato com as plantas causam danos fisiológicos atingindo primeiramente a membrana plasmática causando prejuízos ao seu funcionamento podendo aumentar o número de extravasamentos das células (QUARTACCI et al., 2001).

Segundo Rodrigues 2016, a nível celular diversos estudos comprovaram que maiores extravasamentos das células ocorreram devido aos efeitos negativos ocasionados à membrana pelos metais. Esses danos podem ser explicados por diversos fatores sendo eles: inativação de enzimas citoplasmáticas, peroxidação dos lipídeos que ocorrem devido à inativação das proteínas essenciais, juntamente com as mudanças na composição no processo de fluidez da membrana lipídica, podendo ocorrer também o aumento da permeabilidade na membrana mitocondrial interna, efeito esse causado pela queda da fosforilação (GUIMARÃES et al., 2008).

Outro efeito causado na membrana é a ligação dos metais a grupos sulfidril de proteínas, que acarretam inibição de suas funções normais, com possível rompimento de sua estrutura ou deslocamento de um elemento essencial que originará sintomas de deficiência; a cadeia

transportadora de elétrons também sofre com a toxicidade, assim como inativação das enzimas do ciclo de Calvin e redução da condutância estomática (GUIMARÃES et al, 2008).

Em plantas contaminadas por metais a fotossíntese fica comprometida, pois esses metais inativam as enzimas que sintetizam os pigmentos ocasionando a diminuição da clorofila e carotenoides (SANTOS et al., 2011). Esses efeitos causam a diminuição do nível energético da planta e por consequência diminui a capacidade de absorção dos micronutrientes minerais e o crescimento (MARQUES et al. 2007).

Alterações no aspecto morfológico das plantas resultam da toxicidade dos metais afetando a morfologia das folhas, frutos ou raízes. A clorose é o efeito tóxico mais comum em plantas contaminadas, ocorrendo pela falta de clorofila e algumas vezes pode ser seguida de degenerescência. Outros sintomas que se evidenciam com a absorção de metais é o raquitismo das plantas que apresentam tamanhos bem abaixo do normal e a necrose que após o surgimento de manchas escuras nas plantas levam-nas a se desfazerem (ALVARENGA et al.1998).

2.3 IMPACTOS AMBIENTAIS CAUSADOS PELA MINERAÇÃO

Apesar de ser indiscutivelmente um dos mais importantes setores da economia brasileira gerando riqueza e crescimento, a indústria extrativa mineral se enquadra dentre as que mais causam impactos socioeconômicos e ambientais negativos ao ambiente onde são realizadas as atividades, pois essas regiões exploradas sofrem e não escapam de modificações irreversíveis. (FARIAS, 2002).

De acordo com PORTELLA et.al , 2015, a mineração se estabelece atualmente como a atividade que menos tem cuidado com os efeitos causados ao meio ambiente, pois consome volume exagerado de água na pesquisa mineral, na lavra, no beneficiamento e no transporte por mineroduto, existindo situações onde o lençol freático é rebaixado para o processo de lavra prejudicando os demais consumidores da região, limitando o uso para fins industriais negando o uso humano e animal. A má utilização da água pelas mineradoras tem gerado conflitos em função da troca dos usos prioritários e por políticas públicas que suprimem a população local. Para PENNA 2015, a falta de pessoas conscientes exercendo as atividades e a distância de áreas urbanas propicia esse descaso com as leis ambientais.

Para BITAR, 1997 a atividade de mineração provoca diversas consequências indesejadas que são chamadas de externalidades, essas externalidades compreendem alterações ambientais,

depreciação de imóveis próximos às áreas mineradas, conflitos de uso do solo e transtornos ao tráfego urbano além de grande número de áreas degradadas.

De acordo com ASSIS et al 2011, evidenciam-se diversos impactos negativos da atividade mineradora local, dentre eles: a) comprometimento das áreas de recarga de aquíferos; b) vulnerabilidade da área ao surgimento de “desertos de pedra”; c) poluição do solo; d) poluição sonora; e) impactos visuais; f) compactação do solo; g) estradas mal planejadas; h) poluição atmosférica; i) assoreamento de corpos hídricos; j) perda de banco de sementes; k) perda de vegetação da biota local; l) degradação do entorno e m) obstrução do leito suplementar dos córregos e calhas de drenagem.

