

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA – UFRB  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
CURSO DE MESTRADO**

**AVALIAÇÃO DE LINHAGENS DE MAMONA (*Ricinus communis*  
L.) NA FITORREMEDIAÇÃO DE SOLOS CONTAMINADOS POR  
CÁDMIO E CHUMBO**

**JOSINETO DE SOUZA ALVES**

**CRUZ DAS ALMAS, BAHIA  
AGOSTO DE 2013**

**AVALIAÇÃO DE LINHAGENS DE MAMONA (*Ricinus communis*  
L.) NA FITORREMEDIAÇÃO DE SOLOS CONTAMINADOS POR  
CÁDMIO E CHUMBO**

**JOSINETO DE SOUZA ALVES**

Biólogo

Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB, 2002

Dissertação submetida ao Colegiado do Curso do Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Ciências Agrárias, Área de Concentração: Fitotecnia.

**Orientadora: DSc. Simone Alves Silva**

**Co-orientador: DSc. Francisco de Souza Fadigas**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA  
MESTRADO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
CRUZ DAS ALMAS – BAHIA – 2013

A474 Alves, Josineto de Souza

Avaliação de linhagens de mamona (*Ricinus Communis L.*) na fitorremediação de solos contaminados por cádmio e chumbo. /

Josineto de Souza Alves. – Cruz das Almas/BA: UFRB, 2013.

65 f.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias, 2013.

Orientadora: Profª Dsc. Simone Alves Silva

Co-orientador: Profº Dsc. Francisco de Souza Fadigas

1. Fitotecnia. 2. Contaminação do solo. 3. Metais pesados. 4. Chumbo. 5. Cádmio. 6. Santo Amaro – Bahia. I. Silva, Simone Alves. II. Fadigas, Francisco de Souza. III. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias. IV. Título.

CDU 631.41:546.3

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS**

**COMISSÃO EXAMINADORA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE  
JOSINETO DE SOUZA ALVES**

---

Prof.<sup>a</sup> DSc. Simone Alves Silva  
Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas - UFRB  
(Orientadora)

---

Prof.<sup>a</sup> DSc. Jurema de Castro Souza  
Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia da Bahia - IFBA

---

DSc. Ronaldo Viana dos Reis  
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB – PNPD/CAPES

Dissertação homologada pelo Colegiado de Curso de Mestrado em Ciências Agrárias em:.....  
Conferindo o Grau de Mestre em Ciências Agrárias a Josineto de Souza Alves

*É fácil ter gratidão, quando se enxerga a trajetória de vida como uma caminhada de constante aprendizado.*

*Desconhecido*

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar quero agradecer a Deus, arquiteto do Universo, do solo, das plantas, dos seres vivos e que somente através dele tudo se torna possível;

Minha querida esposa Genna, companheira de todas as horas que está ao meu lado incondicionalmente;

Minha orientadora, Prof.<sup>a</sup> DSc. Simone Alves Silva pela confiança e apoio constante no projeto, nas dificuldades enfrentadas e nas resoluções dos problemas;

Ao Prof.<sup>o</sup> DSc. Francisco de Souza Fadigas pela orientação e auxílio nas análises químicas;

A toda equipe do Instituto de Química da Universidade Federal da Bahia pelo auxílio nas análises das amostras das plantas, em especial do Prof.<sup>o</sup> DSc. Sérgio Luís Costa Ferreira;

Ao SENAI/CETIND pelas análises do solo contaminado com cádmio e chumbo;

Aos amigos Clóvis Bastos e Gilberto que contribuíram para o desenvolvimento do presente trabalho;

A todos os colegas do Grupo de Pesquisa do Núcleo de Melhoramento Genético e Biotecnologia da UFRB - NBIO que direta ou indiretamente contribuíram com a realização do presente trabalho;

Ao Prof. DSc. Carlos Alberto da Silva Ledo pelo indispensável auxílio nas análises estatísticas;

Ao Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia – IFBA, pelo apoio necessário nas minhas idas e vindas do *Campus* de Santo Amaro - Bahia onde estou lotado como docente;

Ao Adailton da Associação das Vítimas da Contaminação com Chumbo e Cádmiio (AVICCA) em Santo Amaro - Bahia;

Aos meus colegas do IFBA, aos meus familiares, enfim a todos aqueles que colaboraram direta ou indiretamente na realização do trabalho.

Os meus mais sinceros agradecimentos.

## SUMÁRIO

	Página
RESUMO	
ABSTRACT	
INTRODUÇÃO .....	11
<b>Capítulo 1</b>	
Aspectos da biometria e da biologia floral de linhagens de mamona ( <i>Ricinus communis</i> L.) em solos contaminados por cádmio e chumbo.	23
<b>Capítulo 2</b>	
Avaliação de linhagens de mamona ( <i>Ricinus communis</i> L.) na fitorremediação de solos contaminados por cádmio e chumbo em Santo Amaro - Bahia. ....	49
CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	65



## **AVALIAÇÃO DE LINHAGENS DE MAMONA (*Ricinus communis* L.) NA FITORREMEDIAÇÃO DE SOLOS CONTAMINADOS POR CÁDMIO E CHUMBO**

Autor: Josineto de Souza Alves

Orientadora: DSc. Simone Alves Silva

Co-orientador: DSc. Francisco de Souza Fadigas

**RESUMO:** Estudos apontam que as plantas podem exercer um papel salutar na recuperação de solos contaminados por metais pesados, como o chumbo e o cádmio. No município de Santo Amaro – Bahia, os danos atuais da contaminação por esses elementos no solo e na água do Rio Subaé são quase irreparáveis, sendo fundamental a implantação de estudos visando a descontaminação das áreas afetadas. Nesse sentido a técnica de fitorremediação que consiste na utilização de plantas com potencial fitoextrator de elementos químicos, se apresenta como alternativa viável. O presente trabalho objetivou a realização de estudos experimentais, utilizando cinco linhagens de mamona produzidas pelo Núcleo de Melhoramento Genético e Biotecnologia da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – NBIO/UFRB, para verificar a absorção de chumbo e cádmio em solos contaminados na cidade de Santo Amaro - Bahia. O trabalho foi conduzido em casa de vegetação do NBIO/UFRB, utilizando vasos plásticos de 23 kg. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado com 4 tratamentos e 4 repetições. As avaliações iniciais consistiram na análise biométrica e duração da atividade polínica. As análises de quantificação do chumbo e do cádmio foram feitas por espectrometria de absorção atômica com chama. As avaliações biométricas demonstram que houve diferenças significativas entre os tratamentos; nas avaliações polínicas em todas as linhagens, mesmo em um período de até 15 dias sob condições de refrigeração a viabilidade genética não foi comprometida com a contaminação pelos metais pesados. Foram detectadas altas concentrações de chumbo e cádmio nas partes aéreas e nas raízes da maioria das plantas avaliadas

**Palavras chave:** *Euphorbiaceae*; *descontaminação*; *metais pesados*.

## EVALUATION OF STRAINS OF CASTOR (*Ricinus communis* L.) FOR PHYTOREMEDIATION CONTAMINATED SOIL CADMIUM AND LEAD

Author: Josinete de Souza Alves

Adivisor: DSc. Simone Alves Silva

Co-advisor: DSc. Francisco de Souza Fadigas

**ABSTRACT:** Studies show that plants can play a beneficial role in the recovery of soils contaminated by heavy metals such as lead and cadmium. In Santo Amaro - Bahia current damage from contamination by these elements in soil and water of the Rio Subaé are almost irreparable, and the deployment of more fundamental studies to decontaminate the affected areas. Accordingly phytoremediation technique involving the use of plants with fitoextrator potential of chemicals, providing an alternative feasible. This study aimed to conduct experimental studies using five strains of castor produced by the Núcleo de Melhoramento Genético e Biotecnologia da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – NBIO/UFRB, to check the absorption of lead and cadmium in contaminated soils in the city of Santo Amaro - Bahia. The work was conducted in the greenhouse of NBIO / UFRB using plastic pots of 23 kg. The experimental design was a completely randomized design with 4 treatments and 4 replications. Baseline assessments consisted of biometric analysis and activity duration pollen. The analysis of quantification of lead and cadmium were made by atomic absorption spectrometry with flame. The biometric evaluations show that there were significant differences between treatments; evaluations pollen in all strains, even in a period of 15 days under refrigerated conditions genetic viability was not compromised by contamination with heavy metals. Detected high levels of lead and cadmium in the aerial parts and roots of most plants evaluated.

**Keywords:** Euphorbiaceae; decontamination; heavy metals.

## INTRODUÇÃO

A ação antrópica, a cada dia, deixa o mundo em uma situação de crise cada vez mais generalizada relacionada ao meio ambiente. Os recursos naturais estão sendo explorados sem controle, apesar da rigorosa legislação ambiental implantada em países desenvolvidos ou em desenvolvimento. Uma solução para acabar com essa problemática ainda está distante, pois nas convenções mundiais para preservação da biodiversidade e do meio ambiente, importantes países do G8 não se comprometem em assinar protocolos, esmagando ações dos chamados países do G20 e outros ainda alcançando o desenvolvimento (ROSSET e AVILA, 2008).

Muitos ecossistemas brasileiros já foram comprometidos pela exploração inadequada de recursos naturais e pelos resíduos deixados pela humanidade, contaminando o solo, a água e o ar. Muitos desses resíduos retornam para o homem, através do consumo da água, vegetais e animais contaminados (PELICIONI, 2005).

O solo é contaminado geralmente pela decantação de resíduos produzidos por efluentes industriais e domésticos, sendo liberados de forma geral em cromo, cádmio, arsênio, bário, mercúrio e chumbo. Dentre esses metais pesados, o chumbo tem recebido maior investigação científica, devido aos altos índices de contaminação encontrada em alguns estados do Brasil. (LIMA et al. 2010).

É possível que o solo contenha chumbo naturalmente, mas em quantidade que não representa perigo de contaminação para animais e vegetais. Porém as atividades humanas nas indústrias de beneficiamento de minerais que armazenam chumbo, ou até mesmo indústrias de processamento de petróleo fazem com que os índices desse metal pesado se elevem de forma significativa no solo. É no solo, que esses resíduos costumam ser depositados e uma vez nele, mantêm-se insolúveis, solubilizados ou pode se agregar em compostos orgânicos em forma de colóides, sendo que sua mobilidade é influenciada pelo pH do próprio solo (BORGES e GOETZ, 2008).

Mesmo sendo considerado um dos metais pesados mais perigosos para a saúde do homem e dos animais, o chumbo pode ser acumulado pelas plantas, não desempenhando um papel em seu metabolismo. Quando presente

no solo, o chumbo é absorvido pelos vegetais e esses podem sofrer o processo de inibição do crescimento celular, prejudicando o desenvolvimento da biomassa (BERTOLI et al. 2011). Porém, segundo Abreu et al. (2009) em solos com altas concentrações de chumbo, não foram observados efeitos fitotóxicos em ensaios utilizando concentrações de até 200 mg/L de chumbo solúvel acrescentado ao solo. Segundo os mesmos autores, maior parte do chumbo contido no solo absorvido pela planta permanece nos primeiros 15 cm de profundidade, sendo que apenas uma pequena quantidade pode lixiviar de forma lenta.

Os vegetais não transportam chumbo em quantidades consideráveis para suas partes aéreas. Raramente, pode-se encontrar chumbo em quantidades de até 10 mg/L (BERTOLI et al. 2011). Já no sistema radicular pode conter altas concentrações chegando a até 100% a mais do que as encontradas nas partes superiores. De acordo com Duarte e Pascoal (2000), o transporte do chumbo das raízes até a parte aérea, representa apenas 3%, pois ao contrário da parte radicular, os demais órgãos não possuem a mesma sensibilidade para acumular metais pesados, tornando a raiz, o principal órgão de armazenamento.

Segundo Clemens (2001) certas espécies de plantas e linhagens são capazes de acumular grandes quantidades de metais pesados em seus tecidos e órgãos. Com base nessa característica foi desenvolvido conceito de fitorremediação, onde plantas são usadas na limpeza de solos e água contaminados. O autor desenvolveu um trabalho focado na identificação e caracterização de genes de plantas tolerantes à absorção e acumulação de metais. Esse mesmo autor afirma que fitoquelatinas são tripeptídios lineares, que são parte do sistema de desintoxicação das plantas. Genes que codificam sínteses de fitoquelatina foram clonados e agora estão sendo estudado em relação à sua regulamentação, potencial de bioquímica e biotecnologia.

A fitorremediação compreende uma das técnicas da biorremediação que utiliza vegetais para a absorção de componentes de solos contaminados. (CUNNINGHAM e BERTI, 1993). Segundo Andrade et al. (2007) essa técnica apresenta grande versatilidade e pode ser utilizada para remediação do solo, água ou ar. Ainda, segundo esses autores, a fitorremediação apresenta cinco mecanismos quais sejam: a fitoextração, onde o metal pesado contido no solo,

é absorvido e após esse mecanismo, ocorre seu armazenamento no tecido vegetal; a fitodegradação, onde o elemento contaminante sofre bioconversão no interior ou na superfície do vegetal, tornando-se menos tóxicas; a fitovolatilização, onde o contaminante absorvido é convertido em uma substância volátil, e esta é liberada na atmosfera; a fitoestimulação, onde a presença das plantas estimula a biodegradação microbiana por componentes do sistema radicular e finalmente a fitoestabilização, onde o elemento contaminante sofre uma imobilização através de sua lignificação ou humificação.

Vários estudos têm sido realizados com plantas de interesse agrônomo, para fitorremediação do solo. Dentre elas, podemos citar: o girassol (Alves, 2007), a mamona (Jorge et al. 2010), o feijão de porco (Almeida et al. 2008), o amendoim forrageiro (Souza, 2010), o capim-pé-de-galinha-gigante (Procópio et al. 2008), o arroz (Coutinho e Barbosa, 2007), a algaroba (Holzbach et al. 2012), o vetiver, a jureminha e algaroba (Alves et al. 2008), dentre outras.

Um caso muito grave de contaminação ambiental por resíduos de metais pesados ocorreu no Recôncavo da Bahia. Pelo fato de que por muitos anos, a Companhia Brasileira de Chumbo - COBRAC e posteriormente a Usina Plumbum Mineração e Metalurgia LTDA, operaram na cidade de Santo Amaro - Bahia, onde processavam minerais transformando-os em liga de chumbo, utilizadas na fabricação de tubos de televisão e baterias. Estima-se que as empresas, produziram mais de 850 mil toneladas de liga de chumbo. Com isso, deixou um passivo de mais de 500 mil toneladas de resíduo (escória de cádmio e chumbo), sendo o Cd sendo encontrado em maior quantidade (ALCÂNTARA, 2010). Há 20 anos, desde 1993, as atividades dessa última empresa foram paralisadas, sem que os resíduos recebessem qualquer tipo de tratamento ou armazenamento apropriado. A escória foi utilizada pelo poder público para construção de aterros, pavimentação de ruas e avenidas da cidade e boa parte deste resíduo foi levada e utilizada como fertilizante por pequenos agricultores moradores do entorno das instalações da usina, resultando na contaminação do solo e conseqüentemente dos alimentos produzidos nas áreas afetadas (ANJOS, 2001).

Na literatura, existem alguns trabalhos que testaram plantas como fitorremediadores ambientais como, por exemplo, o estudo realizado por Alves et al. (2008) para avaliar a absorção de chumbo utilizando o vetiver (*Vetiveria zizanioides* L.); a jureminha (*Desmanthus virgatus* L.) e a algaroba (*Prosopis juliflora* L.), foram observadas, reduções significativas na matéria seca da raiz e na parte superior das três espécies na medida em que as concentrações de chumbo eram aumentadas até chegar a doses críticas de toxidez; embora dentre as três espécies, observou-se que o vetiver tem maior tolerância à contaminação. Em vetiver e também na algaroba, houve uma maior sensibilidade da raiz à contaminação. A quantidade de Pb nas partes internas das plantas também foram alterados pelo aumento das dosagens.

