

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA  
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**HUGO FRANCISCO DE SOUZA  
MAIARA DE SOUSA OLIVEIRA  
MARIANA CASALI ROSA ELIAS**

**APLICAÇÃO DAS TÉCNICAS DE ELETROCINESE E  
FITORREMEDIAÇÃO PARA REMOÇÃO DE CÁDMIO EM UM SOLO  
CONTAMINADO ARTIFICIALMENTE**

**VOLTA REDONDA**

**2018**

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA  
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**APLICAÇÃO DAS TÉCNICAS DE ELETROCINESE E  
FITORREMEDIAÇÃO PARA REMOÇÃO DE CÁDMIO EM UM SOLO  
CONTAMINADO ARTIFICIALMENTE**

Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Ambiental apresentado como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Alunos:

Hugo Francisco de Souza

Maiara de Sousa Oliveira

Mariana Casali Rosa Elias

Orientador:

Prof.<sup>a</sup> M.<sup>a</sup> Ana Claudia Silva de Almeida

Coorientadores:

Prof.<sup>o</sup> Me. Amarildo de Oliveira Ferraz

Prof.<sup>a</sup>Dra. Ana Carolina Callegario Pereira

**VOLTA REDONDA**

**2018**

## Anexo 10

## FOLHA DE APROVAÇÃO

O Trabalho de Conclusão de Curso intitulado: **APLICAÇÃO DAS TÉCNICAS DE ELETROCINESE E FITORREMEDIAÇÃO PARA REMOÇÃO DE CÁDMIO EM UM SOLO CONTAMINADO ARTIFICIALMENTE.**

Elaborado por **Hugo Francisco de Souza, Maiara de Sousa Oliveira e Mariana Casali Rosa Elias**, apresentado publicamente perante a Banca Avaliadora, como parte dos requisitos para conclusão do Curso de Engenharia Ambiental

Aprovada em 14 de junho de 2018

Banca Avaliadora:

Ana Claudia Silva de Almeida

Professora Orientadora

Ana Claudia Silva de Almeida, Mestre (UniFOA)

Francisco Jacome Gurgel Junior

Professor Avaliador

Francisco Jacome Gurgel Junior, Doutor (UniFOA)

Erika Fraga Rodrigues

Professora Avaliadora

Erika Fraga Rodrigues, Mestre (UniFOA)

“Desenvolver força, coragem e paz interior demanda tempo. Não espere resultados rápidos e imediatos, sob o pretexto de que decidiu mudar. Cada ação que você executa permite que essa decisão se torne efetiva dentro de seu coração.”

Dalai Lama

Dedicamos este trabalho a todos que de alguma forma nos auxiliaram na trajetória de execução e realização deste trabalho.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus permitindo que tudo isso acontecesse ao longo de nossas vidas, e não somente nestes anos como universitários, mas em todos os momentos sendo o maior mestre que alguém pode conhecer. A esta universidade, seu corpo docente, direção e administração que oportunizaram a janela pela qual hoje vislumbramos um horizonte superior, eivado pela acendrada confiança ao mérito e ética aqui presentes. Aos nossos pais, pelo amor, incentivo e apoio incondicional. A nossa orientadora a Prof. Ma. Ana Claudia Silva de Almeida por toda sua calma, dedicação e ajuda durante todo nosso trabalho, por mostrar que os horizontes podem ser alcançados com a força de vontade, de buscar soluções, de mostrar que ser calma e educada também é sinônimo de risos, o que não faltou durante nossos meses de trabalho juntos na realização desse trabalho de conclusão de curso, esperamos sair hoje da universidade sendo 1% do que você é.

Aos nossos Coorientadores Amarildo de Oliveira Ferraz e Ana Carolina Callegario Pereira por todo apoio e vontade, garra e confiança por darem o nome de vocês para nosso trabalho, tenho certeza que sairemos desta universidade completamente gratificados com tudo que pudemos aprender com vocês, foi e sempre será um prazer trabalhar com pessoas com tanto a ensinar, não só como professores mais como amigos e seres humanos.

A todos os técnicos de laboratório no qual tivemos o prazer de trabalhar durante toda fase de experimentos, em especial ao Geneci por nos auxiliar em todos os dias que lhe foi solicitado.

A todos os amigos de turma e de graduação, por sempre acreditarem que podemos chegar lá, basta acreditar, obrigado por todo apoio durante a caminhada e por todo ensinamento que cada um de vocês nos ensinou, enfim a todos que direta ou indiretamente fizeram parte de nossa formação, o nosso muito obrigado.

## RESUMO

O inadequado manejo do solo pode acarretar em graves problemas ambientais. Dentro dessa realidade, as técnicas relativas à Fitorremediação e a Eletrocinese representam alternativas para a remediação de solos contaminados por cádmio (Cd). O presente estudo está relacionado à utilização de um solo contaminado artificialmente com cádmio e a eficiência de duas técnicas de remediação distintas, dentro de 3 (três) linhas específicas pré-estabelecidas, sendo elas: remoção da concentração do metal no solo; determinação do tempo necessário para a execução do tratamento e comparação das duas técnicas estudadas. O estudo foi realizado através de 2 (dois) experimentos. O primeiro experimento foi referente a Fitorremediação, que propôs o uso da planta de tabaco (*Nicotiana tabacum*), uma planta hiperacumuladora, em dois solos contaminados artificialmente com Cd, na dose de 16mg/kg. Os solos foram classificados como Solo Argiloso e Solo Orgânico. O experimento referente à Fitorremediação não foi concluído, visto que as plantas dos tratamentos referentes ao Solo Argiloso não resistiram à contaminação. No segundo, referente à Eletrocinese, foi utilizado somente o Solo Argiloso contaminado, com a dose de 150mg/kg a fim de demonstrar a eficiência da técnica, adicionado dentro de uma cuba de acrílico, com as extremidades vedadas e com dois eletrodos de Aço inox implantados responsáveis pela remediação do solo. Os eletrodos ficaram ligados a uma fonte de energia contínua de 0-36V e 0-3A, Programable DC Power Supply (modelo PS-700, marca ICEL Manaus), onde foi retirado amostras semanais durante 3 semanas em triplicata para análises laboratoriais em Espectrofotômetro de absorção atômica. Conclui-se que a técnica é eficiente na remoção de metais pesados, mais especificamente Cd e que é uma técnica que pode ser considerada na remediação de áreas degradadas, porém é imprescindível que haja a compreensão que o solo é um sistema complexo e nem toda técnica de remediação utilizada numa determinada região pode ser aplicada em outra devido a diversidade microbiológica e mineral de cada solo.

Palavras-chave: Eletro remediação; metal pesado; solos contaminados; Eletrocinese; Fitorremediação.

## ABSTRACT

Inadequate soil management can lead to serious environmental problems. Based on this, the techniques of Phytoremediation and Electroremediation represent alternatives for the remediation of soils contaminated by cadmium (Cd). The present study is correlated with the use of an artificial communication method with cadmium and the efficiency of two disturbance correction techniques within 3 (three) pre-reference search lines: removal of the metal concentration in the soil; the performance of the time needed to perform the treatment and the comparison of the two techniques studied. The study was carried out through 2 (two) experiments. The first experiment was related to Phytoremediation, which proposed the use of the tobacco plant, a hyperaccumulating dose, in two soils artificially contaminated with Cd at the dose of 16mg / kg. Soils were classified as clay soil and Organic Soil. The experiment regarding Phytoremediation was not concluded, since the plants of the treatments of the clay soil did not resist the contamination. In the second, concerning Electro remediation, only contaminated clay soil was used, also with a dose of 16 mg.kg<sup>-1</sup>, added to an acrylic vat, with sealed ends and with two stainless steel electrodes implanted by soil remediation. The electrodes were connected to a continuous power source of 0-36V and 0-3A, Programmable DC Power Supply (model PS-700, brand ICEL Manaus), where weekly samples were taken for 3 weeks in triplicate for laboratory analysis in Spectrophotometer of absorption. If it is that the technique is efficient in the removal of heavy metals, more is that information that can be applied in the remediation of degraded areas, however it is essential to remediation in one region can be applied in the other due to biological and mineral microbiology of each soil.

Keywords: Electro remediation; heavy metal; contaminated soils; phytoremediation, electrocinesis.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	14
1.1 Problemática .....	15
1.2 Justificativa.....	16
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	17
2.1 Objetivo Geral .....	17
2.2 Objetivos Específicos.....	17
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	18
3.1 Solo.....	18
3.1.1 Contaminação do solo .....	19
3.1.2 Remediação.....	20
3.1.3 Recuperação.....	21
3.1.3 Reabilitação .....	21
3.1.4 Restauração.....	21
3.1.5 Passivo Ambiental .....	22
3.2 Metais Pesados .....	22
3.2.1 Cádmio.....	22
3.2.2 Toxicidade do Cádmio .....	23
3.3 Plantas Hiperacumuladoras.....	24
3.3.1 Fitorremediação .....	25
3.3.2 Fitovolatilização .....	26
3.3.3 Rizofiltração .....	27
3.3.4 Fitoestabilização .....	27
3.3.5 Fitoextração .....	28
3.4 Eletrocinese .....	29
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	30
4.1 Fitorremediação.....	30
4.2 Eletrocinese .....	37
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	43
5.1 Fitorremediação .....	43
5.2 Eletrocinese .....	45
<b>6 CONCLUSÃO</b> .....	48
<b>7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS</b> .....	49
7.1 Fitorremediação .....	49
7.2 Eletrocinese .....	49
<b>8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	50

## LISTAS DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Esquema da fitorremediação.....	25
<b>Figura 2:</b> Eletrocinese .....	29
<b>Figura 3:</b> Descontaminação do meio de cultivo no laboratório.....	31
<b>Figura 4:</b> Etapa preliminar de preparação dos solos.....	32
<b>Figura 5:</b> Contaminação dos solos .....	34
<b>Figura 6:</b> Transplante das plântulas para o solo contaminado.....	36
<b>Figura 9:</b> Técnica de eletrocinese com fluxo contínuo de água. ....	39
<b>Figura 8:</b> Célula eletrolítica simples .....	40
<b>Figura 9:</b> Amostras prontas para análises em espectrofotômetro. ....	40
<b>Figura 10:</b> Unidades experimentais de solo argiloso contaminados e brancos. ....	43
<b>Figura 11:</b> Unidades experimentais de solo orgânico contaminados e brancos. ....	44

## LISTAS DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Controle da remoção de cádmio .....	45
<b>Tabela 2:</b> % da remoção de Cádmio.....	46

## LISTAS DE ANEXOS

ANEXO A – RESOLUÇÃO CONAMA 420/2009.....	55
ANEXO A – RESOLUÇÃO CONAMA 460/2013.....	71

## LISTA DE FLUXOGRAMA

<b>Fluxograma 1:</b> .....	<b>30</b>
----------------------------	-----------

## LISTAS DE SIGLAS

ATSDR - *Agency for Toxic Substances and Disease Registry*

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo.