Segundo OLIVEIRA apud BRUM, 2000, o ato de minerar é assegurar, economicamente com ínfima perturbação ambiental, com justa remuneração em uma atividade segura que se preocupe com os princípios de conservação mineral e com serviço social. A questão ambiental ao longo dos anos vem sendo imposta na implantação das atividades de mineração, pois gradativamente vem sendo impostas em projetos, medidas que mitigam os impactos causados, como controle da poeira e ruídos e mudanças em processos de operação para serem menos agressivos e contribuïrem para a mínima perturbação ambiental.

Para ARAÚJO et al, os efeitos negativos da extração mineral estão diretamente ligados as fases de exploração, podendo acontecer desde o processo de lavra, transporte e beneficiamento até depois do fechamento da mina com o encerramento de todas as suas atividades, pois além de afetar o meio físico provocando desmatamentos e erosões por exemplo afeta a qualidade de vida das pessoas que residem no entorno da área minerada. Segundo PAIVA, 2006, se esses impactos não são observados e corrigidos a tempo acabam se transformando em passivos ambientais que são frequentes em nosso país como minas abandonadas há muito tempo que geram problemas e poluição até hoje.

3 METODOLOGIA

Este item foi dividido em tópicos: Instalações e equipamentos, Tratamentos, condução, Análises de crescimento das plantas, Produção de matéria seca do sistema radicular e da parte aérea e Análise estatística.

3.1 INSTALAÇÕES E EQUIPAMENTOS

Para avaliar a influência de metais pesados no desenvolvimento das plantas, o experimento foi conduzido no laboratório de Energia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - Campus São João Evangelista (IFMG-SJE), no período de 14 de julho a 26 de setembro de 2016.

Os recipientes utilizados no estudo foram sacos de polietileno (8x15 cm) contendo 200 gramas de areia desinfestada em estufa de circulação de ar a 85 °C por 48 horas. Esses foram acondicionados em bandejas plásticas durante todo o experimento. Com o auxílio de uma pipeta (capacidade: 10 ml) foi fornecida às plantas a solução nutritiva respectiva a cada tratamento.

A solução nutritiva foi preparada em balão volumétrico de 1000 ml, a partir do fertilizante mineral misto Vitaplan® - Nutriverde de natureza farelada e fórmula 13-13-15 com micronutrientes (Tabela 1). Para cada solução preparada diluíram-se 5 gramas de fertilizante mineral em 1 litro de água que foi levada ao agitador por 5 minutos, preparando uma nova solução a cada 3 dias para maior eficiência.

TABELA 1 – Composição do fertilizante mineral misto Vitaplan® - Nutriverde.

Nutrientes	Concentração (g.dm ⁻³)
Nitrogênio (N) Total	0,65
Fosforo (P ₂ O ₅ solúvel em água)	0,65
Potássio (K ₂ O solúvel em água)	0,75
Cálcio (Ca)	0,05
Enxofre (S)	0,2
Boro (B)	0,0025
Cobalto (Co)	0,0025
Cobre (Cu)	0,0025
Ferro (Fe)	0,01
Magnésio (Mg)	0,05
Molibdênio (Mo)	0,0025
Zinco (Zn)	0,005

3.2 TRATAMENTOS

Com base na água utilizada na irrigação dos cultivares *Lactuca sativa* (Alface Regina), *Phaseolos vulgaris* (feijão carioca) e *Peltophorum dubium* (Tamboril Bravo), determinaram-se dois tratamentos. Sendo: T1 – Solução nutritiva com água destilada; T2 – solução nutritiva com água do Rio Doce. Esta última foi coletada em 28 de junho de 2016 em ponto único às margens do Rio Doce na cidade de Governador Valadares, Minas Gerais que se encontra a 18°86'14.8" e -41°94'42,5". A água foi coletada, armazenada e transportada em 5 galões plásticos com capacidade de 20 litros cada.

3.3 CONDUÇÃO

Após a semeadura dos cultivares em areia esses foram irrigados com 1 ml de solução nutritiva diariamente. Posteriormente à germinação, dobrou-se a quantidade de solução nutritiva em cada planta no período da manhã.