Gonçalves Júnior et al.(2000) realizaram um experimento visando à avaliação da fitodisponibilidade de cádmio, chumbo e crômio em soja cultivada em latossolo vermelho escuro tratado com fertilizantes comerciais. Concluíram que a planta demonstrou uma boa biodisponibilização desses elementos nas avaliações. Com o aumento das dosagens do fertilizante houve um incremento no deslocamento do metal na planta. Observaram ainda que os solos com elevada quantidade de matéria orgânica e alta concentração de argila proporcionaram maior adsorção de chumbo não disponibilizando o metal para a planta. A adição de adubos contendo metais pesados, a retenção dos elementos pelo vaso usado no experimento e, a baixa CTC do solo aumentaram a disponibilidade e deslocamento dos metais para os tecidos da planta.

Os autores Borges e Goetz (2008) realizaram a avaliação de uma área contaminada por Pb após nove anos de contato do chumbo com o solo em uma fazenda localizada em Minas Gerais. Para a análise, eles utilizaram diversos vegetais nativos locais, e outras plantas comestíveis, bem como amostras do solo. Chegaram à conclusão que mesmo tendo passado um longo período entre a contaminação e as análises, foram encontradas altas concentrações de chumbo no solo, o que demonstrou sua periculosidade e durabilidade. Os mesmos autores sugeriram que as técnicas de remoção do solo, mesmo tendo demonstrado eficiência, têm alto custo financeiro e podem gerar outros impactos ambientais. Eles abordaram que a fitorremediação é

possível já que nos vegetais de cobertura foi detectado chumbo biodisponível, principalmente quando se tratou de amostras de solo mais ácidas.

Duarte e Pasqual (2000) recomendaram que a triagem e a monitoração ambiental por meio de bioindicadores, devem ser adotadas como ferramentas fundamentais, permitindo a aplicação de medidas de prevenção. A quantidade dos metais encontrados no solo, nas plantas e nos cabelos humanos estudados por eles representam bem a associação entre a poluição ambiental e o risco da exposição para o ser humano.

Utilizando o girassol como planta fitorremediadora, Alves (2007) afirma que essas plantas acumulam mais o chumbo nas raízes do que nos ramos e folhas e que a absorção de doses mais elevadas de Pb, causam fitotoxidez, e consequentemente a morte do vegetal.

Nogueira et al. (2008) testaram a concentração do chumbo e outros metais pesados em plantas de milho, submetidas à latossolo tratado com nove aplicações anuais de lodo de esgoto. Concluíram que os altos teores provocados pelo efeito cumulativo de cromo, chumbo e zinco nas raízes e partes aéreas foram incrementados pelas sucessivas aplicações de lodo de esgoto ao solo. Notaram, entretanto, o maior acúmulo nas raízes. Já nos grãos, estavam muito abaixo dos teores permitidos para o consumo humano, conforme prevê a legislação brasileira.

Em outro estudo, foi concluído que a espécie vegetal *Canavalia ensiformis* L., conhecida como o feijão de porco possui potencial fitorremediador para o chumbo, sendo que não há a inibição de seu crescimento na presença desse metal pesado, não ocorrendo sintomas de fitotoxicidade na parte aérea (ALMEIDA, et al. 2008).

Segundo Bourlegat et al. (2007), altas concentrações de Pb afetam o desenvolvimento inicial de plantas de leucena (*Leucena leucocephala* Wit.), não alterando a ação dos rizóbios. A linhagem de rizóbio utilizada se mostrou resistente às concentrações de chumbo aplicadas. Os mesmos autores afirmam que as plantas inoculadas se desenvolvem melhor na presença de Pb que as não inoculadas.

Andrade et al. (2008), afirmaram que ocorreu um maior acúmulo de zinco e de chumbo nas raízes de arroz (contaminado com resíduos siderúrgicos), enquanto o cádmio concentrou-se na parte aérea. O teor de Pb

encontrado em todas as amostras analisadas ficou bem acima da média considerada fitotóxica.

Hall (2002) relata que metais pesados como cobre e zinco são essenciais para o crescimento normal da planta, apesar de elevadas concentrações implicar em inibição do crescimento e surgimento de sintomas de toxicidade. As plantas possuem uma gama de potenciais mecanismos celulares que estão envolvidos na desintoxicação e tolerância ao estresse relacionado aos metais pesados. Dentre estes estão: captação reduzida ou fluxo de metais na membrana plasmática; quelatação de metais no citosol por peptídeos como fitoquelatinas; reparação de proteínas danificada pelo estresse.

Experimentos desenvolvidos por Cruvinel (2009) em Guaxupé/MG avaliando a fitorremediação em solo submetido à contaminação com os metais: níquel, chumbo, cádmio, cromo e zinco, utilizando três espécies vegetais (*Brassica juncea*, *Brachiaria decumbens* e *Pfaffia glomerata*) para recuperação de solos contaminados pelos metais. Percebeu que a *Brassica juncea* foi a espécie que de maneira geral melhor se comportou para amenizar a contaminação do solo estudado e se desenvolveu nos diferentes tipos de contaminação com todos esses metais.

Lima et al. (2010) concluíram que a retenção do chumbo nos tecidos do sistema radicular, do caule e das folhas da mamona (*Ricinus communis* L.) indicou essa planta como boa fitorremediadora do chumbo, apontando sua utilização em sistemas de polimento de efluentes.

Figuerola et al. (2007) determinaram os níveis de fitoquelatinas para verificar, em plantas silvestres, incluindo a mamona enfatizando a relação entre metais pesados e ácidos húmicos presentes no solo em vários lugares na cidade de Guanajuato no México que foi centro de mineração de prata e ouro. Observaram ainda que níveis de Cd e Pb em raízes de plantas apresentou correlação positiva forte com fitoquelatinas, indicando que esses dois metais promovem indução em *R. communis*. A correlação foi inversa entre substâncias húmicas e níveis de metais em suas raízes. Sugerindo que os metais fortemente ligados a humus poderia ser menos biodisponível para as plantas, que por sua vez iria limitar o seu papel na indução de fitoquelatinas.



Diante dos relatos citados acima se observa que é possível a utilização de vegetais na fitorremediação de solos contaminados. Para este fim, Ovsiany e Delai (2007), realizaram testes fisiológicos que comprovaram que plantas de mamona podem ser utilizadas como fitorremediadoras, empregando o processo de fitoextração. Nesse sentido, a utilização de linhagens de *R. communis* seria uma alternativa auxiliar viável para ser utilizada na limpeza do solo de Santo Amaro, BA.

Outra vantagem na utilização da mamona seria a produção do óleo de rícino, resultante da prensagem das sementes que contém o ácido graxo ricinoléico na proporção de 90% lhe conferindo características particulares. Isso possibilita ampla utilização industrial, conferindo à cultura da mamoneira um grande potencial econômico para o Brasil, se enquadrando como fonte alternativa de energia renovável uma vez que não existem estudos que indicam a contaminação do óleo com resíduos de metais pesados (AMORIM NETO et al. 2001).

Atualmente o óleo da mamona é empregado na confecção do biodiesel, esmaltes, resinas, lubrificantes e com seus biopolímeros podem se utilizados na construção de próteses humanas. Sua haste é usada na produção de celulose e confecção de tecidos rústicos. Como subproduto, a torta tem potencial de restauração de solos com baixa fertilidade pelo cultivo. Suas folhas servem de alimento para o bicho da seda e para vacas incrementando a produção de leite. Conhecido como petróleo verde faz parte compulsoriamente com 4% do óleo diesel para ônibus e caminhões. Geram empregos nas regiões menos favorecidas do país envolvendo a agricultura familiar. (CANGEMI et al. 2010).

Segundo (Freire, 2001) os óleos e corpos graxos derivados da mamona resultam em diversas aplicações industriais como: Plásticos, sabões, cosméticos, corantes têxteis, borrachas, agentes de higiene e limpeza, creme dental, produtos farmacêuticos, comestíveis, lacas, resinas sintéticas, explosivos, processamento de celulose, mineração, biocidas, aditivos para óleos minerais, corantes e vernizes.

Nesse sentido, o estudo da avaliação de linhagens de mamona para o estabelecimento de seus potenciais de absorção de chumbo e cádmio, torna-se uma alternativa bastante promissora para uma futura descontaminação do solo

das propriedades rurais e na cidade de Santo Amaro na Bahia. Fato que motivou o desenvolvimento do presente trabalho, cujo objetivo é avaliar distintas linhagens de mamona na fitorremediação de solos contaminados por chumbo e cádmio em Santo Amaro - Bahia.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, M. M., SANTOS, E. S., ANJOS, C. Capacidade de absorção do chumbo por plantas do gênero *Cistus* espontâneas em ambientes mineiros. **Rev. de Ciências Agrárias**. Lisboa. v. 32, n. 1. p. 170-181, jan. 2009.

ALCÂNTARA, M. M. Cidade de Chumbo: uma experiência de divulgação em vídeo sobre a contaminação ambiental na cidade de Santo Amaro da Purificação. **Diálogos e Ciência**, ano IV, n. 12, p. 107-118, mar. 2010.

ALMEIDA, E. L.; MARCOS, F. C. C.; SCHIAVINATO, M. A.; LAGÔA, A. M. M. A.; ABREU, M. F. Crescimento do Feijão-de-porco na Presença de Chumbo. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 3, p. 569-576, 2008.

ALVES, J. C. **Avaliação de Girassol, Mamona, Trigo Mourisco e Vetiver como Fitoacumuladoras de Chumbo**. 2007. 58 f. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água) - Universidade Federal da Paraíba, Areia. 2007.

ALVES, J. C.; SOUZA, A. P.; PÔRTO, M. L.; ARRUDA, J. A.; TOMPSON JUNIOR, U. A.; SILVA, G. B.; ARAÚJO, R. C.; SANTOS, D. Absorção e distribuição de chumbo em plantas de vetiver, jureminha e algaroba. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. n. 32, p 1329-1336, 2008.

AMORIM NETO, M. S.; ARAÚJO, A. E.; BELTRÃO, N. E. M. Clima e solo. In: AZEVEDO, D. M. P.; LIMA, E. F. **O agronegócio da mamona no Brasil**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2001. cap. 3, p. 63-76.

ANDRADE, A. F. M.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; MAGALHÃES, M. O. L.; NASCIMENTO, V. S.; MAZUR, N. Zinco, chumbo e cádmio em plantas de arroz

(*Oryza Sativa* L.) cultivadas em solo após adição de resíduo siderúrgico. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 7, p. 1877-1885, out. 2008.

ANDRADE, J. C. M.; TAVARES, S. R. L.; MAHLER, C. F. **O uso de plantas na melhoria da qualidade ambiental**. São Paulo: Oficina de textos. 2007. 176 p.

ANJOS, J. A. S. A. Cobrac, Plumbum, Trevisan - Estudo do passivo Ambiental. In: Seminário sobre a contaminação por metais pesados em Santo Amaro da Purificação, Santo Amaro - Bahia. In: **Bahia Análise & Dados**, Salvador, v.2, 2001.

BERTOLI, A. C.; CARVALHO, R.; CANNATA, M. G.; BASTOS, A. R. R.; AUGUSTO, A. dos S. Toxidez do chumbo no teor e translocação de nutrientes em tomateiro. **Biotemas**, v. 24, n. 4, p. 7-15, dez. 2011.

BORGES, M. C. R.; GOETZ, C. M. Avaliação de área contaminada por chumbo na Fazenda Boa Esperança. In: **48º Congresso Brasileiro de Química**. Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <<http://www.abc.org.br/cbq/2008/trabalhos>>. Acesso em 11/06/2013.

BOULEGAT, J. M. G.; ROSSI, S. C.; CHINO, C. E.; SCHIVINATO, M. A.; LAGÔA, A. M. M. A. Tolerância de *Leucena leucocephala* (Lam.) de Wit ao metal pesado chumbo. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, supl. 2, p. 1017-1019, jul. 2007.

CANGEMI, J. M.; SANTOS, A. M.; CLARO NETO, S. A Revolução Verde da Mamona. **Química Nova na Escola**. v. 32, n. 1, p. 3-8, fev. 2010.

CLEMENS, S. Developing Tools for Phytoremediation: Towards a Molecular Understanding of Plant Metal Tolerance and Accumulation. **International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health**. v. 14, n. 3, p. 235-239, 2001.

COUTINHO, H. D.; BARBOSA, A. R. Fitorremediação: considerações gerais e características de utilização. **Silva Lusitana**, v. 15, n. 1, p. 103-117, 2007.

CRUVINEL, D. F. C. 2009. Avaliação da fitorremediação em solos submetidos à contaminação com metais. 79 f. **Dissertação** (Mestrado em Tecnologia Ambiental) - Centro de Ciências Exatas, Naturais e Tecnologias da Universidade de Ribeirão Preto. São Paulo.

CUNNINGHAM, S., BERTI, W. R. The remediation of contaminated soils with green plants; an overview. **In vitro celular and development biology plant**, v. 29, p. 207-212, 1993.

DUARTE, R. S.; PASQUAL, A. Avaliação do Cádmio (Cd), chumbo (Pb), níquel (Ni) e zinco (Zn) em solos, plantas e cabelos humanos. **Energia na Agricultura**. v. 15, n. 1, p. 47-58, 2000.

FIGUEROA, J. A. L.; WROBEL, K.; AFTN, S.; CARUSO, J. A.; CORONA, J. F. G.; WROBEL, K. Effect of some heavy metals and soil humic substances on the phytochelatin production in wild plants from silver mine areas of Guanajuato, Mexico. **Elsevier**. v. 70, n. 11, p. 2084-2091, Feb. 2007.

FREIRE, R. M. M. Ricinoquímica. In: AZEVEDO, D. M. P.; LIMA, E. F. **O agronegócio da mamona no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, p. 295-335, 2001.

GONÇAVES JUNIOR, A. C.; LUCHESE, E. B.; LENZI, E. Avaliação da fitodisponibilidade de cádmio, chumbo e cromo em soja cultivada em latossolo vermelho escuro tratado com fertilizantes comerciais. **Química Nova**, v. 23, n. 2, p. 173-177, 2000.

HALL, J. L. Cellular mechanisms for heavy metal detoxification and tolerance. **The Journal of Experimental Botany**, Southampton, v. 53, n. 366, p. 1-11, jan. 2002.

HOLZBACH, J. C.; BARROS, E. I. T. M.; KRAUSER, M. O.; LEAL, P. V. B. Lead: an introduction to extraction and phytoremediation. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 3, n. 4, p. 178-183, nov. 2012.

JORGE, D. V. C.; RISSATO, S. R.; GALHIANE, M. S.; ALMEIDA, M. V.; RIBEIRO, R.; CECHIN, I. Avaliação do processo de fitorremediação de pesticidas organoclorados em amostras de mamona e soja utilizando diferentes metodologias de extração. In: 50º CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA. 2010. Cuiabá. **Anais...**

LIMA, A. M.; MELO, J. L. S.; MELO, H. N. S.; CARVALHO, F. G. Avaliação do potencial fitorremediador da mamona (*Ricinus communis* L.) utilizando efluente sintético contendo chumbo. **Holos**, Natal, ano 26, v. 1. p. 51-61, 2010.

NOGUEIRA, T. A. R.; OLIVEIRA, L. R.; MELO, W. J.; FONSECA, I. M.; MELO, G. M. P.; MELO, V. P.; MARQUES, M.O. Cádmio, cromo, chumbo e zinco em plantas de milho e em latossolo após nove aplicações anuais de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 32, p. 2195-2207, 2008.

OVSIIANY, R; DELAI, R. M. Testes fisiológicos para validação da mamona como uma planta fitorremediadora. 2007. Disponível em: <[http://www.fag.edu.br/tcc/2007/Ciencias\\_Biologicas\\_Bacharelado/](http://www.fag.edu.br/tcc/2007/Ciencias_Biologicas_Bacharelado/)>. Acesso em 06 jun. 2013.

PELICIONI, M. C. F.; JR ARLINDO P. **Educação Ambiental e Sustentabilidade**. São Paulo. Manole. 191 p. 2005.

PROCÓPIO, S. O.; CARMO, M. L.; PIRES, F. R.; FILHO, A. C.; BRAZ, G. B. P.; SILVA, W. F. P.; BARROSO, A. L. L.; SILVA, G. P.; CARMO, E. L. Fitorremediação de solo contaminado com picloram por capim-pé-de-galinha-gigante (*Eleusine coracana*). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa. n. 32, 2517-2524, 2008.