Cd - Cádmio

Cl<sub>2</sub> – Gás Cloro

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

FAO - Organização das Nações Unidas para alimentação e agricultura

H<sub>2</sub> – Gás Hidrogênio

IRPTC - *International Register of Potentially Toxic Chemical of United Nations Environment Program*

PH - Potencial hidrogeniônico

P.S. - Peso Seco

P.U. - Peso Úmido

PPM – Partes por milhão

RJ – Rio de Janeiro

RSU - Resíduos Sólidos Urbanos

S – Enxofre

TCE - Tricloroetileno

UFF – Universidade Federal Fluminense

UNIFOA – Centro Universitário de Volta Redonda

## 1 INTRODUÇÃO

O processo de evolução humana trouxe consigo o desenvolvimento tecnológico e industrial, fator este que derivou em aspectos positivos e negativos. Como impactos positivos, pode-se citar os avanços tecnológicos e industriais que geraram o maior conforto ao dia a dia. A industrialização gerou renda, aumentou o consumo e impulsionou o crescimento da economia mundial. Com esse modelo econômico o consumismo começou a crescer em uma escala muito maior se comparado aos séculos passados e como consequência, produção de resíduos aumentou e começaram a ser inseridos nos principais compartimentos da biosfera: o solo, o ar e a água., as indústrias foram tomando o lugar da natureza, córregos foram canalizados e áreas de vegetação foram impermeabilizadas com a implantação do asfalto. O homem passou a interferir na natureza para que o seu desenvolvimento acontecesse, porém não se atentou por muito tempo as consequências que as interferências ao meio ambiente iriam causar futuramente.

Segundo Cetesb (1999) a busca pela compreensão de que se era necessário e importante a preservação do solo demorou a ser colocada em foco nas várias políticas ambientais existentes no país e dos países industrializados, isso tudo após problemas ambientais que decorriam da poluição de águas e atmosfera já terem sido tocados anteriormente. Ainda segundo Cetesb (1999) o solo foi considerado pelo homem por um longo período um contentor de uma série de substâncias como lixo doméstico e resíduos industriais.

De acordo com a Embrapa, em um estudo recente definiu-se que cerca de juntamente com a Organização das Nações Unidas para alimentação e agricultura (FAO) apontou que cerca de 33% dos solos do mundo estão degradados, dentre os problemas foi aponto erosão, salinização, compactação, acidificação e contaminação. Ainda segundo a Embrapa, os solos degradados captam menos carbono da atmosfera, interferindo assim nas mudanças climáticas.

Dentro desse assunto, o conceito de "Áreas Contaminadas", como sendo um local cujo solo sofreu dano ambiental significativo que o impede de assumir suas funções naturais ou legalmente garantidas (CETESB, 1999).

### 1.1 Problemática

O solo possui íntima relação com os outros dois compartimentos (ar e água), induzindo as suas características e sendo induzido por ambos. Como o homem ocupa majoritariamente este compartimento, tanto para moradia quanto para plantio a preocupação de se obter um solo livre de qualquer contaminante é essencial. Os ideais e as convicções mais modernas indicam que a preocupação com o solo necessita ser mais holística. A contaminação dos solos pode ocorrer pela precipitação e deposição do cádmio presente na atmosfera.

Segundo Silva (2015) existem outras variações que podem culminar na contaminação dos solos, dentre elas os resíduos da fabricação de cal, a queima de combustíveis fósseis, resíduos sólidos urbanos (RSU) além de resíduos de esgoto sanitário.

Dado o exposto, tem-se como problemática deste estudo: "Existe viabilidade técnica e ambiental, quanto ao tratamento de solos contaminados com cádmio a partir da aplicação das técnicas de Fitorremediação e Eletrocinese?"

## 1.2 Justificativa

A indagação por buscar a utilização de técnicas está ligada a não haver necessidade de movimentação de contaminantes de um local até o outro, podendo causar e ou aumentar os riscos de contaminação, além disso por serem consideradas de baixo custo e não causarem contaminações consideradas secundárias, notando-se que em técnicas *ex situ* necessitam de transporte para um local onde será realizado o tratamento. As técnicas usadas nesse presente estudo, por mais que testadas em bancada são técnicas de remediação *in situ*.

O cenário atual, é de maior preocupação com o meio ambiente e as formas de protegê-lo. O ser humano faz uso de uma grande parcela do solo existente na terra, dessa maneira ele como outro qualquer organismo faz uso do solo para sobrevivência, dessa maneira o cuidado com a saúde e o bem-estar humano deve ser sempre prioridade, um ambiente habitacional livre de qualquer contaminação é necessário. Porém o que ainda atrapalha bons resultados no quesito de remediação é a existência de técnicas caras. O presente trabalho se apoia na busca de medidas tratativas de fácil operação, baixo custo por usar processos físico-químicos e biológicos na tratativa de sítios contaminados. Visando assim um Meio Ambiente equilibrado e livre de qualquer contaminação disposta sobre os compartimentos dos quais fazemos uso.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo Geral

O estudo visa avaliar e comparar duas técnicas distintas, a Fitorremediação e Eletrocinese, para tratamento de solos contaminados com Cd, através de um estudo de bancada.

### 2.2 Objetivos Específicos

- Reduzir a concentração do cádmio no solo;
- Determinar o tempo necessário para a execução do tratamento;
- Comparar as duas técnicas e apresentar a mais eficiente.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Solo

Segundo Zilli (2003) O solo é uma associação de tipologias diferentes, tanto orgânicos quanto minerais, além disso, é habitat de diversas espécies de microrganismos que realizam no meio várias reações importantes para biótica do local. Toda matéria orgânica no solo é proveniente da própria natureza do local, seja plantas em decomposição ou até mesmo compostos húmicos que foram degradados pelos próprios microrganismos presentes no meio, além de animais que estão sendo decompostos por ações da natureza. Ainda segundo Zilli (2003) Os componentes minerais de um solo são obtidos a partir da decomposição de rochas argilominerais e hidróxidos de ferro, manganês e alumínio.

Segundo Alloway e Ayres (1997), sem a grande parcela de matéria orgânica fornecendo auxílio para a retenção de umidade, toda tipologia do solo, sua fauna, plantas não realizariam as atividades nos quais é necessário ao meio ambiente.

Contudo Andrews (1996) diz que os solos superficiais, por estarem sempre em contato com toda matéria orgânica que é depositada ali, tem maior numero em quantidade de matéria orgânica e possuem maiores variações de espécies e concentrações de microrganismos que em solos mais profundos. Dentro disso possuem os organismos endógenos (naturais), os fungos e bactérias que são essenciais para a biologia do mesmo. A fauna microbiana de um solo é o principal agente decompositor de animais, plantas e de contaminantes orgânicos.

Baseado em Kookana e Baskaran (1998) o solo é considerado complexo por conterem uma grande variedade na sua composição química e mineral, além de toda fauna microbiana que varia de um solo para o outro, tanto que, a inserção de uma técnica de remediação, nem sempre é possível ser aplicada em outra área.

Além da variação de composição, a heterogeneidade física dos solos e das suas propriedades de transporte dificulta o modelamento acurado do destino e da taxa de decomposição de contaminantes no solo (SPARKS, 2001; *apud* KHACHIKIAN, HARMON, 2000). Ainda é possível apontar que existem varias formas de contaminação do solo, dentre elas por agrotóxicos e efluentes industriais.

De acordo com Steffen (2011) o sistema solo é palco de diversas alterações, podendo ser citado a uso do solo pelos sistemas agrícolas, pelo uso de agrotóxicos principalmente em casos de uso inadequado do solo. Segundo Merten e Minella (2002) a contaminação do solo e água pode ser maior em áreas de manejo em sistemas convencionais, isto é em situações que os solos são submetidos a preparos intensivos do solo.

Fundamentado no que diz Steffen (2011) o processo agrícola tem trazido aumento do uso de agrotóxicos com moléculas de ação biocida, como inseticidas, fungicidas entre outros, buscando assim o controle de invasores, que inevitavelmente causam prejuízos econômicos, porém além do princípio tóxico, muitos desses produtos apresentam elementos ou compostos com grande potencial poluidor, como metais pesados, surfactantes, emulsificantes, entre outros.

Segundo Sabik *et al.* (2000), dependendo das condições climáticas de determinada região, e quando esses agentes serão utilizados, apenas uma % desse agente biocida realmente atingira o alvo do qual foi designado, a outra parte vai ser considerado um xenobiótico, podendo se mover até outros locais, vindo a se depositar em plantas, solos, ou até mesmo no ecossistema aquático, resultando em acúmulo em determinados ecossistemas.

### 3.1.1 Contaminação do solo

Segundo a definição da Cetesb (2001), degradação é a inserção de substâncias tóxicas, organismos patogênicos além de uma outra grande diversidade de elementos no meio ambiente existente no solo, e uma quantidade que possa alterar a saúde e bem-estar dos seres humanos sendo assim visto como um tipo particular de contaminação. Esta definição diz respeito sobre toda contaminação que é inserida por ação antrópica no meio ambiente. Assim, para as substâncias e elementos que já existem na natureza é extremamente necessário que tenha-se parâmetros estabelecidos por lei.

Por outro lado, segundo Tundo (2000) o perigo que cada poluente oferece pode ser levado em conta baseando-se no risco que cada poluente pode oferecer se exposto ao ecossistema. Nesse sentido, ainda segundo Tundo (2000) determinado produto pode ser pouco tóxico, mas podendo ele afetar de forma variada vários

níveis diferentes dentro da fauna de um solo, o que causa assim um perigo maior que produtos tóxicos, mas de contaminação restrita.

Tundo (2000) ainda diz que, entre todos os contaminantes inorgânicos, o Cd é considerado o elemento de maior preocupação devido a sua grande capacidade de contaminação de diversos nichos e por estar presente em diversos resíduos tóxicos.

Baseado no que diz a resolução vigente para solos, a resolução CONAMA Nº 420/2009 que foi sobreposta pela resolução CONAMA Nº 460/2013 que:

*“Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas”. Diz que o limite de cádmio para zonas agrícolas é de 3 mg/Kg de peso seco, para áreas residenciais é de 8 mg/Kg de peso seco, e para áreas industriais 20 mg/Kg também de peso seco.”*

### 3.1.2 Remediação

Segundo definição do Ministério do Meio Ambiente (MMA)

*“entende-se por área contaminada como sendo área, terreno, local, instalação, edificação ou benfeitoria que contenha quantidades ou concentrações de quaisquer substâncias ou resíduos em condições que causem ou possam causar danos à saúde humana, ao meio ambiente ou a outro bem a proteger, que nela tenham sido depositados, acumulados, armazenados, enterrados ou infiltrados de forma planejada, acidental ou até mesmo natural.”*

Segundo Sánchez (2004) A remediação visa ao objetivo de remoção da fonte de contaminação, a redução de contaminação do solo e da água subterrânea para níveis aceitáveis ambientalmente, a redução de riscos ambientais ou de exposição de trabalhadores e usuários do local e do recurso. A identificação de uma área contaminada é um processo que envolve algumas etapas importantes que devem ser estudadas minuciosamente a fim de definir qual será a melhor forma de remediar aquela determinada área.

A tecnologia de remediação adotada para a descontaminação de uma determinada área deve levar em consideração as características intrínsecas de cada área contaminada, conhecimento do cenário local, da extensão da contaminação e

se as vias de contaminação ainda existem, além de atender a legislação ambiental vigente, sendo compatível ao risco que a contaminação apresenta.

Este processo envolve uma avaliação preliminar, investigação confirmatória e detalhada, avaliação de risco e definição de quais tecnologias de remediação utilizar para reabilitação da área, até as concentrações das substâncias detectadas atingirem níveis aceitáveis para uso pretendido futuro.