Aumentou-se gradativamente a quantidade de solução aplicada nas mudas, quando aos 31 dias iniciou-se a aplicação de 2,5 ml de solução nutritiva no feijão, 35 dias na alface e por fim o tamboril com 49 dias. A dosagem mais elevada ocorreu aos 60 dias após plantio onde se padronizou 3 ml para todas as mudas. As alterações de quantidade de solução para cada espécie ocorreu de acordo com a necessidade de macro nutrientes apresentada pelas plantas, lembrando que as mesmas foram observadas diariamente e irrigadas na parte da tarde quando necessário, o que era percebido pela turgescência das folhas.

3.4 ANÁLISES DE CRESCIMENTO DAS PLANTAS

Aos 69 dias foram tomadas as medidas de altura e diâmetro no tamboril. Para a altura mediu-se a distância entre o colo da planta até a extremidade superior da folha mais alta utilizando régua e para o diâmetro utilizou-se paquímetro digital. Não foram mensurados parâmetros de crescimento para alface e feijão, devido ao hábito herbáceo das plantas.

Durante a condução do experimento, ocorreu ataque de díptera e as mudas afetadas foram descartadas, visto que as larvas do inseto danificaram o sistema radicular das plantas. Diante disso, houve a necessidade de três aplicações de inseticida Diazinon 40 visando o não

comprometimento do estudo. O inseticida foi aplicado em todas as plantas de todos os tratamentos.

3.5 PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA DO SISTEMA RADICULAR E DA PARTE AÉREA

Para avaliação da massa seca das plantas, retiraram-se as raízes da areia lavando-as em água corrente sobre peneiras com malha 0,5 mm. Em seguida, separaram-se as raízes da parte aérea das mudas com o auxílio de tesoura, cortando-as na altura do coleto.

O sistema radicular e a parte aérea das plantas após lavagem foram secos separadamente, colocados em sacos de papel identificados e mantidos em estufa com circulação forçada de ar (marca Cienlab), a 65°C até atingir peso constante, após isso o material foi pesado em balança digital com quatro casas decimais, obtendo-se a massa seca da parte aérea e massa seca radicular.

3.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Quanto à análise estatística, realizou-se o teste F para análise de equivalência de variância dos tratamentos para as variáveis de massa seca de parte aérea e raiz para o feijão e alface. Para o tamboril além das variáveis citadas foram avaliadas também o diâmetro e a altura, utilizando-se o software de planilha eletrônica EXCEL. Em seguida foi utilizado o teste T de Student a nível de 5% de significância para avaliar a diferença entre as médias dos tratamentos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A irrigação das plantas com solução nutritiva preparada com água do Rio Doce prejudicou o crescimento de duas das espécies avaliadas. Pode-se constatar efeito significativo, pelo teste t a 5%, entre os tratamentos com água destilada e com água do Rio Doce para a alface e o tamboril-bravo, mostrando que a produção de matéria seca de raízes e de folhas das espécies foi influenciada de modo diferenciado pela contaminação da água, já que no feijão não se teve diferença significativa entre os tratamentos. Na Tabela 2 estão contidos os resultados da comparação das médias dos tratamentos em cada variável pelo teste t de Student e os valores de desvio padrão.

Tabela 2 - Valores médios de massa seca de parte aérea (MSPA) e massa seca de raiz (MSR), em gramas, submetida aos dois tratamentos. Entre parênteses encontram-se os valores de desvio padrão, em gramas, de cada variável.

	Tamboril		Alface		Feijão	
	Água Destilada	Água Rio Doce	Água Destilada	Água Rio Doce	Água Destilada	Água Rio Doce
MSPA	0,4028a	0,1413b	0,1102a	0,014b	0,4016a	0,4451a
	(0,2846)	(0,0649)	(0,0946)	(0,0083)	(0,1839)	(0,3968)
MSR	0,0749a	0,0215b	0,0108a	0,0016b	0,0683a	0,0855a
	(0,0501)	(0,0147)	(0,0093)	(0,0005)	(0,0438)	(0,118)

Médias seguidas de mesma letra, para a mesma cultura, na mesma linha, não diferem pelo teste t ao nível de 5% de significância.

A produção de massa seca de raiz e parte aérea do feijão não tiveram diferenças significativas ao compararmos os tratamentos, As folhas do feijão que caíram durante o experimento foram armazenadas e tiveram sua massa seca determinada, sendo que o feijão cultivado com a água destilada teve massa referente a 5,847 g e o de água do rio Doce 3,378 g.