ROSSET, P.; AVILA, D. R. Causas de la crisis global. **Ecologia Política**. Institute for Food and Development. Califórnia. 2008.

SOUZA, A. M. Fitorremediação de metais em resíduos de laboratórios. In: I SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE TRATAMENTO DE RESÍDUOS DE LABORATÓRIO. 2010, Jequié. **Anais...**

## CAPÍTULO 1

### **ASPECTOS DA BIOMETRIA E DA BIOLOGIA FLORAL DE LINHAGENS DE MAMONA (*Ricinus communis* L.) EM SOLOS CONTAMINADOS POR CÁDMIO E CHUMBO<sup>1</sup>**

---

<sup>1</sup>Artigo a ser ajustado e submetido ao Comitê Editorial do periódico científico Revista Ciência Tropical.

## **ASPECTOS DA BIOMETRIA E DA BIOLOGIA FLORAL DE LINHAGENS DE MAMONA (*Ricinus communis* L.) EM SOLOS CONTAMINADOS POR CÁDMIO E CHUMBO.**

Autor: Josineto de Souza Alves

Orientadora: DSc. Simone Alves Silva

Co-orientador: DSc. Francisco de Souza Fadigas

**RESUMO:** Através da fitorremediação, alguns vegetais vêm sendo testados como importantes instrumentos na descontaminação de solos. Algumas cultivares de mamona já foram utilizadas na descontaminação de solos com resíduos de chumbo, se apresentando como excelente fitorremediador. O objetivo do presente trabalho foi de testar as condições de desenvolvimento biométrico e polínico de cinco linhagens de mamona (*Ricinus communis* L.), família das Euphorbiaceae resultantes de hibridações controladas das cultivares Mirante e Sipeal, sendo elas: L1 - (Linhagem 26); L2 – (Linhagem 75); L3 – (Linhagem 98); L4 – (Linhagem 175) e L5 – (Linhagem 254), todos desenvolvidos pelo Núcleo de Melhoramento Genético e Biotecnologia - NBIO da UFRB. Estas linhagens foram plantadas especificamente em solos contaminados por chumbo e cádmio em vasos, sob condições de casa de vegetação advindos de áreas contaminadas do Município de Santo Amaro – Bahia. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado com 4 tratamentos e 4 repetições. Para a análise dos dados foi utilizado o Programa Estatístico GENES versão 2008. Foi realizada a análise de variância e comparação das médias pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade. Os resultados dos testes de viabilidade e germinação polínica demonstraram que a fertilidade masculina das linhagens testadas não foi afetada pela contaminação do solo onde foram plantadas. Pelas respectivas comparações de médias, observa-se que o tratamento 3 (solo contaminado + esterco) apresentou maior rendimento na maioria dos caracteres avaliados diferindo estatisticamente dos demais tratamentos. Nesse sentido todas as linhagens apresentaram maior desenvolvimento no solo contaminado por chumbo e cádmio acrescido de esterco.

**Palavras chave:** Euphorbiaceae; descontaminação; metais pesados.



## **ASPECTS OF BIOMETRICS AND FLORAL BIOLOGY OF STRAINS OF CASTOR (*Ricinus communis* L.) IN SOIL CONTAMINATED BY CADMIUM AND LEAD.**

Author: Josinete de Souza Alves

Adivisor: DSc. Simone Alves Silva

Co-advisor: DSc. Francisco de Souza Fadigas

**ABSTRACT:** Through phytoremediation , some vegetables have been tested as important instruments in the decontamination of soils . Some castor bean cultivars have been used in the decontamination of soil with lead , presenting themselves as excellent phytoremediation . The objective of this study was to test the conditions and pollen development biometric five lines of castor ( *Ricinus communis* L. ) , family of Euphorbiaceae resulting from controlled hybridizations cultivars Mirante and Sipeal , namely: L1 - ( Branch 26 ) ; L2 - ( Branch 75 ), L3 - ( Branch 98 ), L4 - ( Branch 175 ) and L5 - ( Branch 254 ) , all developed by the Núcleo de Melhoramento Genético e Biotecnologia – NBIO/ UFRB. These strains were specifically planted in soils contaminated by lead and cadmium in pots under greenhouse conditions arising from contaminated areas of Santo Amaro - Bahia . The experimental design was a completely randomized design with 4 treatments and 4 replications. For data analysis we used the statistical program GENES 2008 version. We performed analysis of variance to and comparison of means by Scott-Knott test at 5% probability. The results of the viability tests showed that pollen germination and male fertility of the strains tested was not affected by the contamination of the soil where they were planted. By their mean comparisons, it is observed that treatment 3 ( contaminated soil + manure ) had the highest yield in most traits differing from the other treatments . In this sense all lines showed greater development in soil contaminated by lead and cadmium plus manure.

**Keywords:** *Euphorbiaceae; decontamination; heavy metals.*

## INTRODUÇÃO

A mamoneira (*Ricinus communis* L.), possivelmente originária da África, compreende plantas arbustivas, dicotiledôneas, pertencente à família Euphobiaceae. De suas sementes é extraído o óleo utilizado principalmente como biocombustível, biopolímero para construção de próteses humanas, como solvente e resina (SAVY FILHO, 2008; CARNEIRO, 2003). Dessa forma, trata-se de uma cultura de grande importância econômica para o Nordeste brasileiro pelo seu potencial de produção, que segundo Oliveira (2003) pode chegar até 6 milhões de hectares por ano. Dessa forma, torna-se como uma excelente fonte de emprego e renda para os agricultores familiares (PIRES, 2004).

Outra possível forma de utilização da mamoneira é na fitorremediação de solos contaminados por metais pesados (Cunningham e Berti, 1993), pois as plantas absorvem naturalmente os elementos químicos presentes no solo, sendo os mesmos essenciais para seu desenvolvimento (RAVEN, 2007). A absorção dos macro e micronutrientes pela raiz ocorre por duas vias. A primeira pelos espaços intercelulares e a segunda por dentro das células. Quando atravessam a endoderme, os nutrientes chegam ao xilema e floema e por transporte ativo são transferidos para o interior do xilema e posteriormente transportados para as partes aéreas do vegetal e utilizados para seu pleno desenvolvimento. Da mesma forma que absorvem os macro e micronutrientes, é comum os vegetais absorverem outros elementos presentes no solo (FERRI, 1985; SALISBURY e ROSS, 1991; MARSCHNER, 1995; TAIZ e ZEIGER, 1998; HOPKINS, 2000; TAIZ e ZEIGER, 2004).

Por serem considerados como elementos-traço, a presença do chumbo e do cádmio é comum na maioria dos solos em pequenas concentrações. (ATSDR, 2009; TORRI e LAVADO, 2009). Porém, devido às inúmeras atividades antrópicas, os percentuais desses e de outros metais no solo tem aumentado em concentrações prejudiciais à saúde humana (MELO et al. 2008; GOLPAL e RIZVI, 2008).

Por outro lado, Chen et al. (2007) afirmaram que a presença de altas concentrações de chumbo e cádmio no solo não se relaciona diretamente com a mobilidade ou disponibilidade do mesmo pela planta. Isto vai depender da

fisiologia e da espécie do vegetal, sendo alguns mais susceptíveis à absorção e outros menos. Nesse sentido, é necessário testes com distintos vegetais para melhor avaliar o potencial desses para a fitorremediação de solos contaminados pelos referidos metais pesados.

O chumbo torna-se pouco disponível no solo em função da sua adsorção aos óxidos de Ferro e manganês e a matéria orgânica lhe confere uma relativa estabilidade (MANECKI et al. 2006). Assim, geralmente os vegetais não transportam chumbo em quantidades consideráveis para suas partes superiores. Raramente, pode-se encontrar chumbo em quantidades de até 10 mg/L. Já no sistema radicular pode conter altas concentrações chegando a até 100% a mais do que as encontradas nas partes superiores. De acordo com Duarte e Pascoal (2000), o transporte do chumbo das raízes até a parte aérea, representa apenas 3%, pois ao contrário da parte radicular, os demais órgãos não possuem a mesma sensibilidade para acumular metais pesados, tornando a raiz, o principal órgão de armazenamento. Dessa forma, até mesmo algumas plantas com partes aéreas comestíveis poderiam ser utilizadas em áreas contaminadas.

Algumas plantas foram testadas com efeitos positivos para a absorção de metais pesados como o Pb, Cd e outros, dentre os quais: o girassol (Lima, 2007), a mamona (Jorge et al. 2010), o feijão-de-porco (Almeida et al. 2008) ; o amendoim forrageiro (Gratão et al, 2005); a soja (Carmo et al. 2008); o arroz (Coutinho e Barbosa, 2007) e a algaroba (Holzbach et al. 2012); o vetiver (Alves et al. 2008); a leucina (Bourlegat et al. 2007); crucíferas não comestíveis (Cruvinel, 2009); o feijão guandu (Pires et al, 2006) ;plantas medicinais e algas (BAKER, et al. 1994).

Para testar o potencial fitorremediador de *R. communis* L, o presente trabalho objetivou avaliar aspectos da biometria e da biologia floral de linhagens de mamona (*Ricinus communis* L.) em solos contaminados por cádmio e chumbo.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

Foram realizadas análises de solo em duas áreas distintas, sendo a primeira (Pb 605 mg/kg e Cd 1,64 mg/kg) retirada próximo ao Distrito de Pedra

(12°33'11"S 38°46'38"W) a aproximadamente 5 quilômetros da COBRAC. e a segunda (Pb 17 000 mg/kg e Cd 92,4 mg/kg) retirada a 200 metros da antiga Companhia Brasileira de Chumbo (COBRAC) (12°33'58"S 38°43'42"W) em Santo Amaro – Bahia. As amostras foram submetidas à análise química (teor de Pb e Cd) nos Laboratórios do SENAI/CETIND-BA e análise física e química no Laboratório de solos da Embrapa Mandioca e Fruticultura, para mensurar os níveis de contaminação e características gerais das amostras, antes do plantio dos linhagens de mamona. A escolha dos pontos de coleta das amostras do solo foi devido à proximidade da fonte de distribuição de contaminantes ( amostra B) e pela maior distância das instalações da fábrica onde supostamente não haveria contaminação (amostra A). Durante a coleta e o transporte do solo com contaminantes do município de Santo Amaro até a UFRB, em Cruz das Almas todas as pessoas envolvidas utilizaram os equipamentos de proteção individual adequados; objetivando ter o mínimo contato possível com os metais investigados neste experimento como botas, luvas, máscaras e roupas grossas.

O experimento compreendeu a semeadura em vasos plásticos de 23 kg utilizando-se 5 linhagens de mamona quais sejam: L1 - (Linhagem 26); L2 – (Linhagem 75); L3 – (Linhagem 98); L4 – (Linhagem 175) e L5 – (Linhagem 254) em 4 tratamentos T1 – (solo menos contaminado); T2 – (solo contaminado); T3 – (solo contaminado + matéria orgânica); T4 – (solo contaminado + quelante EDTA) em 4 repetições estatísticas sob delineamento inteiramente casualizado. A quantidade de matéria orgânica utilizada no T3 foi de 132 gramas por vaso, correspondente a 13 toneladas por hectare. No T4 a quantidade de EDTA foi de 0,19 mol L<sup>-1</sup> por vaso.

Na casa de vegetação as plantas foram mantidas sob temperatura e condições fotoperiódicas naturais, sendo as plantas irrigadas a cada dois dias considerando 80% da capacidade máxima de retenção (saturação) de 23,7 g de água por vaso, durante o período experimental de 4 meses. (Figura 1).

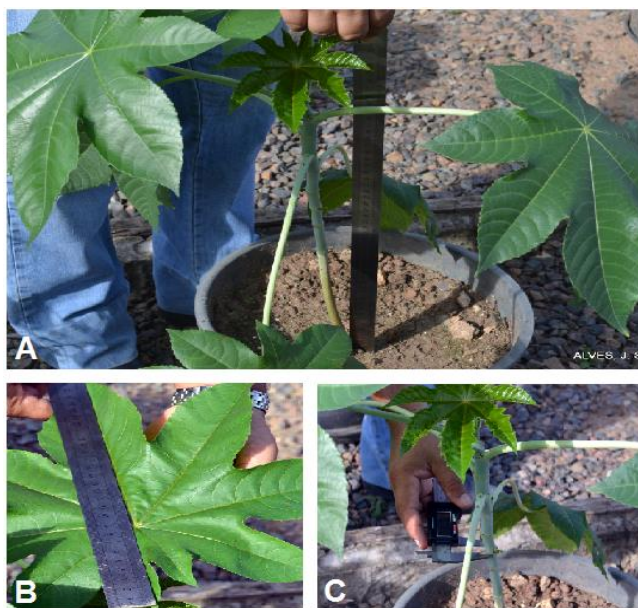


**Figura 1** – Linhagens de mamona submetidas às condições de casa de vegetação localizada em Cruz das Almas – Bahia.

Foram acondicionadas 5 sementes por vaso, sendo que logo após a germinação, as plântulas com menor crescimento foram desbastadas, permanecendo apenas uma planta por vaso. Houve a permuta de vasos na casa de vegetação a cada 15 dias para que todas as plantas obtivessem as mesmas condições de exposição.

Quatro meses após o plantio, foram efetuadas avaliações biométricas, conforme a Figura 2, tais como: diâmetro do caule (DC), medido a 10 cm do nível do solo; estatura da planta (EST); área foliar (AF) das folhas 1, 2, 3 e 4, utilizando paquímetro digital e régua; número de entrenós (INT); número de frutos (NF) e número de sementes (NS). Nesses dois últimos, apenas das Linhagens que apresentaram frutificação.

Os estudos relacionados à biologia floral compreenderam a análise da antese floral, receptividade do estigma (Dafni et al. 2005), secreção das glândulas extra-florais (Galetto e Bernardelo 2004) e análise da viabilidade por colorimetria e germinabilidade polínica por cultura de tecidos *in vitro* (Ribeiro 2006; Dafni et al. 2005 e Almeida et al. 2004). Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.



**Figura 2** – Medidas biométricas de linhagens de mamona. A: estatura da planta; B: comprimento da folha 2 e C: diâmetro do caule.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises de solos realizadas em Santo Amaro – Bahia, em duas áreas distintas, permitiram a classificação dos solos em menos contaminado e muito contaminado, cujos resultados estão descritos nas Tabelas 1 e 2. A amostra A, coletada a um raio aproximado de 5 km de distância da fábrica abandonada (COBRAC), foi designada inicialmente como solo sem contaminação devido à distância das instalações da fábrica. Porém, após resultado da análise do solo dessa área, foi detectada a contaminação, embora em menor quantidade de cádmio e chumbo, na proporção de 1,64 e 605 mg/kg, respectivamente (Tabela 1).

Na segunda área (amostra B), coletada nas imediações da antiga fábrica, o solo foi designado como “muito contaminado” na proporção de 92,4 e 17 000 mg/kg de cádmio e chumbo, respectivamente (Tabela 2).

O solo “menos contaminado” foi classificada como Franco Arenoso e o solo “muito contaminado” como Franco Areno Argiloso de acordo com a metodologia desenvolvida pela Embrapa conforme laudo laboratorial (Anexo 1).

Conforme laudo laboratorial utilizado pelo SENAI/SETIND, pelo método de espectrometria de absorção atômica por chama, as quantidades de Cd e Pb extrapolam os limites aceitáveis que são de 1,6 e 72 mg/kg, respectivamente, analisados para o atendimento do CONAMA 420/2009 (Anexo 2). Esses resultados justificaram a realização deste trabalho dada a necessidade de alternativas para o tratamento do solo no município de Santo Amaro – Bahia.

**Tabela 1** – Transcrição dos dados resultantes das análises realizadas pelo SENAI/CETIND nas amostras de solo coletada próximo ao Distrito de Pedra a 5 Km da COBRAC em Santo Amaro – Bahia.