### 3.1.3 Recuperação

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (2000) A recuperação de áreas degradadas está intimamente ligada à ciência da restauração ecológica. Restauração ecológica é o processo de auxílio ao restabelecimento de um ecossistema que foi degradado, danificado ou destruído. Um ecossistema é considerado recuperado, e restaurado, quando contém recursos bióticos e abióticos suficientes para continuar seu desenvolvimento sem auxílio ou subsídios adicionais.

### 3.1.3 Reabilitação

Segundo o Embrapa (s.d) a reabilitação é retorno da área degradada a um estado intermediário da condição original, havendo a necessidade de uma intervenção antrópica.

### 3.1.4 Restauração

Segundo o Embrapa (s.d) é retorno completo da área degradada às condições existentes antes da degradação, ou a um estado intermediário estável. Neste caso, a recuperação se opera de forma natural (resiliência), uma vez eliminados os fatores de degradação.

### 3.1.5 Passivo Ambiental

Segundo Kraemer (2010) O passivo ambiental representa os danos causados ao meio ambiente, representando, assim, a obrigação, a responsabilidade social da empresa com aspectos ambientais. Uma empresa tem Passivo Ambiental quando ela agride, de algum modo e/ou ação, o meio ambiente, e não dispõe de nenhum projeto para sua recuperação, aprovado oficialmente ou de sua própria decisão. Passivo Ambiental representa toda e qualquer obrigação de curto e longo prazo, destinadas única e exclusivamente a promover investimentos em prol de ações relacionadas à extinção ou amenização dos danos causados ao meio ambiente, inclusive percentual do lucro do exercício, com destinação compulsória, direcionado a investimentos na área ambiental.

Pelo que se tem observado nas grandes reorganizações societárias, o montante das obrigações de reparação de danos ao meio ambiente tem efeito significativo sobre as negociações, causando sérios prejuízos ao comprador quando não detectadas no ato da negociação.

### 3.2 Metais Pesados

Segundo Malavolta (2006) metais pesados podem ser definidos como grande grupo de elementos com densidade atômica maior que  $5\text{g cm}^{-3}$  ou número atômico menos que 20. Os metais pesados podem ser definidos em duas categorias, elementos essenciais que são bons, mas podem se tornar contaminantes dependendo da concentração que for exposto e tóxicos em alta concentração.

Segundo o departamento de ciência do solo, o metal pode ser considerado tóxico por dois motivos: combinação com membranas celulares; impede transporte de substâncias e causa danos à saúde, sobre as fontes elas podem ser naturais ou antropogênicas.

#### 3.2.1 Cádmio

Segundo Nordberg (2009), houve-se a descoberta de cádmio em 1817 e já em 1858 começou-se a ser notado que pessoas que manipulavam produtos que continham Cd estavam apresentando problemas com a respiração além problemas

gastrointestinais. Segundo Atsdr em 2012, o cádmio pode chegar até o organismo humano por três vias, inalatória que pode ocorrer dentro do meio ambiente de trabalho, ou por meio de ingestão, uma vez que o cádmio é um metal bioacumulativo, e por via dérmica uma vez que a pessoa pode ter contato com o contaminante. Os prejuízos causados nos organismos expostos a cádmio ou a seus compostos dependem de diversos fatores, que incluem a dose, o tempo e a forma de exposição, idade, sexo e estado de saúde (ATSDR, 2012).

O elemento – cujo símbolo é Cd – é um metal de transição, cinza claro, dúctil e mole à temperatura ambiente (TAN, 2000). Mas novas definições de metal pesado são aceitas e, normalmente, estão associadas à poluição, contaminação e toxicidade (AMARAL SOBRINHO, 1993). O cádmio é um elemento raro e não ocorre na natureza na forma pura. A concentração comum deste elemento na crosta da terra é de aproximadamente 0,2 mg/kg (LALOR, 2008). O principal mineral de cádmio é a grinoquita (CdS), sulfeto de cádmio que se encontra em pequenas quantidades no solo, usualmente associada a minérios de zinco, especialmente a esfarelita e galena (POTSCH, 1967; DANA, 1978). Visto como um poluente importante para o mundo, o cádmio foi revisado pelo *International Register of Potentially Toxic Chemicals of United Nations Environment Program* (IRPTC) — e, como resultado, foi incluído na lista de substâncias consideradas potencialmente perigosas ao planeta (Cardoso et Chasin, 2001).

### 3.2.2 Toxicidade do Cádmio

Tavares (1992) diz que uma substância pode ser considerada danosa quando ela oferece risco ou tem um potencial de oferecer prejuízos a saúde do ser humano. O Cd pode causar diversos problemas, muitos deles já conhecidos. Já em caráter tóxico um elemento pode ser determinado dependendo da influência que o mesmo tem com o organismo, já neste aspecto ocorre em três estágios:

- a) entrada e absorção no corpo;
- b) transporte, distribuição, acumulação e biotransformação;
- c) efeito e saída do organismo

(TAVARES e CARVALHO, 1992)

Já segundo Mattiazzo Prezotto (1994) uma das formas de entrada de cádmio no organismo é por contato dermal e inalação. Há estudos que mostram que o corpo humano se comporta de uma forma sucinta quando se pensa em contato com cádmio. Do momento que o cádmio entra em contato com o corpo humano, ele se movimenta podendo ser verificado em células, podendo estar também em íntimo contato com proteínas do soro plasmático e ou ainda em metaloproteínas originárias do fígado.

A Organização Mundial de Saúde considera tolerável uma ingestão eventual de até 7 µg/kg de cádmio pelo período de uma semana (WHO, 1992).

Baseado em Tramontina (2003) há estudos que apontam que em casos de intoxicação agudas por Cd não possuem um tratamento e se agravam se estiver em contato com zinco, cobre e selênio. Já apontado por Fergusson (1990) a dose letal para humanos em contato com Cd consiste entre 300 a 500 mg. Os sintomas característicos de envenenamento por cádmio são: a osteoporose, excesso de cálcio expelido pela urina e alteração na síntese de proteínas sugerem que o cádmio interfere nos processos dependentes de cálcio devido à similaridade química entre os elementos (BORGES, 1999).

### 3.3 Plantas Hiperacumuladoras

As plantas hiperacumuladoras são aquelas que apresentam capacidade de absorver quantidades elevadas de metais pesados (Doumet, *et al.* 2008). Elas têm se mostrado muito mais acumuladoras e tolerantes a metais pesados em comparação às não hiperacumuladoras (Audet e Charest, 2007).

Baseado em Lombi, Zhao e Mcgrath (2001) dentre as vantagens de uma planta Hiperacumuladora pode-se citar a sua capacidade de absorver todo tipo de contaminante presente em determinado solo, simultaneamente, isto é, se o solo a ser analisado possui mais de um metal pesado a planta consegue fazer a absorção.

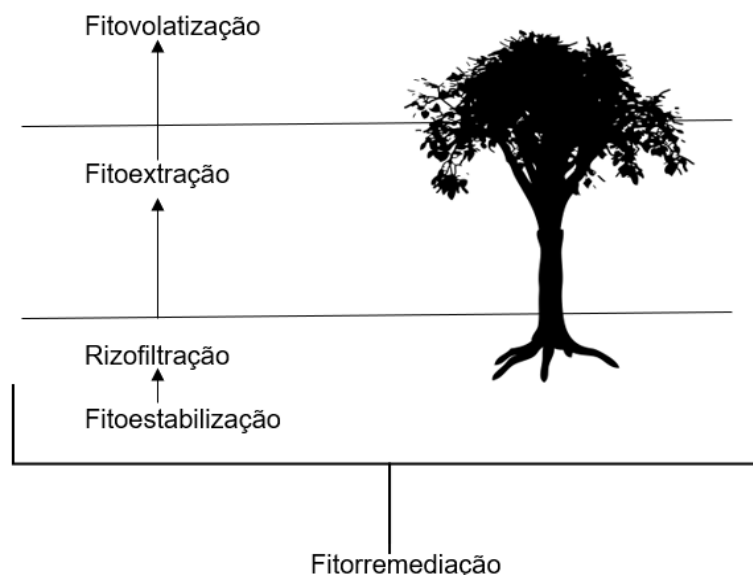
Além disso, Segundo Haque *et al.* (2008) esse tipo de planta apresenta maiores concentrações de metal pesado em suas partes aéreas do que em suas raízes, fator esse que indica que além de absorver o metal pesado, a planta ainda possui a capacidade de realizar o transporte dos mesmos até a suas folhagens.

### 3.3.1 Fitorremediação

Segundo EPA (2000, *apud* Vasconcelos, 2012, p.12) a técnica de Fitorremediação que já é habitual desde 1991 é a ciência que usa plantas capazes de degradar, extrair, conter ou imobilizar contaminantes presentes em solo e água. Fito que significa planta e Remediação que significa corrigir. Baseado em Pilon (2005) dentro do contexto de Fitorremediação se há uma ramificação que pode ser chamado de tipos de Fitorremediação baseado em como cada planta se comporta se exposta a determinados contaminantes.

A técnica de Fitorremediação objetiva a descontaminação *in situ* de solos, sedimentos e água, utilizando-se como agente de descontaminação as plantas.

Removem, imobilizam ou tornam os contaminantes inofensivos ao ecossistema. Uma vez absorvidos pela raiz, os contaminantes podem ser acumulados na biomassa da planta (Fitoextração), também podem ser degradados ou detoxificados nos tecidos aéreos da planta (fitotransformação) ou simplesmente volatilizados a partir das folhas para a atmosfera (fitovolatilização) (EPA 2000, *apud* Vasconcelos, 2012, p.12). Como pode ser observado na Fig. 1.



**Figura 1:** Esquema da fitorremediação

Fonte: (AUTORES, 2018)

A utilização de plantas para a recuperação de áreas contaminadas, técnica conhecida como fitorremediação, tem se popularizado e surgido como alternativa

viável, uma vez que é considerada de baixo custo, promove a manutenção da fertilidade do solo, além de ter como principal fonte de energia a luz solar (Robinson et al., 2003). Dentro da Fitorremediação, a capacidade das plantas em extrair os metais do solo e acumulá-los preferencialmente na parte aérea, é denominada Fitoextração (Nascimento e Xing, 2006).

Segundo Pires *et al.* (2003) é mais complexo o uso de plantas na tratativa de contaminantes orgânicos, por conta da diversidade molecular, e por ser de difícil análise e pelas constantes transformações que os mesmos estão sujeitos. No mesmo sentido os metais pesados, por exemplo oferecem a facilidade de serem quantificados e metabólicos intermediários no solo.

### 3.3.2 Fitovolatilização

De acordo com Ghosh e Singh (2005) a fitovolatilização baseia-se no uso de plantas capazes de transformar contaminantes nas suas formas voláteis libertando-as para a atmosfera. Esse tipo de limpeza de ambientes pode ser utilizado. Para compostos orgânicos voláteis como tricloroetileno (TCE) e para os poucos inorgânicos que podem existir na forma volátil, como selênio e mercúrio. Culturas como arroz, brócolis, couves e algumas outras plantas são capazes de volatilizar selênio (PILON-SMITS, 2005).

Complementando com o que diz LI et al. (2000) a volatilização remove completamente o poluente do local na forma de gás, sem a necessidade da remoção da planta e envio a um descarte correto, essa técnica se mostra bastante atrativa, porém existem pontos negativos a serem observados, o poluente tóxico é lançado na atmosfera e poderia ser considerado um fator de risco para uma nova contaminação, todavia em estudos já realizados dizem que selênio e mercúrio não demonstram riscos para o meio ambiente, baseado nos níveis de gases volatilizados.