A contaminação da água afetou o desenvolvimento do feijão que apresentou queda precoce das folhas, clorose nos tecidos foliares e atraso do início da floração e conseqüentemente diminuição e atraso da produção considerando que houve produção de apenas duas vagens com massas bem inferiores às de vagens saudáveis. No feijão foram detectadas pequenas

deformações no caule das plantas submetidas ao tratamento 2 no qual as plantas foram irrigadas com solução nutritiva preparada com água do Rio Doce (Figura 1).

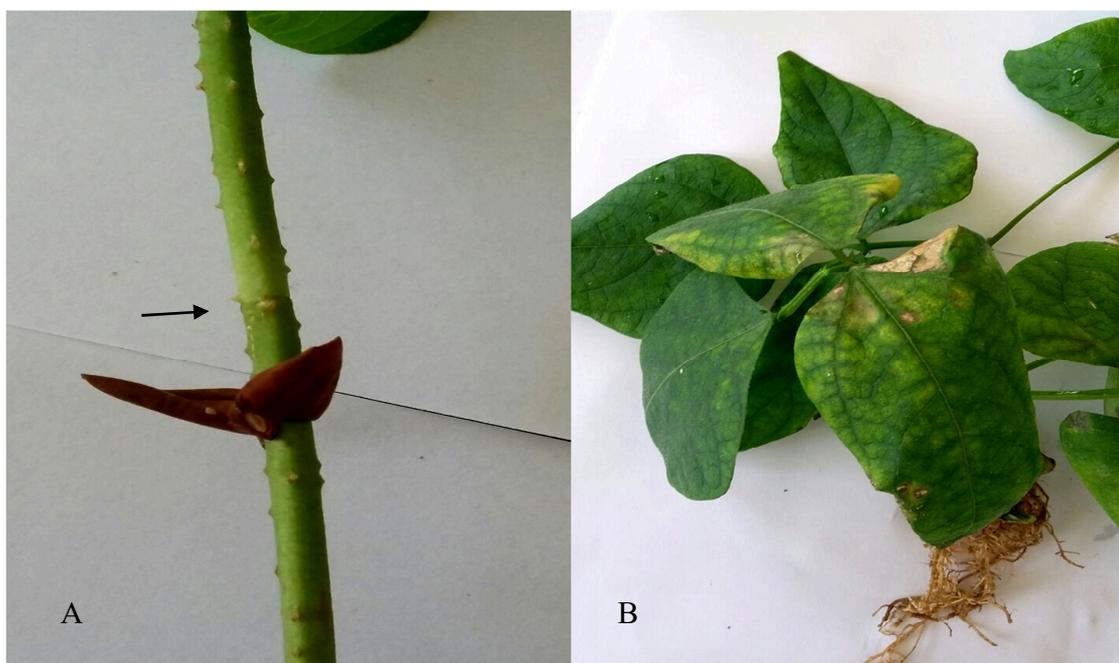


Figura 1- Sintomas em plantas de feijão. A: Deformações no caule do feijão, B: Folhas do feijão com características de clorose.

Para alface foi constatada sensibilidade muito alta no que diz respeito aos efeitos da contaminação sendo que as sementes germinaram, porém começaram a morrer. As mudas que sobreviveram tiveram seu crescimento muito afetado, pois aparentaram cabeças bem menores com folhas estioladas, mostrando que na relação sintoma x função os elementos acumularam-se provocando toxicidade (Figura 2).

Analisando a sobrevivência das mudas cada planta foi considerada uma amostra. Estipulou-se 15 amostras para cada tratamento, onde sobreviveram 8 mudas no tratamento com água destilada, e apenas 6 no tratamento com água do Rio Doce, que possuíam tamanho muito inferior as do tratamento 1.



Figura 2-Aspectos visuais de crescimento de *Lactuca sativa*, a esquerda plantas submetidas ao tratamento 1 e a direita plantas submetidas ao tratamento 2

Silva 2006 avaliando o comportamento de arroz e soja submetidos a solos contaminado com elementos traços essenciais e não essenciais e Moraes 2011 analisando alterações em plantas de tomate expostas ao chumbo, corroboraram dos mesmos resultados, pois em seus estudos concluíram que a toxidez causada pela presença de metal pesado pode ser observada por diversas alterações no crescimento e desenvolvimento das plantas que provocaram mudanças morfológicas, fisiológicas, bioquímicas e estruturais nos vegetais.