<b>Amostra A:</b> Solo coletado a 5 Km de distância da fábrica abandonada			
<b>Ensaio</b>	<b>Teor do metal pesado mg/kg</b>	<b>Limite aceitável (L1)*</b>	<b>LQ**</b>
Cd	<b>1,64</b>	1,3 mg/kg	0,49
Pb	<b>605</b>	72 mg/kg	4,5

\*CONAMA 420/2009 – solo contaminado

\*\* Limite de Quantificação

**Tabela 2** – Transcrição dos dados resultantes das análises realizadas pelo SENAI/CETIND com amostra de solo coletada a 200 m da COBRAC em Santo Amaro - Bahia.

<b>Amostra B:</b> Solo coletado nas imediações da fábrica abandonada			
<b>Ensaio</b>	<b>Teor do metal pesado mg/kg</b>	<b>Limite aceitável (L1)*</b>	<b>LQ**</b>
Cd	<b>92,4</b>	1,3 mg/kg	0,49
Pb	<b>17000</b>	72 mg/kg	4,5

\*CONAMA 420/2009 – solo contaminado

\*\* Limite de Quantificação

Nota-se, com os dados das Tabelas 1 e 2, que há uma contaminação muito acima dos limites aceitáveis pela Legislação Ambiental, o que pode comprometer o desenvolvimento da agricultura local, e, portanto, o

desenvolvimento do metabolismo de seres vivos em geral. Machado et al. (2013) relataram os riscos do solo contaminado de Santo Amaro seja pela introdução deste metal pesado na cadeia alimentar ou pela aspiração da poeira do solo e até mesmo pela geofagia compreendendo riscos relevantes para a população.

Um estudo realizado por Tavares (1992) afirmou que metais como Pb e Cd são considerados tóxicos para o ser humano, sendo disponibilizados no ambiente devido à sua grande utilização industrial e em consequência também no ponto de vista toxicológico. Tais elementos reagem com macromoléculas presentes nas membranas celulares, lhes conferindo propriedades bioacumuladoras e disseminadoras pelos diversos níveis das cadeias tróficas transformando concentrações consideradas normais como tóxicas para diversas espécies e, em particular o homem. Os metais são bioacumulativos persistindo por longos períodos mesmo após a interrupção de emissões. Naturalmente, os metais que não exercem funções biológicas são encontradas concentrações na faixa de parte por bilhão (ppb) ou parte por trilhão (ppt). Valores crescentes de tais elementos passam do tolerável ao tóxico. Nesse sentido, os valores desses metais pesados encontrados nas amostras analisadas ultrapassam aos valores tolerados.

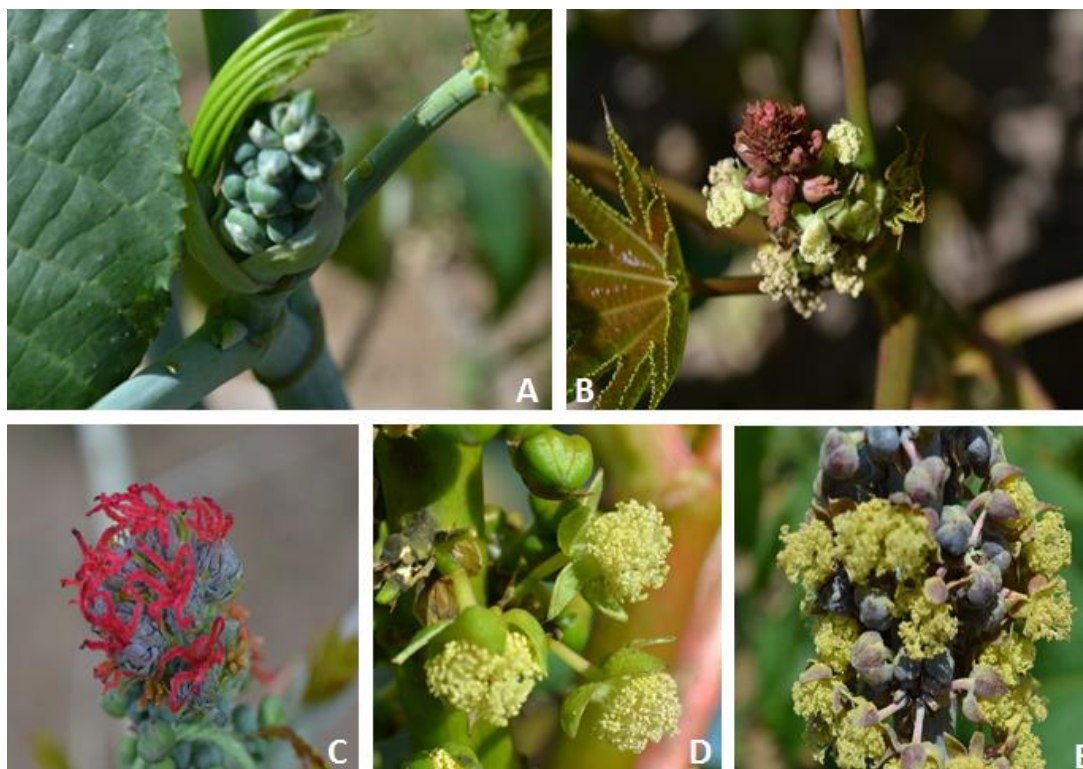
O estudo da abertura floral (antese) é fundamental para a observação da normalidade do desenvolvimento pleno das espécies vegetais (Almeida et al. 2004; Dafni et al. 2005; Raven, 2007), pois tal evento é a garantia da continuidade da reprodução, principalmente nas condições do presente trabalho, onde as linhagens em estudo foram submetidos a diferentes tratamentos de plantio.

Em todos os tratamentos com linhagem 1 (L1) não houve floração o que pode caracterizar esta linhagem como pouco tolerante à absorção dos metais pesados em estudo. Porém, outros estudos deverão ser realizados com a linhagem. Por outro lado, a antese nos tratamentos com as linhagens (L2T1 - solo menos-contaminado; L5T1 - solo menos contaminado; L2T2 - solo contaminado; L3T2; L4T2; L5T2 - solo contaminado; L2T3 - solo contaminado + matéria orgânica; L3T3 - solo contaminado + matéria orgânica; L4T3 - solo contaminado + matéria orgânica; L5T3 - solo contaminado + matéria orgânica; L2T4 - solo contaminado + quelante; L3T4 - solo contaminado + quelante; L4T4



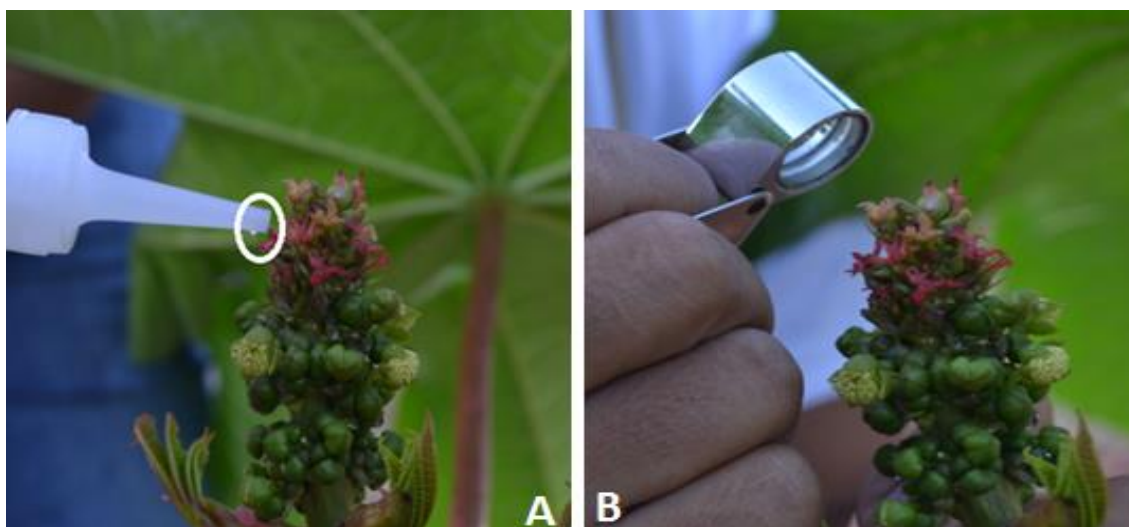
- solo contaminado + quelante e L5T4 - solo contaminado + quelante) ocorreu a partir das 5:00 h com o início da abertura das flores femininas e masculinas sincronicamente com durabilidade de 24 horas da flor feminina e até 48 horas de dispersão de pólen nas flores masculinas (Figura 3). Porém, nos tratamentos com as linhagens (L1T1; L3T1; L4T1; L1T2; L1T3 e L1T4) não houve floração no período.

Weiss (2000) relatou a complexidade relacionada à fisiologia da mamoneira, com metabolismo C3. Sua inflorescência panicular tem flores masculinas na porção inferior e femininas na porção superior (SILVA, 1999; SILVA et al. 2007; FONSECA et al. 2012). Esses trabalhos corroboram com as especificidades florais encontradas no presente estudo.



**Figura 3** – Fases do desenvolvimento floral da mamona: A Formação inicial da inflorescência (L3 – Linhagem 98); B (Sincronização da abertura floral masculina e feminina (L2 – Linhagem 75); C (Flores em estágio feminino (L3 – Linhagem 98); D (Flores em estágio masculino (L4 – Linhagem 176) e (Flores em estágio masculino em dispersão de pólen em até 48 horas após antese (L5 – Linhagem 254).

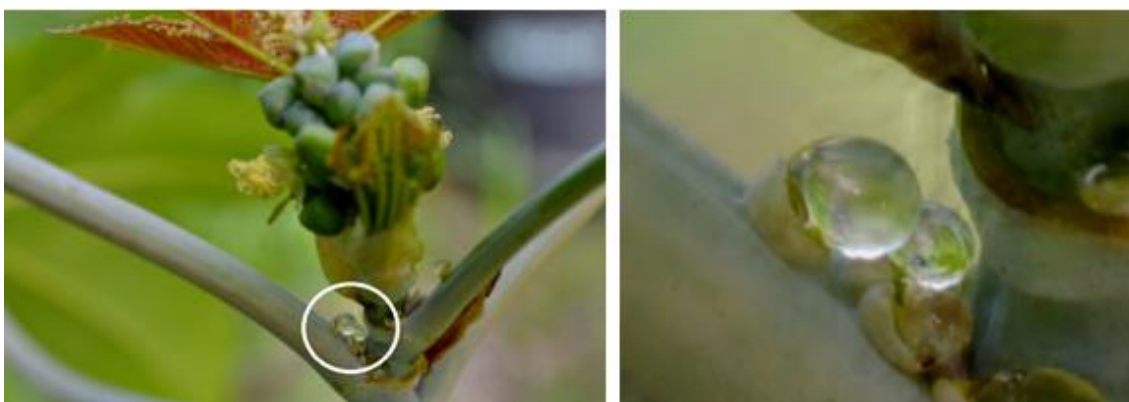
De acordo a Dafni et al. (2005) a receptividade do estigma é caracterizada pela possibilidade da aderência dos grãos de pólen nas papilas estigmáticas. Nesse sentido, o estigma está receptivo, quando há liberação de bolhas de oxigênio sob sua superfície resultantes da quebra do peróxido pela ação da enzima peroxidase. No presente trabalho, o teste de receptividade do estigma foi positivo para todas as linhagens onde ocorreu floração desde a abertura da flor feminina até a senescência, havendo ação da enzima peroxidase quando as papilas estigmáticas foram submetidas ao teste com Peróxido de Hidrogênio (Figura 4). Isto permite dizer que as flores dessas linhagens apresentaram normalidade para a receptividade dos grãos de pólen no processo de autofecundação ou dispersão por algum agente polinizador, mesmo quando as plantas estão submetidas às condições de solo contaminado corroborando aos dados de DAFNI et al. (2005); DAFNI, et al. (1992); SILBERBAUER-GOTTSBERGER, (1998) e RICHARDS (1997).



**Figura 4** - Teste de receptividade do estigma. A: detalhe da formação de bolhas de oxigênio pela ação da peroxidase e B: observação da formação de bolhas com o auxílio de lupa manual.

Não foi observada a secreção de néctar na câmara nectarífera floral. Entretanto, observou-se nas linhagens em floração que há uma secreção adocicada com Brix igual a 25% liberado por nectários extraflorais (Figura 5). Essa secreção pode explicar a constante visitação de abelhas, vespas e formigas em linhagens de mamona em condições de campo, estando também

de acordo ao relato de alguns autores. Baker et al. (1978) por exemplo, relataram que as mamoneiras possuem de seis a sete nectários extraflorais e que suas flores são poliníferas. Milfont et al. (2009) observaram a coleta de néctar extrafloral pelas abelhas *Apis mellifera* em uma área de monocultivo de mamona. Taiz e Zeiger, (2004) relataram que os nectários extraflorais funcionam como drenos das reservas e dos nutrientes da planta. Dafni et al. (2005) e Galetto e Bernardelo (2004) afirmaram que os nectários extraflorais podem servir também de proteção para a planta, uma vez que estas estruturas atraem muitas formigas e estas mantêm inimigos naturais distantes da planta.

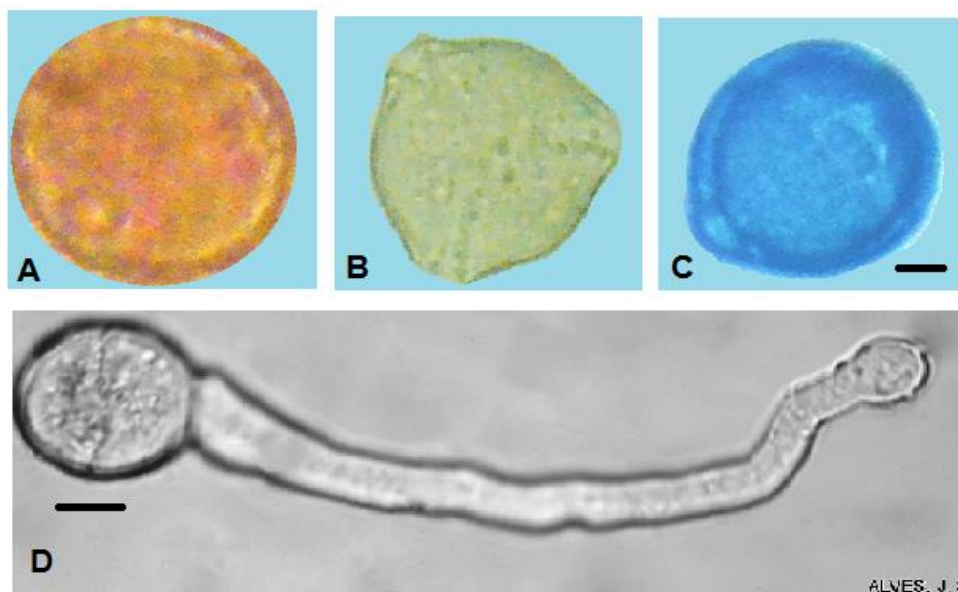


**Figura 5** – Presença de secreção adocicada nos nectários extraflorais com Brix de 24% em linhagens de mamona.

Os resultados das taxas de viabilidade e germinação polínica das Linhagens testadas demonstraram interação altamente significativa entre os parâmetros testados e as linhagens ( $p < 0,05$ ) pelo teste Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade, demonstrando comportamento diferenciado em decorrência das variações de períodos de avaliação do pólen. As elevadas taxas de viabilidade polínica podem estar relacionadas ao alto grau de viabilidade por colorimetria quando se utiliza alguns corantes, incluindo o carmim acético. Shivanna e Johri (1992) afirmaram que é possível que as estimativas de viabilidade polínica variem entre as espécies vegetais ou até mesmo entre indivíduos de uma mesma espécie e linhagens diferentes.

A técnica da germinabilidade dos grãos de pólen *in vitro* permite verificar contraste em dados de viabilidade e germinabilidade. Nesse teste, também houve diferença significativa entre os tratamentos (Anexo 3 e Figuras 6, 7 e 8).