### 3.3.3 Rizofiltração

Sistemas “wetlands” têm sido opção viável no tratamento de esgoto doméstico e outros tipos de águas residuais em virtude de sua natureza simples, fácil operação e rentabilidade técnico-econômica (COSTA, 2004). Os primeiros experimentos com esse sistema foram realizados na Alemanha em 1952 (WILLIAMS, 1993) e continuam sendo eficientes. Nesses sistemas, as plantas cultivadas em tanques adsorvem sólidos suspensos, metais e patógenos. Além disso, promovem abrigo para o crescimento de microrganismos e servem de cobertura para sombreamento na água prevenindo a proliferação de algas (COSTA, 2004)

Métodos baseados na interação planta-rizosfera incluem o plantio de árvores que devido ao seu denso sistema radicular podem ser utilizadas como barreira hidráulica (PILON-SMITS, 2005). As árvores criam fluxo de água ascendente na zona radicular e, desta forma, evitam a lixiviação ou contaminação do ambiente por espalhamento horizontal do poluente. Em combinação com gramíneas têm demonstrado potencial para evitar a dispersão de poluentes. Mantém fluxo ascendente na região da rizosfera, sendo muito eficiente e apresentando altas taxas de transpiração. Já as gramíneas evitam a dispersão e a lixiviação dos poluentes. Gramíneas não tendem a acumular poluentes inorgânicos em sua parte aérea, reduzindo assim o risco de exposição da vida selvagem a elementos tóxicos (DAWSON *et al.* 1991; *apud.* Mc CUTCHEON e SCHNOOR, 2003)

### 3.3.4 Fitoestabilização

Consiste no uso de plantas com o propósito de estabilizar os poluentes no solo, prevenindo perdas por erosão ou lixiviação. Para isso, processos como a precipitação do poluente na rizosfera por meio de humificação ou ligações covalentes irreversíveis são realizados promovendo a conversão do poluente para forma menos biodisponível. Também é possível a liberação de O<sub>2</sub> e demais compostos, imobilizando metais na região da rizosfera (PILON-SMITS, 2005).

Micorrizas podem proteger o crescimento das plantas em solos com acúmulo de metais, aumentando a retenção dos metais nas raízes das plantas e reduzindo sua distribuição à parte aérea. Além disso, há a possibilidade de ligações entre micélios de fungos e metais pesados, como zinco e cádmio (JONER *et al.* 2000). Portanto, micorrizas podem ser utilizadas na Fitoestabilização de metais nos solos, promovendo a restauração ecológica de locais poluídos por metais pesados.

### 3.3.5 Fitoextração

De acordo com MA *et al.*, 2001 a Fitoextração, ou seja, a extração dos poluentes do solo e seu posterior acúmulo nos tecidos das plantas compreende espécies denominadas hiperacumuladoras. As plantas hiperacumuladoras são capazes de acumular um ou mais elementos inorgânicos em níveis até cem vezes maiores que outras espécies, crescendo sob as mesmas condições. Têm sido apontadas como acumuladoras de arsênio, cobalto, cobre, manganês, níquel, chumbo, selênio e zinco.

Para a técnica de Fitoextração fica clara a necessidade de colheita posterior da planta, contendo o poluente acumulado em seus tecidos, podendo o material colhido ser utilizado para propósitos não-alimentares. No caso de metais pesados quando a maior parte do metal estiver localizado na parte aérea das plantas, a colheita poderá ser realizada pelos métodos tradicionais de agricultura.

Em geral, é necessário colher as plantas antes da queda das folhas ou antes da sua morte e decomposição para que os contaminantes não se dispersem ou retornem ao solo. Após a colheita, a biomassa das plantas fito extratoras deverá ser processada para extração e recolhimento da maior parte dos metais. Se forem solos contendo níquel, zinco ou cobre, o valor do metal extraído pode incentivar a Fitorremediação.

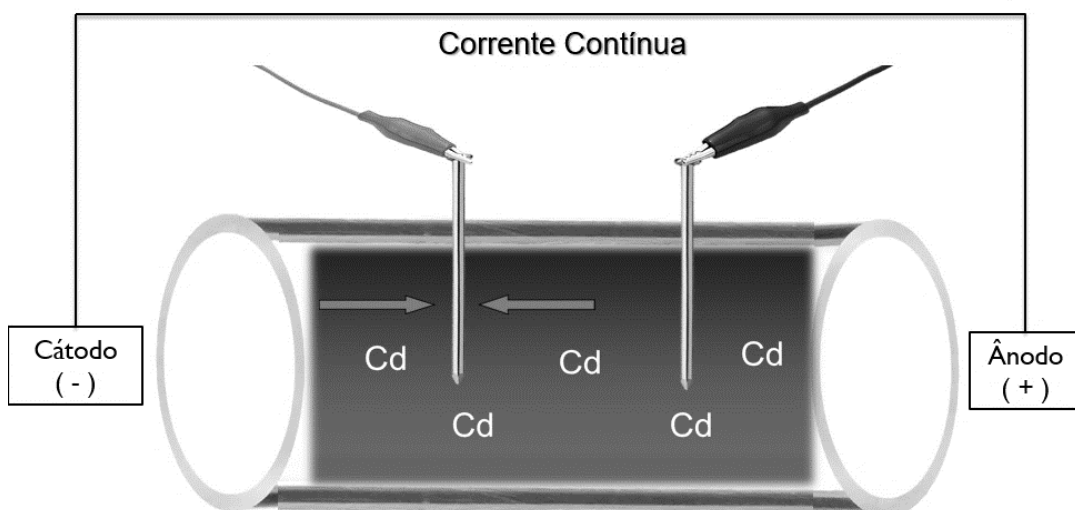
O volume ou o peso da biomassa podem ser reduzidos, alternativamente, por meio de processos térmicos, físicos, químicos ou microbiano. No caso da queima das plantas, por exemplo, a energia produzida representa valorização econômica do

processo. As cinzas podem ser tratadas como minério, do qual pode ainda ser extraída a contaminação metálica (especialmente, cinzas enriquecidas com apenas um ou dois metais) (GRATÃO et al., 2005).

### 3.4 Eletrocinese

Segundo Silveira *et. al.* (2011) A técnica de eletrocinese é basicamente a inserção de uma corrente elétrica forçada em um meio contaminado dentre esses, podendo, ser solo ou água subterrânea a remediação nesse caso é feita utilizando eletrodos. Além disso a Eletrocinese, funciona pelo princípio da eletroquímica, que diferente da pilha onde ocorre uma reação de oxirredução espontânea que gera uma corrente elétrica, na eletroquímica ocorre uma reação de oxirredução não espontânea, ocasionada pela passagem de uma corrente, por conta disso o catodo se torna o polo de carga negativa e o anodo o polo de carga positiva.

A Voltagem Aplicada nos eletrodos faz com que os íons (partículas carregadas) sejam transportados até o polo de carga oposta. Esse mecanismo de atração das cargas faz com que se haja o transporte de partículas carregadas em direção aos eletrodos, promovendo assim a estagnação e extração dos contaminantes presentes em determinado meio, conforme a figura 2.



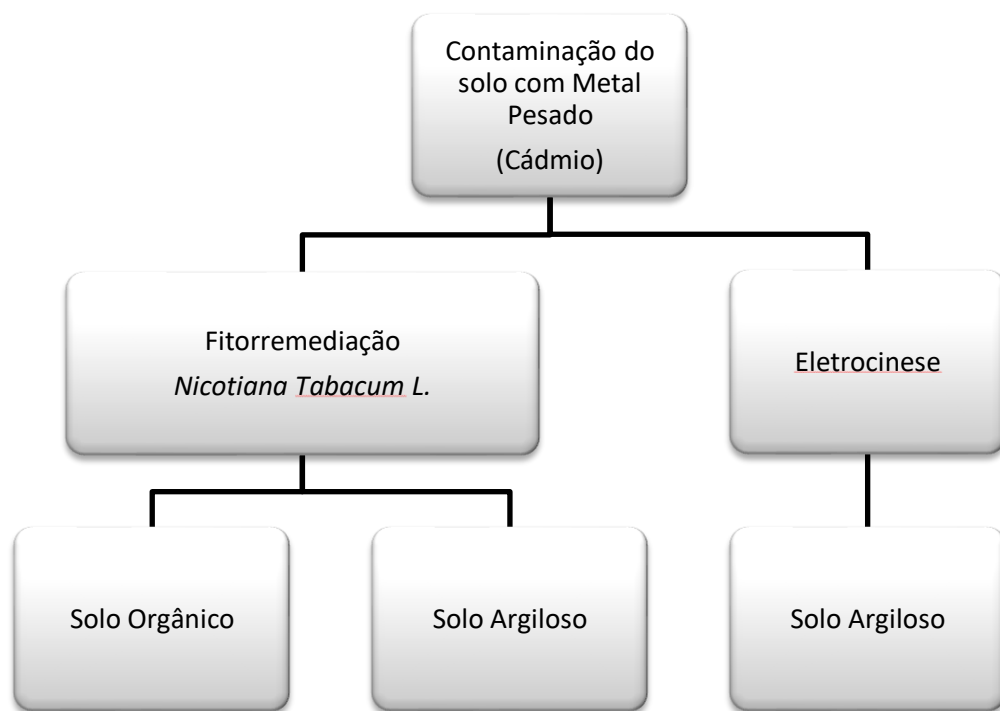
**Figura 2:** Eletrocinese

Fonte: (AUTORES, 2018)

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Fitorremediação

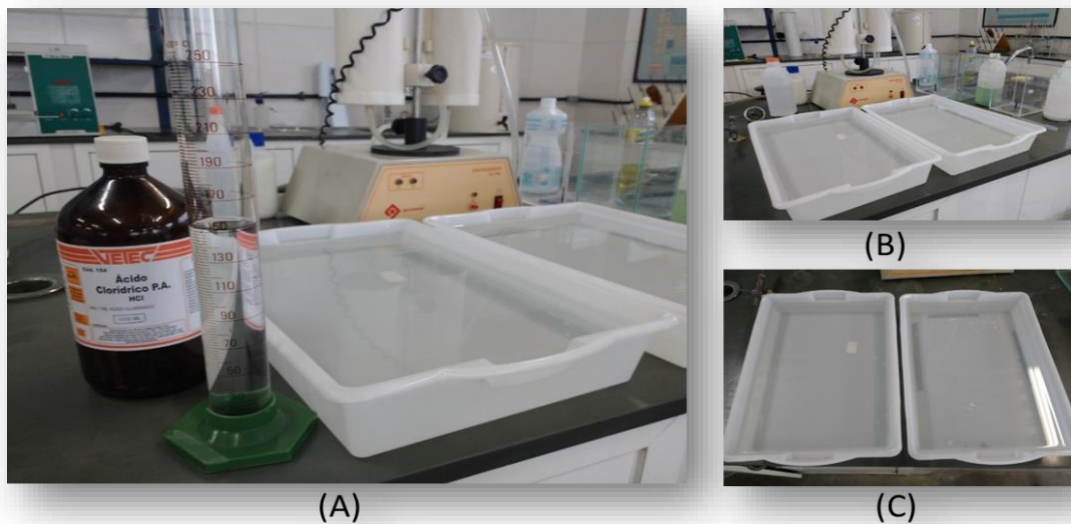
O experimento foi desenvolvido nos laboratórios de Química Ambiental, Saneamento e Poluição Hídrica e Laboratório de Solos do UniFOA (Centro Universitário de Volta Redonda) - Campus Três Poços. O escopo do projeto pode ser visto na Fig.3.