O crescimento em altura e diâmetro de *Peltophorum dubium*, foi influenciado pela contaminação da água (Tabela 3). Dadas as diferenças iniciais no desenvolvimento e na velocidade de crescimento após germinação quando comparados os tratamentos, demonstrando que há uma influência dos teores de metais disponíveis na planta sob o crescimento da espécie.

Segundo Pires (2012), no comportamento fisiológico de plantas expostas a diferentes metais o crescimento da planta é a ferramenta de mais fácil mensuração para monitorar os efeitos dos metais sendo as modificações mais previsíveis na planta sujeita toxicidade.

Moraes e Siqueira 2000, ao analisarem o crescimento de mudas arbóreas em solos contaminados com metais pesados concluíram que o *P. dubium* dentre outras espécies foi pouco afetado com 20% de solo contaminado, porém ao aumentar a concentração da contaminação no solo se mostrou muito sensível, evidenciando sua baixa tolerância a níveis elevados de poluentes

Tabela 3- Valores médios de altura (cm) e diâmetro (mm), de *Peltophorum dubium* submetida aos dois tratamentos. Entre parênteses encontram-se os valores de desvio padrão, de cada variável.

Tamboril		
	Altura	Diâmetro
Água Destilada	21,8846a (6,2521)	2,1261a (0,6561)
Água Rio Doce	15,9333b (2,7988)	1,4016b (0,2697)

Médias seguidas de mesma letra, para a mesma cultura, na mesma coluna, não diferem pelo teste t ao nível de 5% de significância.

Diversos estudos demonstraram que o tamboril se mostra tolerante quando submetido a um único metal, como no estudo de Adrees et al., 2015, que encontrou resultados semelhantes ao analisar o crescimento do tamboril submetido a concentração de Cu, mostrando que maiores concentrações do metal são potencialmente tóxicas para a maioria das plantas, porém, no tamboril não foram observados efeitos extremos.

Mesmo tendo seu crescimento afetado o tamboril se mostrou mais tolerante aos efeitos da irrigação com a água do Rio Doce, pois não foram observados efeitos de toxicidade como clorose normalmente causada por danos à membrana e queda das folhas (Figura 3). Esses resultados remetem a recomendação de *P. dubium* para composição de reflorestamento em áreas degradadas, devido ao seu rápido crescimento, ampla dispersão e a resistência a baixas concentrações de toxicidade.



Figura 3- Diferença de crescimento em plantas de Tamboril bravo, a esquerda plantas submetidas ao tratamento 1 e a direita plantas submetidas ao tratamento 2.

5 CONCLUSÃO

Entre as três espécies analisadas, a irrigação com solução nutritiva do Rio Doce prejudicou significativamente o tamboril e a alface, mostrando que as respostas das plantas são diferentes ao mesmo tratamento.

O tamboril apresentou restrições quanto ao seu crescimento, porém não foram detectados danos morfológicos mais graves, indicando viabilidade do uso da espécie em recuperação de áreas degradadas devido características de resistência a locais contaminados.