Loguercio e Battistin (2004) afirmaram que os testes de viabilidade polínica determinados por corantes com ação no material genético do pólen, pode superestimar os percentuais de fertilidade masculina, já os testes de germinabilidade *in vitro* ou *in situ* podem subestimar esse percentual. Por outro lado, Kearns e Inouye (1993) consideraram a colorimetria como método indireto e a germinação *in vitro* como direto, sendo os dois satisfatórios na determinação da viabilidade genética dos vegetais. Justo et al. (2008) encontraram taxas de viabilidade e germinação polínica semelhantes às encontradas no presente trabalho. Os autores utilizaram carmim acético para testar a viabilidade e meio de cultura básico para germinabilidade. Concluíram que a coloração (viabilidade) dos grãos de pólen nem sempre superestima a porcentagem de germinabilidade, pois os mesmos obtiveram médias parecidas. Assim, os dados de médias de viabilidade e germinação polínica deste trabalho demonstram que a fertilidade masculina das linhagens testadas não foi afetada pela contaminação do solo onde foram plantadas.

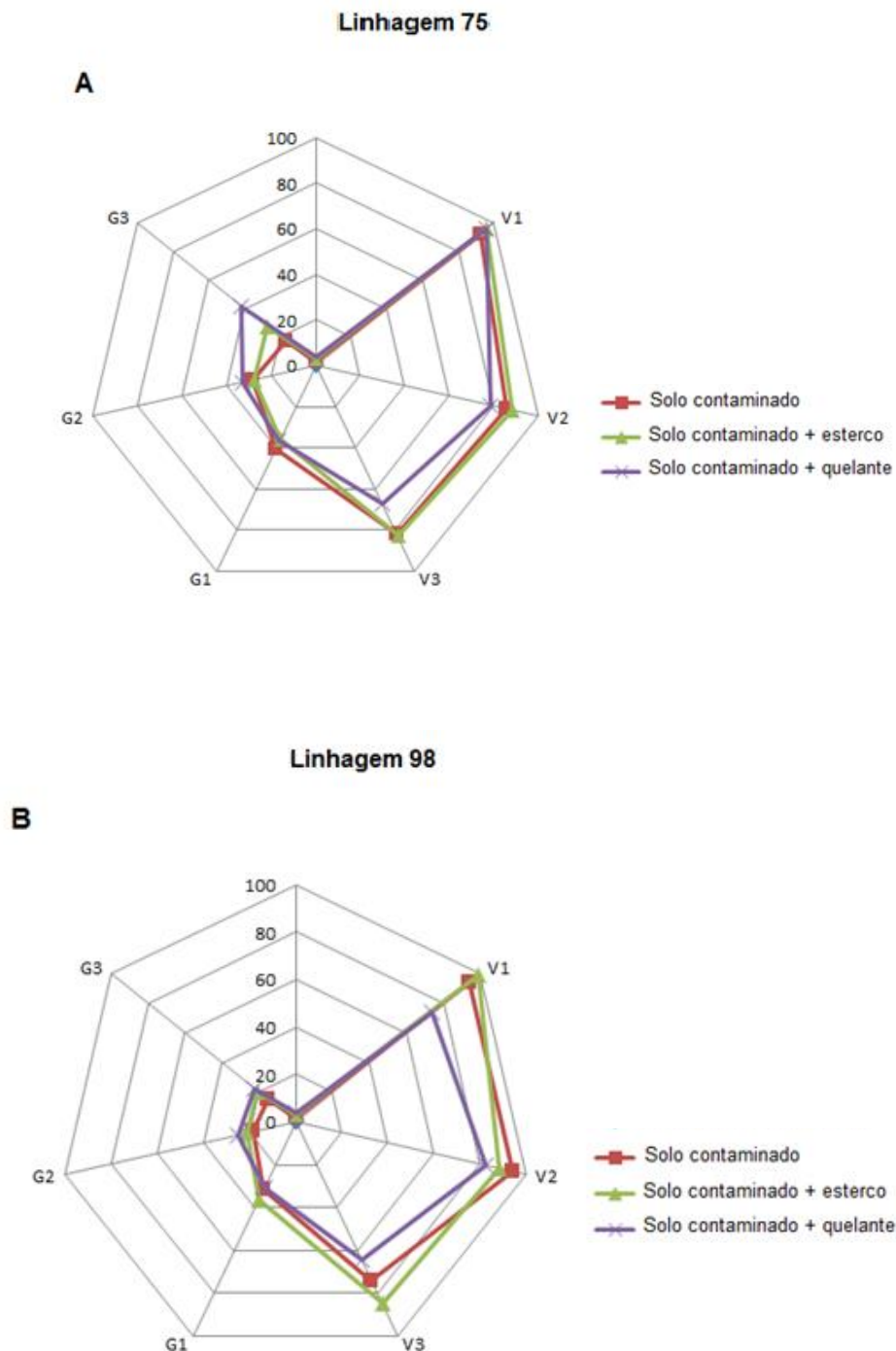


**Figura 6** – Viabilidade e germinabilidade polínica padrão de cinco linhagens de mamona. A: grão de pólen viável em posição polar I corado com carmim acético; B: grão de pólen inviável (não corado) em posição polar II; C: pólen corado com azul de amã (teste de germinabilidade) em posição equatorial e D: pólen germinado logo após a antese. Escala: 12-14µm.

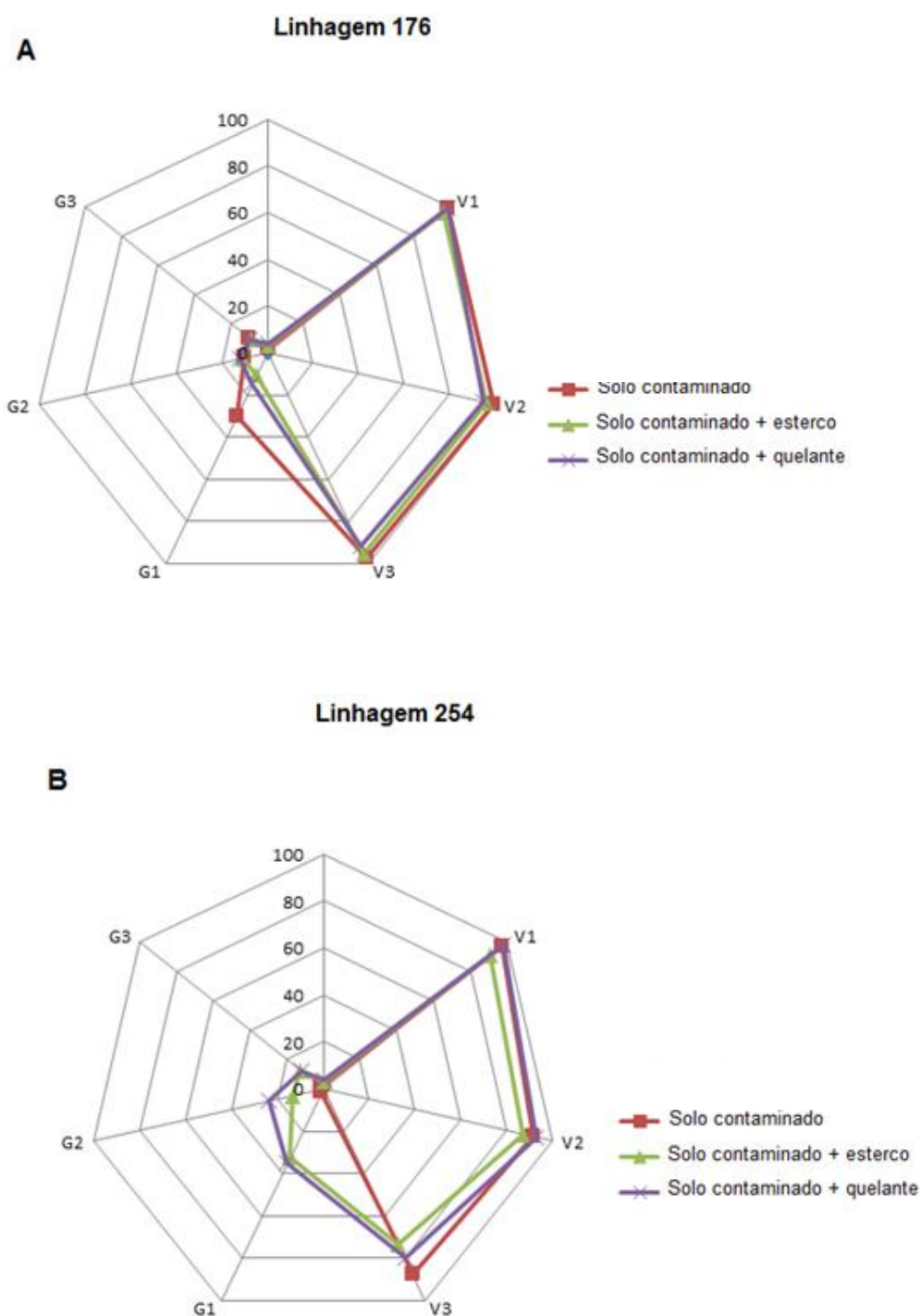
Os gráficos radares (Figuras 7 e 8) demonstram a distribuição da taxa de fertilidade masculina das quatro linhagens testadas em função das técnicas de



colorimetria e germinabilidade polínica *in vitro* ( $p < 0,05$ ) demonstrando boa adaptação destes. Portanto, não foram afetados pelos solos contaminados por cádmio e chumbo em Santo Amaro - Bahia.



**Figura 7** – Estimativa da viabilidade e germinabilidade polínica das Linhagens **A** - L2 (Linhagem 75) e **B** - L3 (Linhagem 98): V1= viabilidade polínica na antese; V2= viabilidade polínica 8 dias após a antese; V3= viabilidade polínica 15 dias após a antese; G1= germinabilidade polínica na antese; G2= germinabilidade polínica 8 dias após a antese e G3= germinabilidade polínica 15 dias após a antese.



**Figura 8** – Estimativa da viabilidade e germinabilidade polínica das Linhagens **A** - L4 (Linhagem 176) e **B** - L5 (Linhagem 264): V1= viabilidade polínica na antese; V2= viabilidade polínica 8 dias após a antese; V3= viabilidade polínica 15 dias após a antese; G1= germinabilidade polínica na antese; G2= germinabilidade polínica 8 dias após a antese e G3= germinabilidade polínica 15 dias após a antese

Na avaliação das medidas biométricas (Tabela 4), a análise de variância demonstrou que houve diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre os tratamentos T1 - solo menos contaminado; T2 - solo contaminado; T3 - solo contaminado + esterco e T4 - solo contaminado + quelante. Nas comparações de médias (Tabela 5), observam-se que o tratamento 3 (solo contaminado + esterco) apresentou maior desempenho na maioria dos caracteres avaliados, diferindo dos demais tratamentos. Os tratamentos 2 e 4 mostraram-se similares, não diferindo pelo teste Scott-Knott ( $p < 0,05$ ) para todos os caracteres avaliados. No trabalho realizado por Nakagawa (1976) foi observado um aumento na produção dos grãos no primeiro cacho em mamoneiras submetidas a tratamento com lodo de esgoto + fertilizante.

Por outro lado, Nascimento, et al. (2011) desenvolveram um trabalho sobre o crescimento e a produtividade de sementes de mamona tratada com lodo de esgoto, testando 5 doses em base seca (0; 15; 30; 45 e 60 t ha), observando valores médios referentes as características de crescimento da planta e produtividade de sementes. Estas características biométricas aumentaram com o incremento das doses, sendo a dose a partir de 15 t ha<sup>-1</sup> suficiente para substituir a adubação mineral da cultura sem risco de contaminação do solo com metais pesados.

**Tabela 4** – Resumo da Análise de Variância relacionado ao crescimento (análise biométrica) em linhagens de mamona aos 120 dias de cultivos, em plantio das sementes em solo contaminado com Cádmio (Cd) e Chumbo (Pb) submetidos a quatro tratamentos.

Quadrado Médio								
FV	GL	EST	DC	AF1	AF2	AF3	AF4	INT
<b>Tratamentos</b>	3	617,85	21,98	119152,9	96845,1	85066,83*	53917,16*	50,1*
<b>Resíduo</b>	16	14,31	1,07	9701,67	5660,9	9336,14	10163,9	7,9
<b>CV(%)</b>	-	7,97	10,61	28,37	22,84	37,71	55,67	14,9

\*Efeito altamente significativo pelo teste F em nível de 5% de probabilidade

Legendas: EST (estatura da planta) DC (diâmetro caulinar); AF1 (área da folha 1); AF2 (área da folha dois); AF3 (área da folha três); AF4 (área da folha 4); INT (entrenó).

**Tabela 5** - Caracteres relacionados ao crescimento (análise biométrica) em linhagens de mamona aos 120 dias de cultivos, em plantio das sementes em solo contaminado com Cádmio (Cd) e Chumbo (Pb) submetidos a quatro tratamentos.

<b>Caracteres</b>								
<b>Trat.</b>	<b>EST (cm)</b>	<b>DC (mm)</b>	<b>AF1 (cm)</b>	<b>AF2 (cm)</b>	<b>AF3 (cm)</b>	<b>AF4 (cm)</b>	<b>INT</b>	
T-1	35,2 <b>c</b>	7,08 <b>c</b>	142,72 <b>c</b>	142,40 <b>c</b>	83,31 <b>c</b>	39,09 <b>b</b>	14,2 <b>b</b>	
T-2	44,5 <b>b</b>	9,50 <b>b</b>	329,5 <b>b</b>	324,34 <b>b</b>	247,5 <b>b</b>	170,67 <b>a</b>	19 <b>b</b>	
T-3	62 <b>a</b>	12,09 <b>a</b>	506,76 <b>a</b>	473,86 <b>a</b>	394,9 <b>a</b>	272,56 <b>a</b>	21 <b>a</b>	
T-4	47,95 <b>b</b>	10,48 <b>b</b>	409,7 <b>b</b>	376,76 <b>b</b>	298,8 <b>b</b>	242,56 <b>a</b>	20,8 <b>a</b>	

Legendas: EST (estatura da planta) DC (diâmetro caulinar); AF1 (área da folha 1); AF2 (área da folha dois); AF3 (área da folha três); AF4 (área da folha 4); INT (entrenó).

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade.



## CONCLUSÃO

Existe contaminação do solo mesmo considerada baixa, em um raio de 5 km da fábrica abandonada com passivo de escória de chumbo;

A fertilidade masculina, a receptividade estigmática e a produção dos nectários extraflorais não foram afetados pelos tratamentos de 4 linhagens de mamoneira testados;

As linhagens avaliadas tiveram maior desempenho em caracteres agrônômicos quando submetidos ao tratamento correspondente ao solo contaminado + esterco.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**ATSDR - AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY:** U. S. DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES. **Draft toxicological profile for perfluoroalkyls.** 2009. Disponível em: <<http://www.atsdr.cdc.gov/>>. Acesso em: 03 mai. 2013.

ALMEIDA, E. L.; MARCOS, F. C. C.; SCHIAVINATO, M. A.; LAGÔA, A. M. M. A.; ABREU, M. F. Crescimento do feijão-de-porco na presença de chumbo. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n.3, p. 569-576, 2008.

ALMEIDA, O. S.; SILVA, A. H. B.; SILVA, A. B.; AMARAL, C. L. F. Estudo da biologia floral e mecanismos reprodutivos do alfavacão (*Ocimum officinalis* L.) visando o melhoramento genético. **Acta Scientiarum Biological Sciences**, Maringá, v. 26, n. 3, p. 343 - 348. 2004.

ALVES, J. C.; SOUZA, A. P.; PÔRTO, M. L.; ARRUDA, J. A.; JUNIOR, U. A. T.; SILVA, G. B.; ARAÚJO, R. C.; SANTOS, D. Absorção e distribuição de chumbo em plantas de vetiver, jureminha e algaroba. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 1329-1336. mai./jun. 2008.

ALVES, J.C. 2007. Avaliação de Girassol, Mamona, Trigo Mourisco e Vetiver como Fitoacumuladoras de Chumbo. 58 f. **Dissertação** (Mestrado em Manejo de Solo e Água) - Universidade Federal da Paraíba, Areia.

BAKER, A. J. M., MC GRATH, S.P., SIDOLI, C. M. D., REEVES, R. D. The Possibility of in situ heavy metal decontamination of polluted soils using crops of metal-accumulating plants. **Resources, conservation and Recycling**, Amsterdam, v. 11, p. 41-49, jun. 1994.