**Fluxograma 1:** Especificação das técnicas de tratamento a de solo

Fonte: (AUTORES, 2018)

Para esterilização das bandejas foi utilizado uma solução de ácido clorídrico 5%, deixando-as de molho por um período de 24 horas e posteriormente lavando-as com água destilada como mostrado na figura 4.



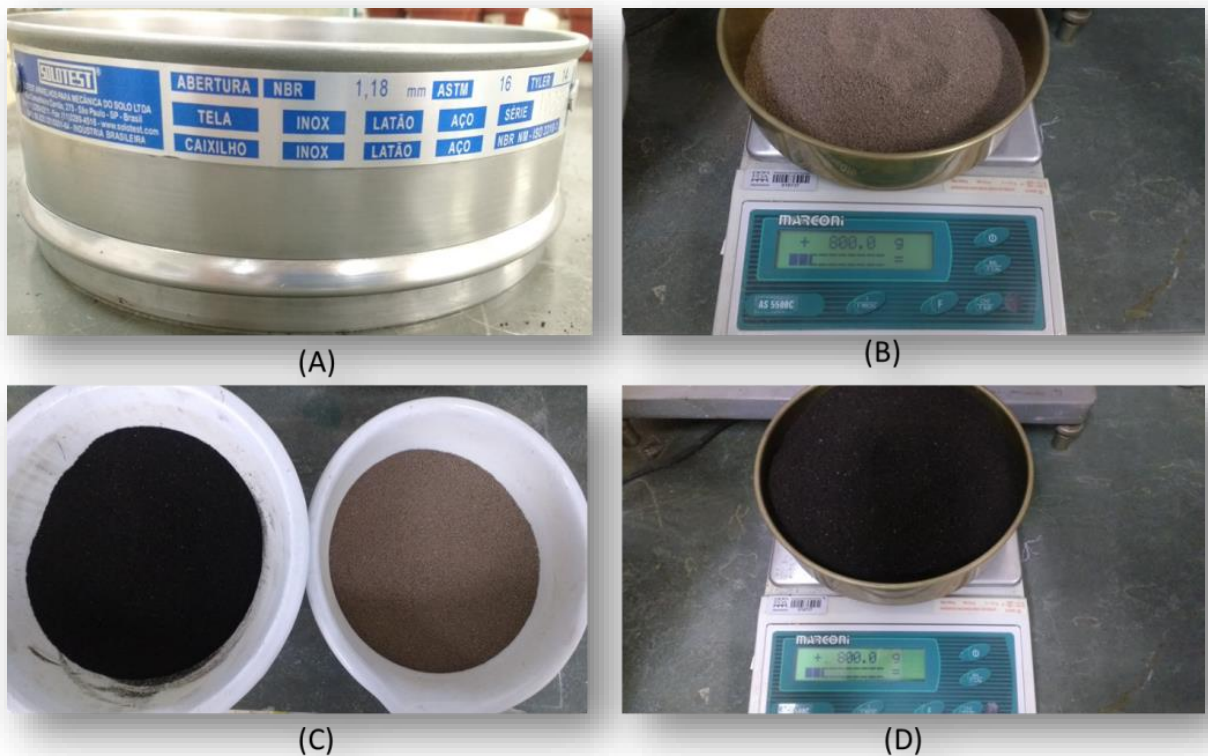
**Figura 3:** Descontaminação do meio de cultivo no laboratório

Fonte: (AUTORES, 2018)

Legenda: Esterilização das bandejas por solução de ácido clorídrico 5%, (B) Período de esterilização de 24 horas, (C) Lavagem das bandejas com água destilada.

Após a descontaminação das bandejas, as sementes de tabaco foram colocadas para germinar em um meio de cultivo com alta umidade, sendo regada diariamente com água filtrada e mantidas a temperatura ambiente por um período de 70 dias.

Na preparação dos solos, ambos foram secos em estufa e posteriormente peneirados em peneiras de 1,18 mm, pesados e separados 1.6 kg de cada solo para serem utilizados nos experimentos, sendo, 800g para serem contaminados com o metal pesado e 800 g para serem mantidos sem contaminantes (branco). O mesmo processo foi repetido para os dois solos, conforme a Fig. 5.



**Figura 4:** Etapa preliminar de preparação dos solos

Fonte: (AUTORES, 2018)

Legenda: (A) Peneira de 2mm, (B) Peneiramento e amostragem dos solos; (C) Pesagem do Solo Arenoso; (D) Pesagem do solo orgânico.

Para a contaminação do solo foi utilizado o sulfato de cádmio ( $\text{CdSO}_4$ ) com 8/3 de  $\text{H}_2\text{O}$ , sendo necessário o balanceamento para determinação somente do Cádmio (Cd). Para esse passo foi necessário inicialmente determinar a massa atômica de cada um dos elementos presentes no sulfato de cádmio através da tabela periódica. Sendo eles: Cádmio (Cd) = 112,4; Enxofre (S) = 32; Oxigênio (O) = 16 e a massa molecular  $\text{H}_2\text{O}$  = 18. Como o sulfato de cádmio usado no experimento possuía 8/3 de  $\text{H}_2\text{O}$  foi necessário fazer um cálculo para obter a massa molecular da molécula de água presente no sulfato.

Baseando-se na Resolução CONAMA 420/2009 já citado anteriormente, o solo foi contaminado com uma dose acima do aceitável ( $16 \text{ mg.kg}^{-1}$  de peso seco) para que seja medido e analisado a eficiência de ambas as técnicas de tratamento.

Foram aplicadas as equações estequiométricas 1.0 e 1.1 sequentemente para a determinação da massa molecular da molécula de  $\text{CdSO}_4$ .

$$CdSO_4 = Cd + S + (O \times 4) + \left(\frac{8}{3} \times H_2O\right) \quad (1.0)$$

Onde,

Cd – Massa atômica do Cádmiio;

S – Massa atômica do Enxofre;

O – Massa atômica do Oxigênio.

Onde o valor encontrado foi de: 256,04

$$D: \frac{16 \text{ mg.Kg}^{-1}}{x} = \frac{1000 \text{ g}}{800 \text{ g}} \quad (1.1)$$

Onde,

16mg.kg<sup>-1</sup> – Valor estabelecido de contaminação para o experimento;

1000 g– Relação de peso/Contaminante estabelecido pelo CONAMA;

800 g – Quantidade de solo estabelecido para o experimento;

X – Valor do contaminante a ser encontrado para quantidade de solo.

Onde definiu-se o valor como: 12,8 mg.Kg<sup>-1</sup>

Através da equação 1.2 foi definido a quantidade de sulfato de cádmio necessário para se obter a quantidade exata de cádmio necessária para atender a dosagem definida para o experimento baseado na resolução CONAMA 420/2009.

$$\frac{CdSO_4}{Cd} * D/1000 \quad (1.2)$$

Onde,

CdSO<sub>4</sub> – Massa molecular do Sulfato de Cádmiio;

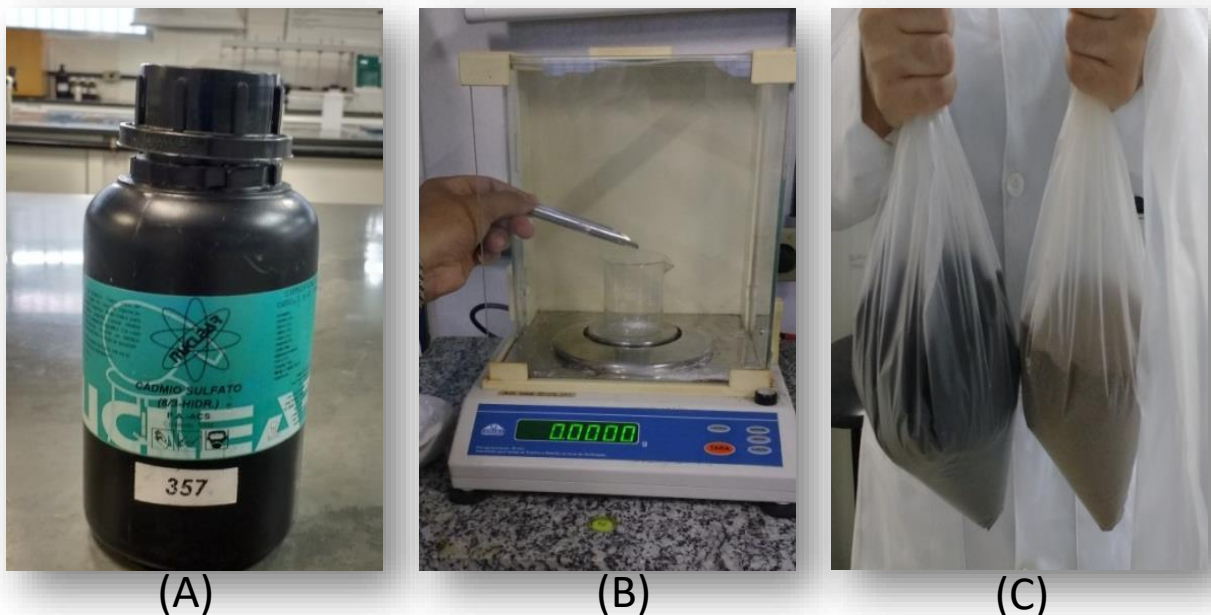
Cd – Massa atômica do cádmio ;

D – Valor determinado na equação 1.2.

Através da Eq. 1.2 definiu-se a quantidade de sulfato de cádmio que seria necessário para a contaminação dos solos do experimento que foi de: 0,02915 g de CdSO<sub>4</sub>

De acordo com os cálculos anteriormente descritos, chegou-se a quantidade de cádmio necessário para contaminação de 800g de solo, dando início a segunda parte do experimento.

O sulfato de cádmio foi pesado em balança analítica e posteriormente colocado em um saco para Autoclave juntamente com o solo e agitado uniformemente para melhor disseminação do contaminante, mostrado na Fig. 6.



**Figura 5:** Contaminação dos solos

Fonte: (AUTORES, 2018)

Legenda: (A) Sulfato de cádmio usado no procedimento; (B) Pesagem do Sulfato de Cádmio na balança analítica; (C) 800g de cada solo já contaminado com a quantidade de Sulfato de Cádmio determinado através de cálculos descritos.

Após o processo de contaminação, foi feita a divisão de 800g de ambos os solos contaminado em 4 recipientes de 200g cada, e o mesmo processo realizado para o solo sem contaminante caracterizado como branco, totalizando assim 16 potes com 200g cada um, sendo, 8 deles contaminados (4 de Solo Orgânico e 4 de Solo Argiloso) e 8 potes de 200g de solo em branco (4 de Solo Orgânico e 4 de Solo Argiloso).

Foi necessário a realização do teste de Capacidade de Campo para verificar a quantidade de água a ser aspergida sobre o solo, a fim de manter a umidade 80%.

Fator que permita a melhor incubação e o tratamento, impedindo que não se perca o contaminante por excesso de água.