As características das plantas de feijão mostraram que os metais translocaram-se para a parte aérea indicando seu potencial como fitoextratoras, mostrando que deve ser investigado seu potencial fitoextrator para os metais pesados em condições de campo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADREES, M; ALI S; RIZWAN M; IBRAHIM, M.; ABBA, F; FARID, M; ZIA-UR-REHMAN, M; IRSHAD M,K, BHARWANA S,A. **The effect of excess copper on growth and physiology of important food crops: a review**. Environmental Science and Pollution Research, 2015.
- ALVARENGA, P; ARAÚJO, M.F.; SILVAS, J.A.; As Plantas, os Solos, os Metais e a Vida. **Sociedade de Representações e Química**, Lisboa, P 10-19,1998.
- ANDRADE, C.R.L. **Caracterização de rejeitos de mineração de ferro, *in Natura* e segregados, para aplicação como material de Construção civil**. 2014. 96p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2014.
- ARAÚJO, E, R; OLIVERI, R, D; FERNANDES, F,R,C. **Atividade mineradora gera riqueza e impactos negativos nas comunidades e no meio ambiente**. 2º Simpósio Brasileiro de Saúde & Ambiente (2ºSIBSA) 19 a 22 de outubro de 2014-06-16, Belo Horizonte, MG. Disponível em: <<http://www.sibsa.com.br/resources/anais/4/1404160092_ARQUIVO_SIBSA_FranciscoFernandes.pdf>> Acesso em: 20 de novembro de 2016.
- ASSIS, H, F, S; BARBOSA, J, A, A; MOTA, T, S. Avaliação dos impactos ambientais provocados pela atividade mineradora no município de Pedra Lavrada-PB. **Revista Âmbito Jurídico**, Rio Grande, v. 14, n. 90, jul. 2011. Disponível em: <http://www.ambitojuridico.com.br/site/?n_link=revista_artigos_leitura&artigo_id=9925&revista_caderno=5>. Acesso em: 18 de novembro de 2016.
- BAIRD, C. **Environmental Chemistry**. 2.ed. New York: W.H. Freedman & Company, 2001.
- BARD, A. J.; ZOSKI, C. G., **Voltammetric Retrospective**, Anal. Chem, 72, 364 A, 2002.
- BERTOLI, A. C. **Efeitos do cádmio e do chumbo no crescimento, translocação e teor de nutrientes tomateiro (*Lycopersicum esculentum*) cultivado em solução nutritiva**. 2011. 95p. Dissertação (Mestrado em Agroquímica) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.
- BITAR, O. Y. **Avaliação da recuperação de áreas degradadas para mineração Região Metropolitana de São Paulo**. SP 1997.
- BRUM, I, A, S. **Recuperação de áreas degradadas pela mineração**. Dissertação (Especialização em gerenciamento de tecnologias de saneamento). 2000. Escola Politécnica, Departamento de hidráulica e saneamento.2000.
- CASTRO, T. A.; NALINI JUNIOR, H. A.; LIMA, H. M. **Entendendo a Mineração no Quadrilátero Ferrífero**. Belo Horizonte: Ecológico. 93 p. 2011.

CEAT - Central de Apoio Técnico, Laudo técnico: **Qualidade da água no município de Governador Valadares, após o desastre ambiental causado pelo rompimento das barragens da SAMARCO MINERAÇÃO S/A.** Disponível em

<<http://aconteceunovale.com.br/portal/?p=94102>>. Acesso em: 09/08/2016.

CETEM , **Rompimento de barragem da Mineradora Rio Pomba Cataguases afeta qualidade da água em MG e no RJ.** Disponível em:

<<http://www.cetem.gov.br/images/palestras/2015/mariana/verbete-rio-pomba.pdf>> Acesso em 18/10/2016.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PESQUISA MINERAL – DNPM. Portaria DNPM n. 416 de 03 de setembro de 2012. **Cria o Cadastro Nacional de Barragens de Mineração e dispõe sobre o Plano de Segurança, entre outros.** Disponível em

<<http://www.mgamineracao.com.br/pordentro/noticias/barragens.pdf>> Acesso em: 16/10/2016.

FARIAS, C.E.G. **Mineração e meio ambiente.** Relatório Preparado para o CGEE PNUD, Contrato 2002/001604, Brasil, 2002.

FEAM- Fundação Estadual do Meio Ambiente. **Inventário de Barragens 2014,** Disponível em: <http://www.feam.br/images/stories/2015/DECLARACOES_AMBIENTAIS/GESTAO_DE_BARRAGENS/correo_inventrio%20de%20barragens_2014_final.pdf> Acesso em 18/10/2016.

GUIMARÃES, M. D. A.; Santana, T. A.; Silva, E. V.; Zenzen, I. L.; Loureiro, M. E. **Toxicidade e tolerância ao cádmio em plantas.** Revista Trópica-Ciências Agrárias e Biológicas, 2008, 2, 58.

HALL, J. L. **Cellular mechanisms for heavy metal detoxification and tolerance.** Journal of Experimental, Botany , 53, 1, 2002

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA-IPEA. Relatório de pesquisa: **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos da Atividade de Mineração de Substâncias Não Energéticas.** Disponível em <

http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/120814_relatorio_atividade_e_mineracao.pdf> Acesso em 18/09/2016.

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

MARQUES, T.C.L.L.S.M. **Respostas anatômicas e fisiológicas de *Pfaffia glomerata* E *Eucalyptus camaldulensis* ao Cádmio.** (Doutorado em Fisiologia Vegetal)- Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DE MINAS GERAIS, **MPMG divulga resultados de análises laboratoriais da qualidade da água no Rio Doce.** Disponível em:

<<https://www.mpmg.mp.br/comunicacao/noticias/mpmg-divulga-resultados-de-analises-laboratoriais-da-qualidade-da-agua-no-rio-doce.htm#.WAd6tegrLIU>> Acesso em 19/10/2016.