BAKER, D. A.; HALL, J. L.; THORP, J. R. Study of the Extrafloral Nectaries of *Ricinus communis*. **New Phytologist**, v. 81, n. 1, p. 129-137, 1978.

BOULEGAT, J. M. G.; ROSSI, S. C.; CHINO, C. E.; SCHIVINATO, M. A.; LAGÔA, A. M. M. A.. Tolerância de *Leucena leucocephala* (Lam.) de Wit ao metal pesado chumbo. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, supl. 2, p. 1017-1019, jul. 2007.

CARNEIRO, R. A. F. A Produção do Biodiesel na Bahia. **Conjuntura & Planejamento**, Salvador, n.112, p. 35-43, set. 2003.

PROCÓPIO, S. O.; CARMO, M. L.; PIRES, F. R.; FILHO, A. C.; BRAZ, G. B. P.; SILVA, W. F. P.; BARROSO, A. L. L.; SILVA, G. P.; CARMO, E. L. Fitorremediação de solo contaminado com picloram por capim-pé-de-galinha-gigante (*Eleusine coracana*). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa. n. 32, 2517-2524, 2008.

CHEN, S.; SUN, L.; SUN, T.; CHAO, L.; GUO, G. Interaction between cadmium, lead and potassium fertilizer ( $K_2SO_4$ ) in a soil-plant system. **Environ Geochem Health**, Amsterdã, v. 29, p. 435–446, abr. 2007.

COUTINHO, H. D.; BARBOSA, A. R. Fitorremediação: considerações gerais e características de utilização. **Silva Lusitana**, Lisboa, v. 15, n. 1, p. 103-117, jun. 2007.

CRUVINEL, D. F. C. **Avaliação da fitorremediação em solos submetidos à contaminação com metais**. 2009. 79 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) - Centro de Ciências Exatas, Naturais e Tecnologias da Universidade de Ribeirão Preto. São Paulo.

CUNNINGHAM, S., BERTI, W. R. The remediation of contaminated soils with green plants; an overview. **In vitro celular and development biology plant**, v. 29, p. 207-212, 1993.

DAFNI, A. **Pollination ecology: a practical approach**. Oxford: Oxford University Press. 1992. 250 p.

DAFNI, A.; KEVAN, P. G.; HUSBAND, B. C. **Practical pollination biology**. Cambridge: Enviroquest. 2005. 590 p.

DUARTE, R. S.; PASQUAL, A. Avaliação do Cádmi (Cd), chumbo (Pb), níquel (Ni) e zinco (Zn) em solos, plantas e cabelos humanos. **Energia na Agricultura**, v. 15, n. 1, p. 47-58. 2009.

FERRI, M. G. **Fisiologia Vegetal**. 2. ed. São Paulo: EPU, v. 1, 1985. 361p.

FONSECA, E. R.; EICHOLZ, M. D.; EICHOLZ, E. D.; AIRES, R. F. SILVA, D. A. Caracterização da floração das cultivares de mamona 'Al guarany' 2002 IAC80. In: 21º CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS, 4., 2012, Pelotas.

GALETTO, L.,; BERNARDELLO, G. Floral nectaries, nectar production dynamics and chemical composition in six *Ipomoea species* (Convolvulaceae) in relation to pollinators. **Annals of Botany**, v. 94, n. 2, p. 269-280, 2004.

GOPAL, R.; RIZVI, A, H. Excess lead alters growth, metabolism and translocation of certain nutrients in radish. **Chemosphere**, Amsterdam, v. 70, p. 1539-1544, fev. 2008.

GRATÃO, P. L.; PRASAD, M. N. V.; CARDOSO, P. F.; LEA, P. J.; AZEVEDO, R. A. Phytoremediation: green technology for the cleanup of toxic metals in the environment. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 17, n. 1, p. 53-64, jan./mar. 2005.

HOLZBACH, J. C.; BARROS, E. I. T. M.; KRAUSER, M. O.; LEAL, P. V. B. Lead: an introduction to extraction and phytoremediation. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 3, n. 4, p. 178-183, nov. 2012.

HOPKINS, W. G. **Introduction to Plant Physiology**. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2000. 512 p.

JORGE, D. V. C.; RISSATO, S. R.; GALHIANE, M. S.; ALMEIDA, M. V.; RIBEIRO, R.; CECHIN, I.. Avaliação do processo de fitorremediação de pesticidas organoclorados em amostras de mamona e soja utilizando diferentes metodologias de extração. In: 50º CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA, 2010, Cuiabá, **Anais....**

JUSTO, P. S.; CUCHIARA, C. C.; ANJOS, S. D. LUCIA, V.. Análise da viabilidade do pólen de cultivares de mamona (*Ricinus communis* L.) submetidas à radiação gama. In: III CONGRESSO BASILEIRO DE MAMONA, 2008, **Anais...**

KEARNS, C. A.; INOUE, D. W. **Techniques for pollination biologists**. Niwot: University Press of Colorado, 1993, 579 p.

LIMA, C. V. S.; SILVA, A. A.; SOUZA, E. D.; MEURER, E. J.; ANGHINONI, I.; SCHMIDT, R. O. Bioacumulação de chumbo por girassol em argissolo vermelho-distrófico-amarelo Distrófico arênico. In: XXXI CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 2007, Gramado. **Anais...**

LOGUERCIO, A. P.; BATTISTIN, A.. Microsporogênese de nove acessos de *Syzygium cumini* (L.) Myrtaceae e oriundos do Rio Grande do Sul - Brasil. **Revista da FZVA**, v. 11, n. 1, 2004.

MANECKI, M; BOGUCA, A; BADJA, T; BORKIEWICZ, O. Decrease of Pb bioavailability in soils by addition of phosphate ions. **Environmental Chemistry Letters**, v. 3, n. 4, p. 178-181, jan. 2006.

MARSCHNER, H. **Mineral Nutrition of Higher Plants**. 2. ed. London: Academic Press. 1995. 889 p.

MELO, E. E. C.; NASCIMENTO, C. W. A.; SANTOS, A. C. Q.; SILVA, A. S. Disponibilidade e fracionamento de Cd, Pb, Cu e Zn em função do pH e tempo de incubação com o solo. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 32, n. 3, p. 776-784, mai./jun. 2008.

MILFONT, M. O.; FREITAS, B. M.; RIZZARDO, R.; GUIMARAES, M. O. Produção de mel por abelhas africanizadas em plantio de mamoneira. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 4. p. 1206-1211, jul. 2009.

NAKAGAWA, J. **Efeitos do fósforo em dois cultivares de mamoneira (*Ricinus communis* L.) Campinas e Guarany**. Botucatu, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. 1976. 115p.

NASCIMENTO, A. L.; SAMPAIO, R. A. BRANDÃO JUNIOR, D. S.; JUNIO, G. R. Z.; FERNANDES, L. A. Crescimento e produtividade de semente de mamona tratada com lodo de esgoto. **Revista Caatinga**, Mossoro, v. 24, n. 4, p. 145-151, out-dez. 2011.

OLIVEIRA, D. Desenvolvimento da mamona no nordeste tem apoio da Embrapa. **Embrapa Algodão Online**. Campina Grande, PB, jul. 2003. Disponível em: <<http://www.embrapa.br/imprensa/noticias/2003/julho/bn.2004-11-25.2520470505>>. Acesso em 02 mai 2013.

PIRES, F. R.; PROCÓPIO, S. O.; SOUZA, C. M.; SANTOS, J. B.; SILVA, G. P. Adubos verdes na fitorremediação de solos contaminados com o herbicida Tebuthiuron, **Caatinga**, Mossoró, v. 19, n. 1, p. 92-97, jan./mar. 2006.

PIRES, F. R.; PROCÓPIO, S. O.; SOUZA, C. M.; SANTOS, J. B.; SILVA, G. P. Adubos verdes na fitorremediação de solos contaminados com o herbicida Tebuthiuron, **Caatinga**, Mossoró, v. 19, n. 1, p. 92-97, jan./mar. 2006.

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Biologia Vegetal**. Tradução Jane Elizabeth Kraus et al. 7. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Coogan, 2007. 830 p.

RIBEIRO, G. S. **Aspectos da biologia floral relacionados à produção de semente e frutos de pinha (*Annona squamosa* L.)**. 2006. 72 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, 2006.

RICHARDS, A. J. **Plant Breeding Systems**. 2. ed. Chapman. 1997

SALISBURY, F. B., ROSS, C. W. **Plant Physiology**. 4. ed. California: Wadsworth Publishing Company, Inc., 1991. 682 p.

SAVY FILHO, A.; REGITANO NETO, A.; KIIH, TAMMY A. M. Estratégia do Melhoramento Genético da Mamona. In: III Congresso Brasileiro de Mamona, 2008, Salvador. **Anais...** IAC.

SHIVANNA, K. R.; JOHRI, B. M. **The angiosperm pollen: structure and function**. New Dehli: Wiley Eastern Ltd. 1992.

SILBERBAUER-GOTTSBERGER, I. Evolution of flower structure and pollination. In *Neotropical cassinae* (Caesalpiniaceae) species. **Phyton**, n. 28, p. 293-320. 1998.

SILVA, M. S.; SOUZA, S. N.; LENZI, E.; LUCHESI, E. B. Comportamento do chumbo em solo argiloso tratado com lodo de esgoto combinado e sua absorção pelas plantas. **Acta Scientiarum**, v. 21, p. 757-762, 1999.

SILVA, S. D. A. et al. (Ed.). A cultura da mamona no Rio Grande do Sul. Pelotas: Embrapa Clima Temperado - Sistemas de Produção 11. 2007. 115 p.

TAIZ, L., ZEIGER, E. **Plant Physiology**. 2. ed. Massachusetts: Sinauer Associates, 1998. 792 p.

TAIZ, L., ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. Tradução Eliane Romano Santarém et al. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

TAVARES, T.; CARVALHO, M. Avaliação de exposição de populações humanas a metais pesados no ambiente: exemplos do Recôncavo baiano. **Química nova**, v. 15, n. 2, 1992.

TORRI, S.; LAVADO, R. Plant absorption of trace elements in sludge amended soils and correlation with soil chemical speciation. **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdã, v. 166, p. 1459-1465. jul. 2009.

WEISS, E. A. **Oilseed crops**. London: Blackwell Science, 2000. 364 p.

## CAPÍTULO 2

### **AVALIAÇÃO DE LINHAGENS DE MAMONA (*Ricinus communis* L.) NA FITORREMEDIAÇÃO DE SOLOS CONTAMINADOS POR CÁDMIO E CHUMBO EM SOLOS DE SANTO AMARO NA BAHIA<sup>1</sup>**

---

<sup>1</sup>Artigo a ser ajustado e submetido ao Comitê Editorial do periódico científico Revista Agropecuária Brasileira.



**AVALIAÇÃO DE LINHAGENS DE MAMONA (*Ricinus communis* L.) NA FITORREMEDIAÇÃO DE SOLOS CONTAMINADOS POR E CÁDMIO E CHUMBO EM SOLOS DE SANTO AMARO NA BAHIA.**

Autor: Josineto de Souza Alves

Orientadora: DSc. Simone Alves Silva

Co-orientador: DSc. Francisco de Souza Fadigas

**RESUMO:** A técnica de fitorremediação consiste na utilização de plantas para a extração de elementos do solo e vem sendo utilizada como alternativa para a descontaminação por metais pesados. O chumbo e o cádmio são metais pesados presentes em uma vasta área contaminada em Santo Amaro na Bahia, como consequência da deposição de um passivo ambiental de escória, resultante do processamento de liga de metais abandonados por uma antiga fábrica beneficiadora. A utilização indevida da escória ocasionou a dispersão em quase todo o solo urbano e rural do município. O presente trabalho objetivou realizar ensaios utilizando cinco linhagens de mamona provenientes do Núcleo de Melhoramento Genético e Biotecnologia da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - NBIO/UFRB, para estudo sobre fitorremediação de solos contaminados por chumbo e cádmio em Santo Amaro - Bahia, com cinco tratamentos, quais sejam: solo menos contaminado, solo contaminado; solo contaminado + esterco e solo contaminado + quelante. O experimento foi conduzido em casa de vegetação em condições controladas, sendo as sementes semeadas em vasos plásticos. 120 dias após o plantio, as partes aéreas e as raízes das plantas foram analisadas quantificando os teores de chumbo e cádmio por espectrometria de absorção atômica em chama. De acordo aos dados obtidos na análise de variância e desdobramento das médias pelo teste Tukey. ( $p < 0,05$ ) houve susceptibilidade na absorção de chumbo e cádmio em todas as linhagens testadas, destacando-se as Linhagens 175 e 26, tornando-a apta para fitoextrair chumbo e cádmio em solos contaminados de Santo Amaro, Bahia.

**Palavras – chave:** Genética e melhoramento; Euphorbiaceae; fitoextração.

**EVALUATION OF STRAINS OF CASTOR (*Ricinus communis* L.) FOR PHYTOREMEDIATION CONTAMINATED SOIL CADMIUM AND LEAD IN SOILS IN BAHIA DE SANTO AMARO.**

Author: Josinete Alves de Souza

Supervisor: DSc. Simone Alves Silva

Co-supervisor: DSc. Francisco de Souza Fadigas

**ABSTRACT:** Phytoremediation technique is the use of plants for the extraction of elements of soil and has been used as an alternative for decontamination from heavy metals. Cadmium and lead are heavy metals present in contaminated a vast area in Santo Amaro in Bahia , as a result of the deposition of an environmental liability slag resulting from the processing of alloy metals by an old abandoned factory benefit. The misuse of the slag caused the dispersion in almost all urban land and countryside. This study aimed to conduct trials using five strains of castor from the Núcleo de Melhoramento Genético e Biotecnologia da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia- NBIO/UFRB to study phytoremediation of soils contaminated with lead and cadmium in Santo Amaro - Bahia, with five treatments, which are: less contaminated soil , contaminated soil, contaminated soil and contaminated soil + manure + chelator . The experiment was conducted in a greenhouse under controlled conditions, and the seeds sown in plastic pot. 120 days after planting, aerial parts and roots of the plants were analyzed by quantifying the levels of lead and cadmium by atomic absorption spectrometry in flames. According to data obtained from analysis of variance and deployment of means by Tukey test ( $p < 0.05$  ) were susceptibility on the absorption of lead and cadmium in all strains tested, highlighting the strains 175 and 26, making them suitable for phytoextraction to lead and cadmium in contaminated soils of Santo Amaro, Bahia.

**Keywords :** Genetics and breeding; Euphorbiaceae ; phytoextraction.

## INTRODUÇÃO

A poluição ambiental causada por metais pesados vem crescendo nas últimas décadas em função das atividades humanas relacionadas na maioria dos casos com a mineração, descarte de resíduos industriais, lançamento de lodo de esgoto, fertilizantes e agroquímicos no solo (FREITAS et al. 2009). Os elementos traços depositados no solo são adsorvidos através de trocas iônicas, interações eletrostáticas, forças de Van der Waals ou ligações químicas mais firmes e estáveis (LINHARES et al. 2009). Quando essas interações estáveis com partículas do solo não ocorrem, migram, contaminando a água e seres vivos.

Em função do seu potencial tóxico e grande persistência no ambiente, o chumbo é um dos elementos que mais tem despertado interesse entre os metais pesados, sendo considerado o segundo elemento mais perigoso para o ambiente, conforme a lista de prioridades da Agência de Proteção Ambiental Americana (ATSDR, 2009; TORRI e LAVADO, 2009). O chumbo está presente naturalmente no solo em baixas concentrações, não causando danos à saúde. No entanto, a intervenção antrópica pode promover o aumento do teor de tal elemento resultando na contaminação de solos em uso para o cultivo de alimentos. (MELO et al. 2008; GOPAL e RIZVI, 2008).

A grande quantidade de chumbo sobre o solo não se relaciona diretamente com a mobilidade ou disponibilidade do mesmo. (CHEN 2007). Este se torna pouco disponível no solo em função da sua adsorção aos óxidos de Ferro e manganês e a matéria orgânica lhe conferindo uma relativa estabilidade (MANECKI et al. 2006). A biodisponibilidade do Pb varia com as características dos solos, do próprio elemento e do tempo de permanência do metal no ambiente (LU et al. 2005).