Para a realização do teste, foram utilizados dois copos descartáveis com furos na parte de baixo, em cada um dos copos foi colocada uma porção dos dois tipos de solos de forma aleatória, após o preenchimento de metade de cada copo, foi pesado a fim de se obter os valores de P.S. (Peso Seco) de cada um deles. Para se obter o valor dos 80% foi necessário preencher os dois copos até a borda do copo o que equivalia a 100% de saturação do solo, deixou-se a água escorrer pelos furos feitos no início do procedimento, no momento em que a água parou de pingar, foi pesado novamente o copo obtendo assim o valor de P.U. (Peso Úmido). Esses dados obtidos na diferença (D) de P.S. (peso seco) e P.U. (peso úmido), é mostrado na equação 1.3.

$$D = (P.U) - (P.S) \quad (1.3)$$

Onde,

D – Diferença de P.U e P.S;

P.U – Peso Úmido;

P.S – Peso Seco;

Sendo definido a quantidade de : 25,01g para o solo Orgânico e 39,46g para o solo argiloso.

A eq. 1.3 equivale-se a valor de 100% de saturação nos solos em questão, com esses dados obteve o valor de 80% por uma regra de três (equação 1.4). Como o cálculo foi feito com volume aleatório de solo, foi necessário à obtenção do valor de 80% para a quantidade de solo de cada pote de solo usado no experimento, nesse caso os 200g ditos anteriormente. Após a realização dos cálculos, obteve-se os valores em gramas considerando 1g=1ml do total de água que foi necessário para a manter a umidade em cada pote a 80%.

$$\frac{D}{x} = \frac{100\%}{80\%} \quad (1.4)$$

Onde,

D – Resultado da equação 1.3

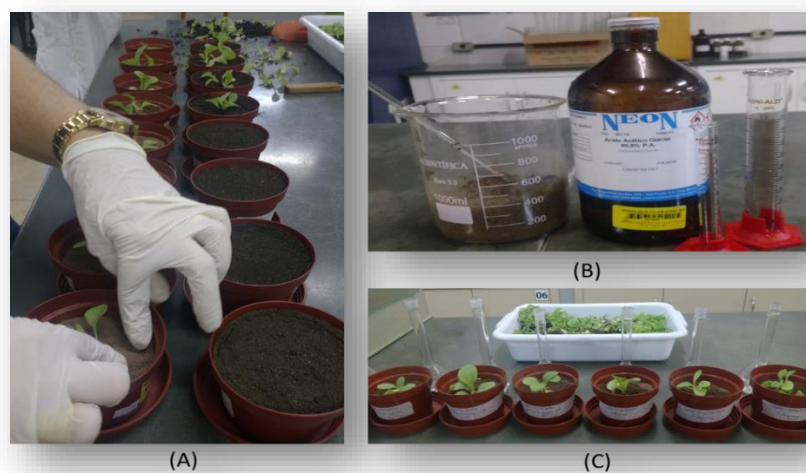
X – Valor necessário para manter a umidade do solo em 80%

Sendo definido a umidade em 80% dos solos em: 85,86 ml para solo orgânico e 85,62 ml de solo argiloso.

Após a separação dos solos contaminados em recipientes e a realização de todos os cálculos necessários, foram adicionados 85,86ml de água deionizada nas amostras de solo orgânico contaminado e 85,62ml de água deionizada para o solo argiloso contaminado de acordo com o teste de capacidade de campo e reservados por um período de incubação de 15 dias.

Após o período de incubação do contaminante retirou-se uma amostra de solo de cada recipiente para determinação dos teores de Cd, podendo ser chamada de amostra zero, sendo essa a amostra inicial para traçar o gráfico ao final do experimento.

Decorrido o tempo de incubação do contaminante no solo, foi feito transplantes das plântulas para o meio de tratamento, dando início a terceira etapa do experimento, também foi necessário fazer a correção do ph do solo, afim de manter o ph dentro da faixa acida de 7 á 5.5 (Fig. 7), isto porque em solos muito básicos, há a maior ocorrência de hidroxilas, segundo Boulding (1994), as hidroxilas possuem carga negativa, fazendo assim com que os elementos com carga positivas fiquem unidos a elas, inviabilizando a retirada pela planta, e ainda uma faixa mais acida de ph poderia causar a morte das plantas, devido ao grande estresse toxico.



**Figura 6:** Transplante das plântulas para o solo contaminado

Fonte: (AUTORES, 2018)

Legenda: (A) Transplante das plântulas para o solo contaminado, (B) Controle de pH com ácido acético glacial 99.8% P.A. (C) Acidificação do solo arenoso.

As plantas hiperacumuladoras permaneceram em temperatura ambiente, em local aberto e sendo regada diariamente com água destilada por um período de tratamento de 3 (três) semanas. Ao logo do período de tratamento foram feitas coletas semanais de ambos os solos contaminados de 1g a fim de se obter um gráfico para melhor explicação e entendimento das etapas do tratamento.

Após o intervalo de tempo determinado para o experimento a maioria das plantas do tratamento relativo ao solo argiloso não resistiram, devido condições de *stress* em que elas foram submetidas, não sendo viável a análise comparatória dos dois solos. Porém as plantas do tratamento relativo ao solo orgânico apresentou um bom desenvolvimento podendo-se perceber um sutil crescimento maior nas plantas sob contaminação conforme mostrado e discutido a diante.

#### 4.2 Eletrocinese

Para a técnica de Eletrocinese foram utilizadas 2 (duas) aplicações para testar melhores métodos do tratamento eletrolítico, sendo elas, tratamento eletrolítico com fluxo contínuo de água e tratamento eletrolítico com fluxo estático ou tratamento eletrolítico simples, ambas utilizando uma amostra de 200g de um solo argiloso.

O solo argiloso utilizado no experimento foi levado ao laboratório de solos no UniFOA para passar por processos preliminares antecedentes à contaminação como: secagem em estufa, destorroamento e peneiramento em peneira de 2mm.

Para a contaminação do solo foi utilizado o sulfato de cádmio ( $\text{CdSO}_4$ ) com 8/3 de  $\text{H}_2\text{O}$ , sendo necessário um balanceamento para determinação somente do Cádmio (Cd). Foi necessário inicialmente determinar a massa atômica de cada um dos elementos presentes no sulfato de cádmio. Sendo eles: Cádmio (Cd) = 112,4; Enxofre (S) = 32; Oxigênio (O) = 16 e a massa molecular  $\text{H}_2\text{O}$  = 18. Como o sulfato de cádmio usado no experimento possuía 8/3 de  $\text{H}_2\text{O}$  foi necessário fazer um cálculo para obter a massa molecular da molécula de água presente no sulfato.

Baseando-se no CONAMA 420/2009, que estabelece limite de cádmio para áreas residenciais de 8 mg/Kg de peso seco, o solo foi contaminado com uma dose acima do aceitável, precisamente 150 mg.kg<sup>-1</sup> de peso seco, equivalente a 19 vezes

a mais que o valor permite a legislação em prol de testar a eficiência da técnica (Equação 1.5).

$$D: \frac{150 \text{ mg.Kg}^{-1}}{x} = \frac{1000 \text{ g}}{200 \text{ g}} \quad (1.5)$$

Onde,

150 mg.kg<sup>-1</sup> – Valor estabelecido de contaminação para o experimento;

1000 g– Relação de peso/Contaminante estabelecido pelo CONAMA;

200 g – Quantidade de solo estabelecido para o experimento;

X – Valor do contaminante necessário para obtenção da dosagem de 150mg.kg<sup>-1</sup> para quantidade de solo.

Onde definiu-se o valor como: 30 mg.Kg<sup>-1</sup> de CdSO<sub>4</sub>

Através da equação 1.6 foi definido a quantidade de sulfato de cádmio necessário para se obter a quantidade exata de cádmio necessária para atender a dosagem definida para o experimento.

$$\frac{CdSO_4}{Cd} * D/1000 \quad (1.6)$$

Onde,

CdSO<sub>4</sub> – Massa molecular do Sulfato de Cádmio;

Cd – Massa atômica do cádmio;

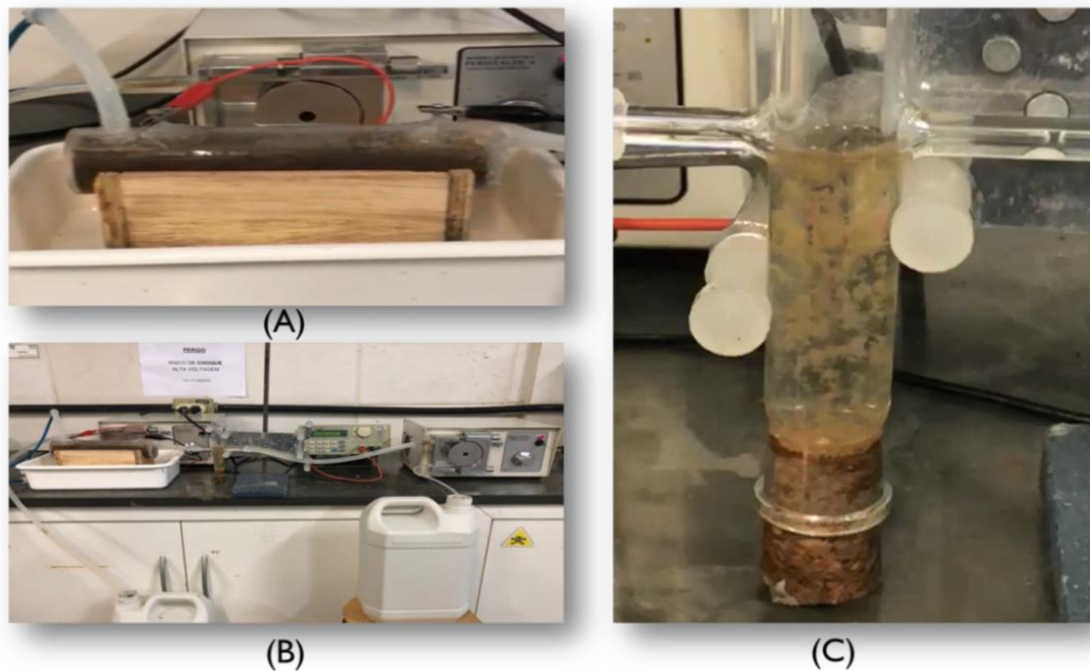
D – Valor determinado na equação 1.1.

Obtendo-se a quantidade de sulfato de cádmio que seria necessário para a contaminação do solo de: 0,06843 g de CdSO<sub>4</sub>.

Para a execução da técnica foi montada uma Célula Eletrolítica de acrílico com dimensões de 15 centímetros de comprimento e 0,5 centímetros de diâmetro, uma área de 7.5cm<sup>2</sup>, com formato cilíndrico, vedada em uma de suas extremidades e com tampa em outra, 2 (dois) eletrodos de aço inoxidável inseridos na parte superior da célula ligados a uma fonte de corrente contínua de 0-36V e 0-3A,

Programable DC Power Supply (modelo os 700, marca ICEL Manaus), por meio de garra jacaré montado no laboratório de química, poluição hídrica e saneamento do UniFOA.

Para o tratamento eletrolítico de fluxo contínuo de água, foi utilizado uma solução de água (H<sub>2</sub>O) com Cloreto de Sódio (NaCl) como meio condutor, 2 (duas) bombas peristálticas responsável por injetar e retirar água, possibilitando o fluxo de água no sistema, 2 (duas) bombonas para aplicação e captação da água e um filtro para retirada de gases gerados no sistema, como mostrado na Figura 8.