MORAES, C. L. **Alterações bioquímicas, fisiológicas e ultra estruturais em sementes e plantas de tomate expostas ao chumbo.** 2011. 70f. Tese (Doutorado em Fisiologia Vegetal) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2011.

OLIVEIRA, M. R. **Investigação da contaminação por metais pesados da água e do sedimento de corrente nas margens do rio São Francisco e tributários, a jusante da represa da CEMIG, no município de Três Marias, Minas Gerais.** 2007. 149p. Tese (Doutorado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

OLIVEIRA Jr. J.B. **Custos associados à proteção ambiental na mineração.** Lisboa, 1992, 127p. Dissertação (Mestrado em Mineralurgia e Planejamento Mineiro). Instituto Superior Técnico – Universidade Técnica de Lisboa. Setembro 1992.

PAIVA, C. T. **Proposta de metodologia para análise de passivos ambientais da atividade minerária.** Ministério de Minas e Energia - MME. 2006. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/reuniao/dir934/RelatConsultoriaApresentaoMME_PassivoAmbientais.pdf>. Acesso em: 15 de novembro de 2016.

PIRES, M.F. **Comportamento Fisiológico, Anatômico e Citométrico de Panicum aquaticum Poir. Expostos a diferentes metais pesados.** 2012. 155f. Tese (Mestrado em Agronomia e Fisiologia). Universidade Federal de Lavras. Lavras Minas Gerais, 2012.

PENNA, Carlos Gabaglia. **Efeitos da mineração no meio ambiente,** 2009. Disponível em: <<http://www.oeco.org.br/carlos-gabaglia-penna/20837-efeitos-da-mineracao-no-meio-ambiente>>. Acesso em: 22 de novembro de 2016.

POLETTI, G. D; ETHUR, E. M.; HOEHNE, L. **Determinação de cádmio e chumbo em solos usados em plantações de erva-mate sem e com diferentes tipos de manejo na região sul do país.** Destaques Acadêmicos, v. 6, n. 4, p. 59-65, 2014.

PORTELLA, Márcio Oliveira. **Efeitos colaterais da mineração no meio ambiente.** *Revista Brasileira de Políticas Públicas*, Brasília, v. 5, nº 2, 2015 p.263-276.

QUARTACCI M. F.; COSI, E.; NAVARI-IZZO, F. **Lipids and NADPH-dependent superoxide production in plasma membrane vesicles from roots of wheat grown under copper deficiency or excess.** *Journal of Experimental Botany* 2001, 52, 77.

RELATÓRIO ANALÍTICO PARCIAL – **Água superficial, lama Mariana (Minas Gerais).** Disponível em: <<http://giaia.eco.br/wp-content/uploads/2015/11/RELATORIO-002-63866-96-amostra-lama.pdf>>. Acesso em 12/10 /2016.

RODRIGUES, A. C. D.; SANTOS, A. M.; SANTOS, F. S.; PEREIRA, A. C. C.; SOBRINHO, N. M. B. A. **Mecanismos de respostas das plantas à poluição por metais pesados: possibilidade de uso de macrófitas para remediação de ambientes aquáticos contaminados.** *Revista Virtual de Química*, Seropédica, v.8, n.01; p. 262-276, 2016.

SANTOS, F. S.; DO AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; MAZUR, N.; GARBISU, C.; BARRUTIA, O.; BECERRIL, J. M. Resposta antioxidante, formação de fitoquelatinas e composição de pigmentos fotoprotetores em *Brachiaria decumbens* Stapf submetida à contaminação com Cd e Zn. **Química Nova** 2011, 34, 16.

SILVA, E.; SANTOS, P. S.; GUILHERME, M.F.S. Chumbo nas plantas: uma breve revisão sobre seus efeitos, mecanismos toxicológicos e remediação. **Agrarian Academy**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.2, n.03; p.01- 21, 2015.

SILVA, M. L. S. **Avaliação do comportamento de elementos traços essenciais e não essenciais em solo contaminado sob cultivo de plantas**. 2006. 112p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2006.

SIMÃO, J. B. P.; SIQUEIRA, J. O. **Solos contaminados por metais pesados: características, implicações e remediação**. Informe Agropecuário, v. 22, n. 210, p. 18 – 26, 2001.