Outro elemento traço, o Cádmiio (Cd), costuma associar-se com o Pb em solos contaminados sendo que sua atuação afeta diretamente o equilíbrio osmótico da célula dos vegetais e pode ainda ter influencia na absorção, no deslocamento e na assimilação de elementos como Mg, K, P, Ca e Fe pelas estruturas da planta. (DAS et al. 1997; SANITÁ e GABRIELLI, 1999). A relação Cd-Fe interfere negativamente nos processos metabólicos fotossintéticos. No mecanismo de transporte de elementos entre membranas o Cd pode substituir

os íons Ca imobilizando-o. A absorção do Mn e do Mg é prejudicada pela interferência do Cd. (KABATA-PENDIAS e PENDIAS, 2000). Segundo Guimarães, (2008) o Cd mesmo em baixas concentrações pode provocar desnaturação proteica, redução na velocidade da atividade enzimática e fotossintética danificando as membranas celulares além da clorose. Algumas espécies apresentam mecanismos de tolerância, como ocorre com algumas plantas fitoextratoras de elementos contaminantes do solo.

Objetivando avaliar a biodisponibilidade desses metais no solo, algumas técnicas de extração simples através do EDTA, DTPA e  $\text{CaCl}_2$  vem sendo muito utilizadas. Tais técnicas poderão informar também o potencial de mobilidade, lixiviação e poluição dos solos (ISHIKAWA et al. 2009). Assim, as quantidades excessivas de cádmio e chumbo potencialmente biodisponíveis podem ser absorvidas e acumuladas em plantas desenvolvidas em ambiente contaminado não apresentando sinais visíveis de toxidez (PIECHALAK, et al. 2002; HONG et al. 2008).

A fitorremediação, segundo Andrade et al. (2007), é uma técnica que apresenta grande versatilidade e pode ser utilizada para remediação do solos contaminados por metais pesados e outras substâncias. Ainda, segundo esses autores, a fitorremediação apresenta cinco mecanismos quais sejam: a fitoextração, onde o metal pesado contido no solo é absorvido e após esse mecanismo, ocorre seu armazenamento no tecido vegetal; a fitodegradação, onde o elemento contaminante sofre bioconversão no interior ou na superfície do vegetal, tornando-se menos tóxicas; a fitovolatilização, onde o contaminante absorvido é convertido em uma substância volátil, e esta é liberada na atmosfera; a fitoestimulação, onde a presença das plantas estimula a biodegradação microbiana por componentes do sistema radicular e finalmente a fitoestabilização, onde o elemento contaminante sofre uma imbolização através de sua lignificação ou humificação.

A espécie e a fisiologia da planta, além de fatores ambientais como pH, tamanho das partículas do solo, capacidade de troca catiônica, matéria orgânica e disponibilidade de nutrientes interferem no teor de Pb e Cd absorvido e acumulado nos tecidos vegetais (LU et al. 2005). Nas plantas, a maior parte do Pb absorvido deposita-se preferencialmente nas raízes,

podendo ser transferido e alocado em outras partes, inclusive as comestíveis (LIMA, 2010).

O presente estudo teve por objetivo avaliar cinco linhagens de mamona na fitorremediação de solos contaminados por cádmio e chumbo em Santo Amaro - Bahia.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi desenvolvido em casa de vegetação, no período de março de 2012 a Junho de 2013 sob telado do Núcleo de Melhoramento Genético e Biotecnologia (NBIO) situado no *campus* da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), no município de Cruz das Almas/Bahia. Foram utilizados 80 vasos de 23 kg (34 cm x 28 cm) contendo solo coletado a uma profundidade de 0 a 30 cm da cidade de Santo Amaro - Bahia, nas proximidades da antiga fábrica de processamento de chumbo Companhia Brasileira de Chumbo (COBRAC) e em um raio de 5 km de distância da COBRAC.

Salienta-se que na coleta e transporte do material do município de Santo Amaro até a UFRB em Cruz das Almas, Bahia, todas as pessoas envolvidas utilizaram os equipamentos de proteção individual como luvas, botas, máscaras e roupas grossas de maneira a minimizar o contato com os poluentes em questão.

Foram utilizadas 5 linhagens de mamona (*Ricinus communis* L.) desenvolvidas pelo Núcleo de Melhoramento Genético e Biotecnologia da UFRB NBIO, quais sejam: L1 - (Linhagem 26); L2 - (Linhagem 75); L3 - (Linhagem 98); L4 (Linhagem 176) e L5 - (Linhagem 254).

A quantidade de matéria orgânica utilizada no T3 foi de 132 gramas por vaso, correspondente a 13 toneladas por hectare. No T4 a quantidade de EDTA foi de  $0,19 \text{ mol L}^{-1}$  por vaso.

Na casa de vegetação as plantas foram mantidas sob temperatura e condições fotoperiódicas naturais, sendo as plantas irrigadas a cada dois dias considerando 80% da capacidade máxima de retenção (saturação) de 23,7 g de água por vaso, durante o período experimental de 4 meses.

Como delineamento estatístico foi adotado o inteiramente casualizado com 4 repetições utilizando os seguintes tratamentos: T1: solo menos contaminado; T2: solo contaminado com escória de Pb e Cd; T3: solo contaminado com escória de Pb e Cd + esterco animal (10 t/ha = 102 g por vaso); T4: solo contaminado com escória de Pb e Cd + quelante EDTA (10 mmol/kg de solo).

Após o enchimento dos vasos foram colocadas 3 sementes a uma profundidade de 8 e 10 cm em cada vaso. Foi realizada a primeira irrigação em função dos cálculos de determinação da capacidade máxima de retenção de água (saturação). As posições dos vasos foram alternadas aleatoriamente em intervalos de 15 dias.

Em função das análises química e física do solo sobre micro e macronutrientes, realizadas pela Embrapa Mandioca e Fruticultura – Cruz da Almas/Bahia (Laudo em anexo) não foi necessária a adubação e a correção do solo. Antes da realização do experimento procedeu-se a quantificação dos contaminantes Pb e Cd das amostras de solo pelo SENAI - CETIND no município de Lauro de Freitas/Bahia sob as duas áreas de coleta de solo. A área próxima a antiga fábrica COBRAC foi classificada como muito contaminada com elevado valor de Cd e Pb. O solo coletado em área a um raio de 5 km da fábrica foi classificado como menos contaminado. A área selecionada para a coleta do material testemunha (sem contaminação) era supostamente isenta de poluentes, no entanto, após análise química do solo constatou menor quantidade, mas presente de cádmio e chumbo, considerando-o como menos contaminado.

O experimento transcorreu em aproximadamente 120 dias, onde o desenvolvimento da maioria das plantas chegaram ao estágio de frutificação e foi interrompido quando surgiram os primeiros sinais de senescência. As plantas foram cortadas a 10 cm da raiz com alicate de poda em aço inoxidável. Foram lavadas com água potável e água deionizada e, secas em telado protegido da chuva durante 72 horas. Logo após, foram acondicionadas em sacos de papel, pesadas e conduzidas à estufa de ventilação com força a 65°C durante 48 horas no laboratório de Química Analítica da UFRB. As raízes foram submetidas à lavagem em peneira de malha fina evitando perdas de material.

As amostras foram retiradas da estufa e esfriadas em dessecador e em seguida pesadas em balança semianalítica. Em seguida foram moídas em moinho de facas em aço inox com peneira com malha de 1mm. Executando sempre a limpeza criteriosa entre as amostras evitando a contaminação. A ordem de trituração foi dos tratamentos menos contaminados para os mais contaminados, sendo os primeiros referentes à amostra A em seguida da amostra B. O material de cada planta foi acondicionado em potes de plástico estéril.

Para a quantificação dos teores de Cd e Pb nos tecidos vegetais as amostras foram digeridas pelo método de digestão ácida em bloco digestor, utilizando dedos frios no Laboratório de Química Analítica do Instituto de Química da Universidade Federal da Bahia (UFBA). Para tanto, foram colocados 0,2 g de amostra e 4 mL de ácido nítrico (14,2 mol/L) em cada tubo de digestão e tampado com um dedo frio. Em grupos de 30 tubos foram aquecidos a uma temperatura programada para 150°C. Antes da colocação das amostras no bloco digestor procedeu-se a pré-digestão durante 30 minutos na capela de exaustão objetivando a não formação de espuma durante o processo. A digestão da parte aérea ocorreu por volta de 2 horas enquanto as raízes por volta de 4 horas. Após a digestão completa, do material foi adicionado 2 mL de peróxido de hidrogênio em 2 etapas com intervalo de 60 minutos e, após 60 minutos da 2.<sup>a</sup> adição do peróxido foi desligado o digestor, aguardando o esfriamento dos tubos para o seu envasamento para tubos tipo falcon de 15 mL sendo avolumado para 10 mL e conduzido ao espectrômetro de absorção atômica por chama. Para a leitura das amostras foi determinada uma curva analítica com 5 pontos de padrão para Pb (1, 2, 3, 4 e 5 mg/L) e Cd (0,1; 0,2; 0,3; 0,4 e 0,5 mg/L) em solução de ácido nítrico a 0,5%, conforme Tabela 1.

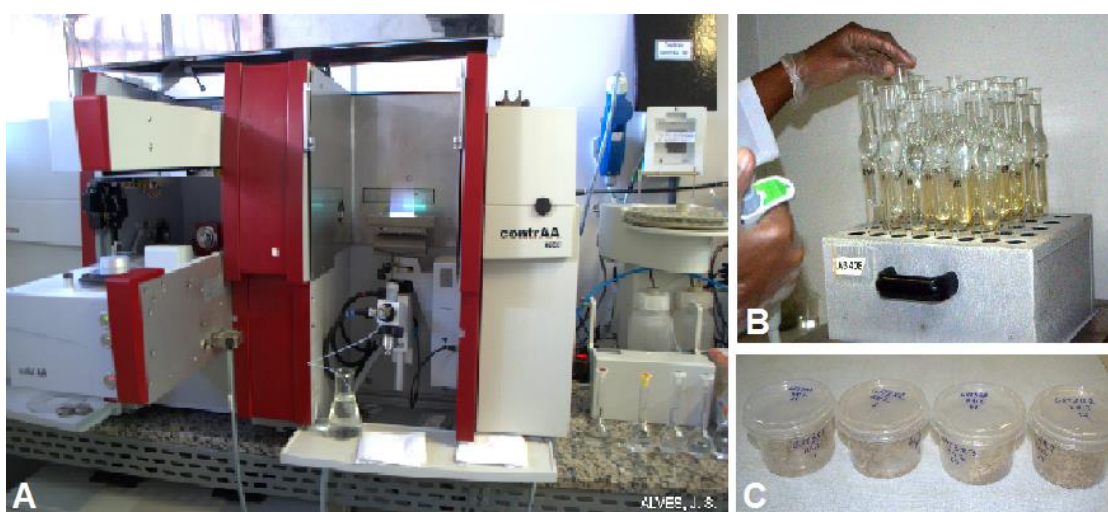
**Tabela 1** - Curva Analítica padrão utilizada para determinação dos teores de Cd e Pb.

Metais pesados	Padrões mg/L				
	P*1	P2	P3	P4	P5
Cd	0,1 mg/L	0,2 mg/L	0,3 mg/L	0,4 mg/L	0,5 mg/L
Pb	1 mg/L	2 mg/L	3 mg/L	4 mg/L	5 mg/L

Metais pesados	Padrões $\mu$ L				
	P1	P2	P3	P4	P5
Cd	5 $\mu$ L	10 $\mu$ L	15 $\mu$ L	20 $\mu$ L	50 $\mu$ L
Pb	50 $\mu$ L	100 $\mu$ L	150 $\mu$ L	200 $\mu$ L	500 $\mu$ L

\*Padrão.



**Figura 1** – Equipamentos e amostras utilizadas na análise de cádmio e chumbo em linhagens de mamona submetidos à solo contaminado de Santo Amaro - Bahia. A: espectrômetro de absorção atômica por chama contrAA 700; B: Bloco digestor e C: amostras moídas para digestão.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste Tukey em nível de 5% de probabilidade, através do programa estatístico GENES versão de 2008.

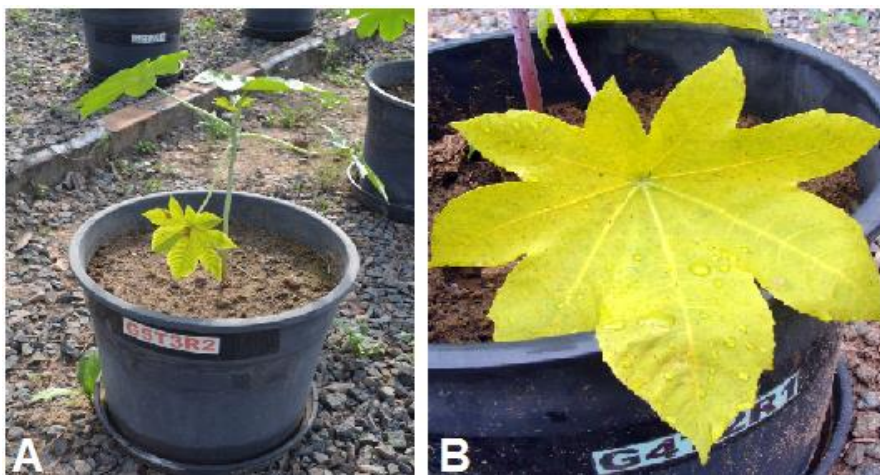
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Levando em consideração que o ciclo completo da mamona ocorre geralmente de 150 a 200 dias (Silva et al. 2009), o desenvolvimento fenológico em 120 meses das linhagens submetidas aos tratamentos do presente trabalho, em geral, foi satisfatório do ponto de vista da obtenção de material



para realização das análises. Visto que, exceto as linhagens/tratamentos (L1T1; L3T1; L4T1; L1T2; L1T3 e L1T4), todos desenvolveram no estágio de florescimento. Entretanto, algumas plantas apresentaram clorose em função da presença do elemento traço cádmio, retardando seu crescimento em relação às demais (Figura 2).

Costa et al. (2011) constataram que o Cd provocou severos danos de fitotoxicidade com sintomas visuais em toda a planta ao desenvolverem experimentos que testaram a capacidade fitorremediadora da mamona comum na extração de cádmio de solo tratado com lodo de esgoto. O trabalho desenvolvido por Kupper et al. (2004) revelou que a clorose das folhas da mamona reflete o grau de toxicidade do cádmio presente no solo.



**Figura 2** – Plantas com clorose em função da presença do elemento traço cádmio em solo de Santo Amaro - Bahia.

Na análise de variância verificou-se que não houve diferença significativa nos elementos cádmio e chumbo na parte aérea, para as linhagens L1 (26); L2 (75); L3 (98) exceto para as linhagens L4 (175) e L5 (254) conforme a Tabela 2. Isto revela que os tratamentos (solo menos contaminado, solo contaminado, solo contaminado + esterco e solo contaminado + quelante) não influenciaram o desenvolvimento caulinar e foliar das plantas em 3 linhagens. Por outro lado, ocorreu diferença significativa nos elementos cádmio e chumbo na raiz, exceto nas Linhagens L1 (Cádmio na raiz) e na L4 (Chumbo na raiz).

**Tabela 2** – Resumo da Análise de Variância relacionado ao Cádmiio na parte aérea (CdA), Cádmiio na raiz (CdR), Chumbo na parte aérea (PbA) e Chumbo na raiz (PbR) em cinco linhagens de Mamona em solo contaminado de Santo Amaro, Bahia.