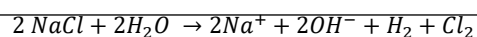
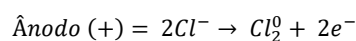
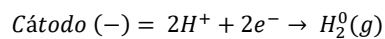
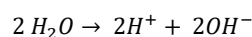
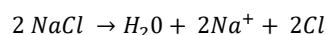
**Figura 7:** Técnica de eletrocinese com fluxo contínuo de água.

(AUTORES,2018)

Legenda: (A) Célula montada e vedada para passagem de água, (B) Experimento completo ligado a bomba peristáltica para fornecimento de água, (C) Vidraria em T para liberação dos gases gerados.

Sendo os gases gerados no processo o Hidrogênio (H<sub>2</sub>) e Gás Cloro (Cl<sub>2</sub>), como mostrado na Equação 1.7.

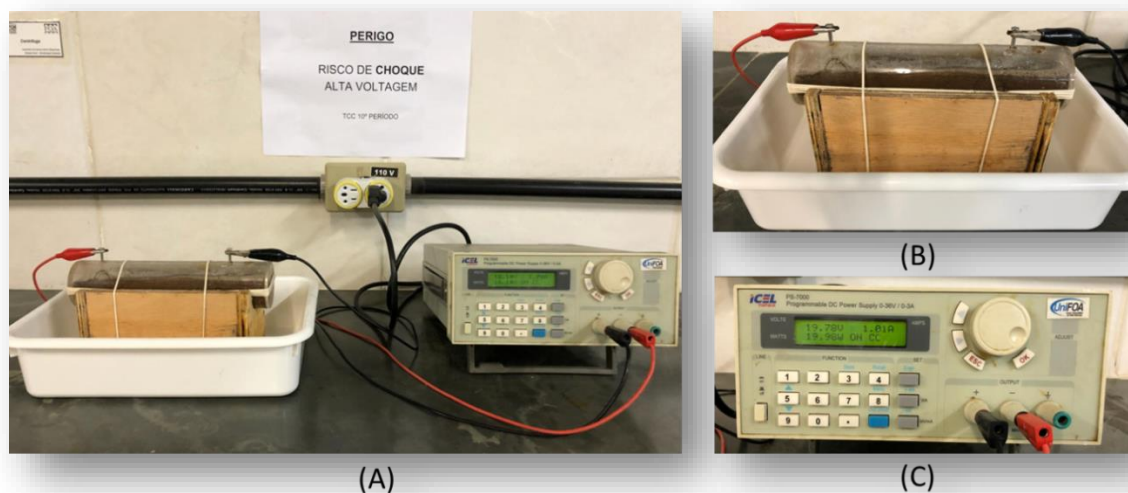
(1.7)



Devido à contínua geração de gases no sistema, a aplicação da técnica com fluxo contínuo de água não obteve êxito, em consequência à geração de contaminantes secundários.

Na aplicação do tratamento eletrolítico com fluxo estático ou tratamento eletrolítico simples, foi montado um sistema simples como mostrado na figura 9, apenas com a Célula Eletrolítica sem utilizar as bombas peristálticas para entrada e saída de água.

A quantidade de solo e a contaminação foram mantidas, e a água foi adicionada na medida em que o solo perdia umidade.



**Figura 8:** Célula eletrolítica simples

Fonte: (AUTORES, 2018)

Legenda: (A) Célula Eletrolítica Montada, (B) Tratamento do Solo em uma célula de acrílico, (C) Fonte de corrente contínua.

O solo contaminando permaneceu em tratamento por 3 (três) semanas, onde a fonte se manteve ligada ininterruptamente, exceto no período de coleta da amostra, feito uma vez por semana, com o objetivo de observar o perfil de remoção do solo.

Para a realização da coleta semanal das amostras, o sistema foi desligado, o solo retirado e misturado de maneira homogênea, retirada uma triplicata de 3g e reservado em ambiente estéril a temperatura ambiente.

Ao fim do experimento foi retirada a última triplicata sendo obtido um total de 15 amostras, composta por amostras em triplicata coletada durante 3 semanas, uma amostra triplicata do branco ou testemunha e uma amostra triplicata do tempo zero.

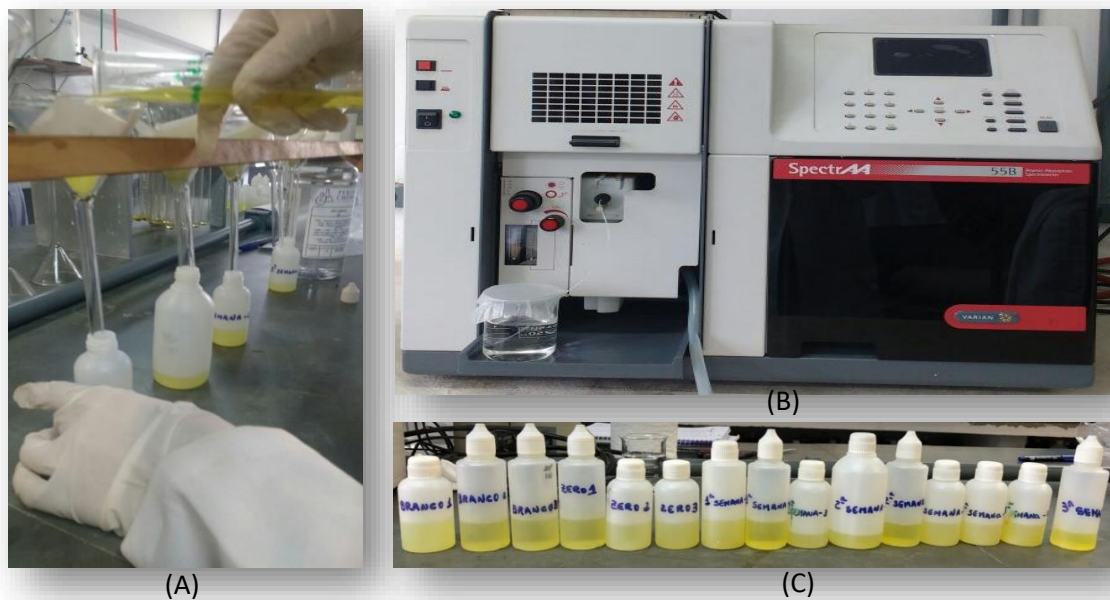
Para as análises laboratoriais, as amostras foram levadas ao laboratório de solos e águas da Universidade Federal Fluminense de Volta Redonda- RJ (UFF), onde foram analisadas conforme a metodologia do laboratório para análise de solos.

As amostras foram transferidas para placas de petri, separadas por data de coleta e enviadas ao laboratório de digestão de amostras para serem secas em uma estufa de circulação forçada (Nova Ética modelo 420/\*D-300), em um período de 24 horas a uma temperatura de 70°C. Após o processo de secagem, as amostras foram destorroadas em um almofariz de ágata e separadas 0.5g de cada em uma balança analítica.

Para o processo de digestão, os 0,5g de solo retirado de cada amostra, foram divididos em tubos de ensaios e submetido a 10ml de uma solução ácida, conhecida como Água-régia, que consiste em uma mistura de 1 (uma) parte de ácido nítrico para 3 (três) de ácido clorídrico (ambos concentrados), para digestão do solo por um período de 24 horas.

Ao final desse período os tubos de ensaio foram colocados em um bloco digestor, para que a ação química do ácido somada ao poder térmico do digestor pudesse digerir por completo as 15 amostras, liberando o Cd para análise posterior.

Para a realização da filtração dos sobrenadantes as amostras foram diluídas em 25ml de água deionizada e filtradas por um filtro de papel, após o processo de preparação das amostras para a análise, foram levadas ao laboratório de Análises Químicas para análise no espectrofotômetro de absorção atômica, mostrado na figura 10.



**Figura 9:** Amostras prontas para análises em espectrofotômetro

Fonte: (AUTORES, 2018)

Legenda: (A) Filtragem das Amostras, (B) Aparelho de Espectrometria, (C) Amostras prontas para análise.

Para realização da leitura do Cádmio por espectrometria de emissão atômica, as amostras foram diluídas novamente (diluição 1:10) e submetidas a leituras individuais. Com os resultados obtidos e através do cálculo padrão do espectrofotômetro, foi possível determinar as concentrações em cada amostra como mostra a Equação 1.6.

$$ppm = \frac{[amostra-branco]*diluição}{massa da amostra} \quad (1.6)$$

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Fitorremediação

Os resultados esperados para o experimento de Fitorremediação não foram concluídos, devido as plantas cultivadas nos tratamentos de solo argiloso contaminado não terem suportado o estresse tóxico, além disso a quantidade de tabaco que sobreviveu ao estresse tóxico não era suficiente para uma análise estatística completa, conforme a Fig. 11



**Figura 10:** Unidades experimentais de solo argiloso contaminados e brancos.

Fonte: (AUTORES, 2018)

As plantas cultivadas nos tratamentos de solo orgânico contaminado resistiram, no entanto sabe-se que, de acordo com Boulding (1994), que o processo de Fitoextração é prejudicado em solos com elevados teores de matéria orgânica, visto que a mesma tem a capacidade de quelatar metais presentes no solo, inviabilizando sua liberação para a planta.

O sal utilizado no trabalho foi o sulfato de cádmio ( $\text{CdSO}_4$ ), disponibilizando ao solo, além do Cd, o enxofre (S). Sabendo-se que S é um micronutriente para as plantas, e que o Cd possivelmente foi quelatado pela matéria orgânica presente no solo, pode-se perceber um sutil crescimento maior nas plantas sob contaminação, de acordo com a Fig. 12



**Figura 11:** Unidades experimentais de solo orgânico contaminados e brancos.

Fonte: (AUTORES, 2018)

De acordo com a Fig. 12 entende-se que a matéria orgânica presente no solo, possivelmente foi capaz de quelatar o Cd, deixando assim o S disponível para as plantas no tratamento em solo contaminado, favorecendo assim o crescimento maior do que as plantas em solo branco, onde não havia S disponível para as plantas.

## 5.2 Eletrocinese

Conforme, descrito no item 4.1 foram realizadas coletas de amostras semanais em triplicata e que com os resultados foi feita uma média das concentrações, conforme pode ser verificado na Tabela 1.