Linhagens	FV	GL	QM			
			CdA	CdR	PbA	PbR
L1	Trat.	3	0,0041 <sup>ns</sup>	0,0111 <sup>ns</sup>	0,2869 <sup>ns</sup>	4,37*
	Res.	12	0,0035	0,0051	0,2777	1,134
	CV(%)	-	219,33	104,93	214,86	87,41
L2	Trat.	3	0,0041 <sup>ns</sup>	0,76*	29,731 <sup>ns</sup>	18,034*
	Res.	12	0,0048	0,0134	20,34	2,68
	CV(%)	-	172,70	71,15	174,38	71,37
L3	Trat.	3	0,0014 <sup>ns</sup>	0,284*	0,1573 <sup>ns</sup>	6,90*
	Res.	12	0,009	0,0039	0,1301	1,148
	CV(%)	-	161,43	61,13	223,85	61,92
L4	Trat.	3	0,0003*	0,0235*	6,0773 <sup>ns</sup>	7,7020 <sup>ns</sup>
	Res.	12	0,00008	0,0067	6,8043	2,6502
	CV(%)	-	21,63	69,32	334,56	83,90
L5	Trat.	3	0,00012*	0,0423*	16,393 <sup>ns</sup>	18,39*
	Res.	12	0,00003	0,006	17,181	1,10
	CV(%)	-	37,84	54,49	365,21	34,24

Legendas: \* (significativo pelo teste F em nível de 5% de probabilidade); <sup>ns</sup> (não significativo); L1 (Linhagem 26), L2 (Linhagem 75), L3 (Linhagem 98), L4 (Linhagem 175) e L5 (Linhagem 254).

De acordo com os resultados, de forma geral constatou-se que todas as linhagens estudadas obtiveram sucesso na absorção de cádmio e chumbo tanto nas partes aéreas quanto nas raízes, nos quatro tratamentos (T1, T2, T3 e T4). Entretanto, a tabela 3 demonstra que houve melhor absorção de Chumbo na parte aérea para em todos os tratamentos por todas as linhagens e que a Linhagem 175 (L4) foi a melhor na absorção dos dois metais pesados, seguido pela Linhagem 26 (L1).

A variação na absorção de Cd nas raízes comparado com as partes aéreas, comparada à absorção de Pb, pode estar relacionada à limitação da translocação elucidando a complexação desses metais pesados com quelatinas presentes nas células radiculares (HONG et al. 2008). Logo depois desse processo, esses metais são sequestrados pelos vacúolos centrais e são imobilizados até o limiar. Accioly et al. (2004) trabalhando com mudas de eucalipto (*Eucalyptus camaldulensis*) constataram teores mais elevados de Cd

nas raízes comparadas com a parte aérea, apontando como indicativo da limitação da translocação desse metal. Chandra et al. (2010) pesquisando a distribuição e bioacumulação de Cd e Cr em feijão-fradinho (*Vigna unguiculata*), constatou maior nível de deposição de Cd em suas raízes associando à sua possível reação com substâncias orgânicas presentes nas secreções resultantes de traumatismos; evitando seu deslocamento para a parte aérea da planta provavelmente, o mesmo ocorreu com as linhagens de mamona utilizadas no presente estudo em comparação à absorção do metal pesado Pb.

O presente estudo constatou uma maior absorção de Pb na parte aérea quando comparado à raiz. Dados discordantes foram encontrados por Marques (2009) que trabalhou com plantas na fitoextração de chumbo, inclusive a mamona, em áreas contaminadas no entorno da fábrica de reciclagem de acumuladores automotivos, no município de Rio Tinto na Paraíba. Ele cultivou mamoneiras em touceiras, sendo coletadas de 30 e 60 dias após o transplante. Procedendo a digestão e quantificação do teor do metal por espectrofotometria de absorção atômica, constatou que a fitoacumulação na parte aérea não foi representativa em relação às raízes. Destaca que a mamona possui elevada capacidade de absorção e acumulação do Pb em seu sistema radicular oferecendo resistência a translocação para a parte aérea tornando a espécie indicada como fitoestabilizadora. Todavia, neste trabalho, também houve uma boa absorção de Pb pelas raízes exceto quando as Linhagens foram submetidas ao tratamento T1.

Santos (2012) pesquisando o acúmulo de Pb no tecido vegetal da mamoneira em solo contaminado para verificar o potencial de fitorremediação, cultivou plantas em vasos, colhendo-os em 90 dias após a semeadura e posterior quantificação da matéria seca da parte aérea e das raízes. Constatou que as plantas acumularam mais Pb nas raízes em relação a parte aérea e teve consequente diminuição do crescimento.

Além de afetar o equilíbrio osmótico da célula vegetal, o Cd pode ainda ter influência na absorção, no deslocamento e na assimilação de elementos como Mg, K, P, Ca e Fe pelas estruturas da planta de acordo a: DAS et al. 1997; SANITÁ e GABRIELLI, 1999 ZEITOUNI et al. 2007). Um dos aspectos positivos do cádmio, ao contrário de outros elementos tóxicos, reside no fato de

ele ser facilmente absorvido pelas raízes das plantas, principalmente em solos ácidos em conformidade ao citado por Clemens, 1999 concordando com os dados obtidos neste estudo.

Costa et al. (2011) avaliaram a tolerância da mamona ao acúmulo de Cd e Pb para fins de fitorremediação. As plantas foram cultivadas em solução nutritiva acrescidas de doses crescentes de Cd e Pb, além do quelante EDTA mensurando a produção de matéria seca da parte aérea e raízes. Eles constataram que o Cd provocou severos danos de fitotoxicidade com sintomas visuais em toda a planta, não ocorrendo com o Pb ratificando a ideia de que tal planta é indicada como fitorremediadora de solos contaminados. O quelante não influenciou no deslocamento dos metais para a variedade estudada. Porém, Khan et al. (2000) relataram que devido à grande capacidade de complexar metais traço, os agentes quelantes são utilizados para promover a disponibilidade desses elementos em solos contaminados. Os efeitos da fitoextração são bastante aumentados com o emprego de quelatos sintético como ácido etilenodiaminotriacético (EDTA).

**Tabela 3** – Absorção de Cádmio e Chumbo na parte aérea (CdA e PbA) e na raiz (CdR e PbR) em cinco Linhagens de mamona em função de 4 tratamentos em solo contaminado de Santo Amaro, Bahia.

VARIÁVEIS	TRAT.	LINHAGENS				
		L1 (26)	L2 (75)	L3 (98)	L4 (175)	L5 (254)
CdA	T1	0,001 a	0,007 a	0,014 a	0,135 b	0,009 b
	T2	0,014 a	0,021 a	0,453 a	0,166 a	0,014 ab
	T3	0,073 a	0,078 a	0,148 a	0,171 a	0,228 a
	T4	0,019 a	0,054 a	0,128 a	0,184 a	0,015 ab
CdR	T1	0,002 a	0,006 b	0,019 b	0,003 a	0,007 b
	T2	0,099 a	0,299 a	0,148 a	0,163 a	0,251 a
	T3	0,050 a	0,229 ab	0,190 a	0,143 a	0,125 ab
	T4	0,120 a	0,065 b	0,066 ab	0,161 a	0,176 a
PbA	T1	0,002 a	0,143 a	0,001 a	0,005 a	0,005 a
	T2	0,028 a	6,277 a	0,451 a	2,621 a	0,038 a
	T3	0,439 a	1,179 a	0,106 a	0,263 a	0,334 a
	T4	0,512 a	2,876 a	0,087 a	0,230 a	4,164 a
PbR	T1	0,001 b	0,232 b	0,027 b	0,006 a	0,149 b
	T2	1,385 ab	4,129 a	2,837 a	2,801 a	5,093 a
	T3	0,962 ab	4,078 a	2,688 a	1,877 a	4,132 a
	T4	2,523 a	0,947 ab	1,369 ab	3,072 a	2,892 a

Legendas: Tratamentos: T1 (solo menos contaminado); T2 (solo contaminado); T3 (solo contaminado + matéria orgânica) e T4 (solo contaminado + quelante). Linhagens: L1 (Linhagem 26); L2 (Linhagem 75); L3 (Linhagem 98); L4 (Linhagem 175) e L5 (Linhagem 254). Médias seguidas de mesma letra na linha e na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey em nível de 5% de probabilidade.

## CONCLUSÃO

Ocorreu sucesso na absorção de cádmio e chumbo em todas as linhagens testadas, destacando-se as Linhagens 175 e 26, tornando-as aptas para fitoextrair cádmio e chumbo em solos contaminados por esses elementos em Santo Amaro, Bahia.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACCIOLY, A. M. A.; SIQUEIRA, J. O.; CURTI, N.; MOREIRA, F. M. S. Amenização do calcário na toxidez de zinco e cádmio para mudas de *Eucalyptus camaldulensis* cultivadas em solo contaminado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 28, n. 4, p. 775-783, jul./ago. 2004.

ANDRADE, J. C. M.; TAVARES, S. L. R.; MAHLER, C. F. **Fitorremediação: o uso de plantas na melhoria na qualidade ambiental**. São Paulo: Oficina de textos, 2007. 176 p.

ATSDR - AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY: U.S. DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES. Draft toxicological profile for perfluoroalkyls. 2009. Disponível em: <<http://www.atsdr.cdc.gov/cercla/05list.html>>. Acesso: 04 abr. 2013.

CHANDRA, R. P.; ABDUSSALAM A. K.; SALIM, N. Distribution of bio-accumulated Cd and Cr in two *Vigna* species and the associated histological variations. **Journal of Stress Physiology & Biochemistry**. v. 6, n. 1, p. 4-12. 2010.

CHEN, S.; SUN, L.; SUN, T.; CHAO, L.; GUO, G. Interaction between cadmium, lead and potassium fertilizer ( $K_2SO_4$ ) in a soil-plant system. **Environmental Geochemistry and Health**, Amsterdã, v. 29, n. 5, p. 435–446, abr. 2007.

CLEMENS, S. Molecular mechanisms of plant metal tolerance and homeostasis. **Planta**, v. 212, p. 475-486, set. 2000.

COSTA, E. T. S.; GUILHERME, L. R. G.; MELO, E. E. C.; RIBEIRO, B. T.; INÁCIO, E. S. B.; SEVERIANO, E. C.; FAQUIN, V.; HALE, B. A. Assessing the Tolerance of Castor Bean to Cd and Pb for Phytoremediation Purposes. **Springer Science + Business Media**. p. 1-3, jul. 2011.

DAS, P.; SAMANTARAY, S.; ROUT, G. R. Studies on cadmium toxicity in plants: a review. **Environmental Pollution**, v. 98, n. 1, p. 29-36. 1997.

FREITAS, E. V. S.; NASCIMENTO, C. W. A.; SILVA, A. J.; DUDA, G. P. Indução da fitoextração de chumbo por ácido cítrico em solo contaminado por baterias automotivas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 2, p. 467-473, mar/abr. 2009.

GOPAL, R.; RIZVI, A. H. Excess lead alters growth, metabolism and translocation of certain nutrients in radish. **Chemosphere**, v. 70, n. 9, p. 1539-1544, fev. 2008.

GUIMARÃES, M. A.; SANTANA, T. A.; SILVA, E. V.; ZENZEN, I. L. LOUREIRO, M. E. Toxicidade e tolerância ao cádmio em plantas. **Revista Tropica – Ciências Agrárias e Biológicas**, v. 1, n. 3, p. 58, 2008.

HONG, C. L.; JIA, Y. B.; YANG, X. E.; HE, Z. L.; STOFFELLA, P. J. Assessing lead thresholds for phytotoxicity and potential dietary toxicity in selected vegetable crops. **Bull. Environ. Contam. Toxicol**, v. 80, p. 356–361, 3 mar. 2008.

ISHIKAWA, D. N.; NOALE, L. Z.; OHE, T. H. K.; SOUZA, E. B. R.; SCARMINIO, I. S.; BARRETO, W. J.; BARRETO, S. R. G. Avaliação do risco ambiental em sedimentos dos lagos do riacho Cambé, em Londrina, pela distribuição de metais. **Química Nova**, v.32, n. 7, p. 1744-1749, 2009.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. 3rd ed. Boca Raton, USA: CRC Press. 2000, 413 p.

KHAN, A. G.; KUEK, C.; CHAUDHRY, T.M.; KHOO, C. S.; HAYES, W. J. Role of plants, mycorrhizae and phytochelators in heavy metal contaminated land remediation. **Chemosphere**, v. 41, n. 1, p. 197–207, 2000.

KÜPPER, H.; MIJOVILOVICH, A.; MEYERKLAUCKE, W.; KRONECK, M. H. Tissue and age-dependent differences in the complexation of cadmium and zinc in the cadmium/zinc hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens* (Ganges Ecotype) revealed by X-ray absorption spectroscopy. **Plant Physiology**. v. 134, n. 2, p. 748-757, fev. 2004.

LIMA, A. M.. **Avaliação do Potencial Fitorremediador da Mamona (*Ricinus communis* L.) e Girassol (*Helianthus annuus* L.) quanto à remoção de Chumbo e Tolueno em Efluentes Sintéticos**. 2010. 110 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio do Norte. Natal, 2010.

LIMA, F. S. **Bioconcentração de chumbo e zinco em partes comestíveis de hortaliças cultivadas em solos contaminados**. 2010. 89 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2010.

LINHARES, L. A.; EGREJA FILHO, F. B.; OLIVEIRA, C. V.; BELLIS, V. M. Adsorção de cádmio e chumbo em solos tropicais altamente intemperizados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 44, n. 3, p. 291-299, mar. 2009.

LU, A.; ZHANG, S. e SHAN, X-Q. Time effect on the fractionation of heavy metals in soils. **Geoderma**, v. 125, n. 3, p. 225-234, abr. 2005.

MANECKI, M; BOGUCKA, A; BADJA, T; BORKIEWICZ, O. Decrease of Pb bioavailability in soils by addition of phosphate ions. **Environmental Chemistry Letters**, v. 3, n. 4, p. 178-181, jan. 2006.

MARQUS, L. F. Fitoextração de chumbo por girassol, vetiver, trigo mourisco, jureminha e mamona em áreas contaminadas. 2009. 50 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2009.

MELO, E. E. C.; NASCIMENTO, C. W. A.; SANTOS, A. C. Q.; SILVA, A. S. Disponibilidade e fracionamento de Cd, Pb, Cu e Zn em função do pH e tempo de incubação com o solo. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 32, n. 3, p. 776-784, mai/jun. 2008.

PIECHALAK, A.; TOMASZEWSKA, B.; BARALKIEWICZ, D.; MALECKA, A. Accumulation and detoxification of lead ions in legumes. **Phytochemistry**, v. 60, n. 2, p. 153-162, 2002.

SANITÁ DI TOPPI, L.; GABBRIELLI, R. Response to cadmium in higher plants. **Environmental and Experimental Botany**, v. 41, n. 2, p.105-130, abr. 1999.

SANTOS, C. H. S. Potencial de fitoextração de Pb por mamoneiras em solo Contaminado. **Semina**, Londrina, v. 33, n. 4, p. 1427-1434, jul./ago. 2012.

SILVA, J. J. N.; MONTENEGRO, A. A. A; BELTRÃO, N. E. M.; CARTAXO, W. V.; OLIVEIRA, M. X. Crescimento e produtividade de mamona (*Ricinus comunnis* L.) em agricultura familiar no Semiárido de Pernambuco. In: 7º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO E MANEJO DE ÁGUA DA CHUVA. 2009. Caruaru, **ANAIS...**



TORRI, S.; LAVADO, R. Plant absorption of trace elements in sludge amended soils and correlation with soil chemical speciation. **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdã, v. 166, p. 1459-1465, jul. 2009.

ZEITOUNI, C. F.; BERTON, R. S.; ABREU, C. A. Fitoextração de Cádmio e Zinco de um Latossolo Vermelho-Amarelo contaminado com Metais Pesados. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 4, p. 649-657, 2007.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A mamoneira vem liderando a lista das espécies de vegetais que se prestam satisfatoriamente ao papel de absorver quantidades consideráveis de substâncias tóxicas, sem interromper suas atividades vitais. Algumas linhagens de mamona conseguem extrair quantidades diferentes quando se incrementa quelantes como o EDTA. As contribuições deste trabalho para a comunidade Santamarense serão de grande relevância, uma vez que aquela população sofre as consequências da má gestão ambiental o que causou tamanho prejuízo em mais de 20 anos. As informações sobre o potencial fitoextrator das linhagens desenvolvidas pelo NBIO/UFRB poderão minimizar a médio ou em longo prazo, a poluição resultante da atividade da antiga Companhia Brasileira de Chumbo, através de seu plantio nas áreas mais críticas relacionadas à contaminação. Com a possibilidade de extrair os resíduos de cádmio e chumbo e ainda, suas sementes poderão ser utilizadas para produção do biocombustível uma vez que não há registro sobre o acúmulo desses metais nos frutos.