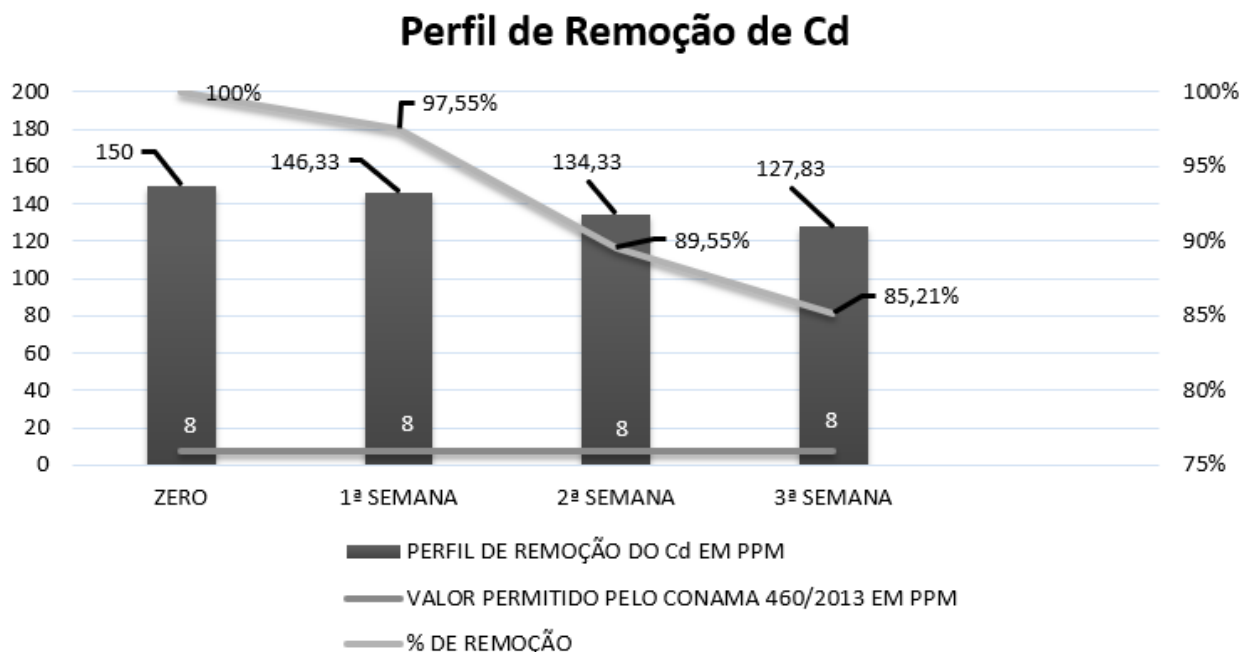
**Tabela 1:** Controle da remoção de cádmio

<b>CONTROLE DE REMOÇÃO DE CÁDMIO</b>		
<b>TEMPO</b>	<b>AMOSTRA</b>	<b>RESULTADO</b>
BRANCO	0,5 g	0 ppm
TEMPO ZERO	0,5 g	150 ppm
1ª SEMANA	0,5 g	146,33 ppm
2ª SEMANA	0,5 g	134,33 ppm
3ª SEMANA	0,5 g	127,83 ppm

Fonte: (AUTORES, 2018)

Através do Gráfico 1, é possível observar o decaimento do cádmio de acordo com as semanas de experimento, e ainda a porcentagem de remoção mostrando assim e confirmando a eficácia da técnica.

**Gráfico 1:** Perfil de remoção de cádmio.



Fonte: (AUTORES, 2018)

Após a realização das análises das amostras em triplicata, foi feita a média das concentrações de acordo com as semanas de tratamento, com base nas médias pode-se determinar a porcentagem de decaimento da concentração de cádmio, como pode ser observado na tabela 2.

**Tabela 2:** % da remoção de cádmio

% DE REMOÇÃO DE CÁDMIO		
TEMPO	MÉDIA	REMOÇÃO MÉDIA
BRANCO	0 ppm	0 ppm
TEMPO ZERO	150 ppm	0 ppm
1ª SEMANA	146,33 ppm	3.67 ppm
2ª SEMANA	134,33 ppm	12 ppm
3ª SEMANA	127,83 ppm	6,5 ppm

Fonte: (AUTORES, 2018)

Baseado na remoção média que foi de 7,79 ppm em 3 semanas, de acordo com as semanas de tratamento, foi possível determinar o tempo em que o experimento atenderia o padrão da Resolução CONAMA 460/2013 através da Eq. 1.8.

$$\frac{3 \text{ semanas}}{x} = \frac{7,39 \text{ ppm}}{142,61} \quad \text{Eq. 1.8}$$

Determinando assim o valor de 58 semanas ou 403 dias.

Para fazer determinar a % de remoção foi considerando que o tempo zero era de 100% da contaminação, que podem ser vistas nas Equações em forma de regra de 3 simples 1.9, 2.0 e 2.1

$$\frac{150 \text{ ppm}}{146,33} = \frac{100\%}{x\%} \quad (1.9)$$

O valor obtido foi de 97,55%, de remoção na primeira semana, então:

$$\frac{146,33 \text{ ppm}}{134,33} = \frac{97,55\%}{x\%} \quad (2.0)$$

O valor obtido foi de 89,55% de remoção na segunda semana, então:

$$\frac{134,33 \text{ ppm}}{127,83} = \frac{89,55\%}{x\%} \quad (2.1)$$

O valor obtido foi de 85,21% de remoção na terceira semana, então assim foi possível determinar a media de remoção em % como mostra a Eq. 2.2

$$1 \text{ semana} = 100\% - 97,55\% = 2,44\% \quad (2.2)$$

$$2 \text{ semana} = 97,55\% - 89,55\% = 8 \%$$

$$3 \text{ semana} = 89,55\% - 85,21\% = 4,34 \%$$

$$\text{media} = \frac{2,44\% + 8\% + 4,34\%}{3} = 4,92\%$$

Em resumo a célula eletrolítica revelou-se um êxito, mesmo que ainda numa versão muito simples e preliminar. Esse valor a princípio pode parecer bastante tempo de execução do experimento, mas é capaz de demonstrar a alta eficiência da técnica visto que se aplicado em campo com equipamentos, uma voltagem maior e uma dispersão maior dos eletrodos, possivelmente em menos tempo seria possível alcançar o valor estipulado pela resolução CONAMA. Também é importante frisar que a eletrocinese é uma técnica *in situ*, sendo assim não há a necessidade de transporte de solo contaminado, o que pode acarretar em problemas secundários caso haja um acidente com o meio de transporte, além de tudo a técnica em perfeito funcionamento é totalmente silenciosa e visualmente não causa poluição visual e nem mesmo sonora, assim pode ser aplicada em áreas urbanas, próximos a escolas, áreas residenciais, escolas ou hospitais.

## 6 CONCLUSÃO

O desenvolvimento do presente estudo apresentou uma pesquisa de como duas técnicas de remediação de solos podem melhorar no que diz respeito à eficiência de remoção do contaminante presente, além do tempo necessário para a descontaminação, se aplicadas em grande escala. Além disso, também permitiu uma pesquisa através de um estudo de bancada para obter dados mais consistentes sobre as etapas do processo, grau de complexidade de cada etapa, grau de conhecimento e aplicabilidade das técnicas.

De um modo geral, a técnica de Fitorremediação pode demonstrar eficiência se aplicada de forma integral, visto que, devido ao tempo dedicado a construção e otimização dos parâmetros iniciais de operacionalidade da técnica, além dos prazos institucionais que deveriam ser seguidos, não foi possível refazer o experimento, podendo-se concluir que, por se tratar de uma técnica biológica, necessita de um maior planejamento inicial do que a técnica de eletrocinese, que é uma técnica físico-química. Para mais, também foi evidenciado que a utilização de técnicas biológicas necessita de maiores cuidados, visto que, as plantas são sensíveis a alterações bruscas como pH e temperatura, porém, todavia contribuiu como base de dados a trabalhos futuros.

Em contrapartida, a técnica de eletrocinese apresentou bons resultados mesmo que ainda numa versão bem simples e preliminar. No quesito operabilidade técnica, demonstrou ser simples e de fácil execução, com bons resultados na remoção de cádmio, podendo ser concluído através de análises estatísticas que em 3 semanas de tratamento obteve-se uma remoção de 4,92% do metal pesado presente no solo e baseando-se na média de decaimento, pode-se concluir que por volta de 58 semanas ou 403 dias o experimento atenderia assim o padrão especificado pela resolução CONAMA 460/2013, permitindo assim, que os objetivos propostos fossem parcialmente alcançados.

Com base na ideia inicial de comparação qualitativa entre as técnicas escolhendo a mais eficiente, os resultados obtidos conseguiram demonstrar como alternativa, a utilização de técnicas de baixo custo e fácil aplicação na recuperação de áreas degradadas.

## 7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

### 7.1 Fitorremediação

- Refazer o experimento no solo argiloso, afim de se obter dados para uma análise qualitativa/comparativas entre as técnicas;
- Realizar a análise do solo, para maior confiabilidade dos dados obtidos.

### 7.2 Eletrocinese

- Em caso de célula fechada, utilizar 2 (dois) filtros para captação de gases ( $H_2$  e  $Cl_2$ ) gerado durante o processo de tratamento;
- Para melhor aplicação da técnica, substituir os eletrodos de Aço Inoxidável, por eletrodos de Titânio com Óxido de Rutênio ou Carbono Vítreo;
- Fazer leitura do eletrodo, para maior confiabilidade dos dados obtidos.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLOWAY, B. J.; AYRES, D.C. Chemical Principles of Environmental Pollution, 2nd.ed. London: Chapman and Hell, 1997.

AMARAL SOBRINHO, N. M. B. (1993), Interação dos metais pesados de resíduos siderúrgicos com um solo podzólico vermelho-amarelo. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

ANDREWS, J. E.; BRIMBLECOMBE, P.; JICKELLS, T.D.; LISS, P.S. An Introduction to Environmental Chemistry. Oxford: Blackwell Sci., 1996, pp. 59.

Audet, P., & Charest, C. (2007). Heavy metal phytoremediation from a meta-analytical perspective. Environmental pollution, 147, 231-237. doi:10.1016/j.envpol.2006.08.011.

ATSDR - Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Toxicological profile for Cadmium. U.S. Department of Health and Human Services. Public Health Services. Atlanta, Geórgia, 2012.

BORGES, P. P. (1999), Remoção de Cádmiu de Soluções Diluídas em Células Eletrolíticas com Catodos Porosos Tridimensionais. Tese de Doutorado Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.

BOULDING, J. R. Description and Sampling of Contaminated Soils: a Field Guide. 2nd.ed. Boca Raton: CRC Press, 1994.

CARDOSO, L. M. N; CHASIN, A. A. M. "Ecotoxicologia do cádmio e seus compostos". Cadernos de Referência Ambiental, v.6, p. 121. Salvador, 2001.

CETESB. "Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas no estado de São Paulo / Dorothy C. P. Casarini [et al.]. São Paulo: 73 p. Disponível em: <[http://sites.usp.br/wp-content/uploads/sites/52/2015/03/46-CETESB2001\\_Valores\\_Orientadores\\_solo\\_agua.pdf](http://sites.usp.br/wp-content/uploads/sites/52/2015/03/46-CETESB2001_Valores_Orientadores_solo_agua.pdf)> Acessado em: 23/11/2017

CETESB (1999) – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (n.d.). Manual de gerenciamento de áreas contaminadas, recuperado em 10 de julho, 2014, de <<http://www.cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/manual-de-gerenciamento-de-areascontaminadas/7-manual-de-gerenciamento-das--acs>> Acessado em: 23/11/2017

COSTA, S.M.S.P. da. Avaliação do potencial de plantas nativas do Brasil no tratamento de esgoto doméstico e efluentes industriais em "wetlands" construídos. Campinas, 2004. 119 p. Tese (Doutorado em Engenharia Química), Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas.

DAWSON, T.E.; EHLERINGER, J.R. Streamside trees do not use stream water. *Nature*, London, v.350, n.6316, p.335-337, 1991.

Doumett, S., Lamperi, L., Checchini, L., Azzarello, E., Mugnai, S., Mancuso, S. et al. (2008). Heavy metal distribution between contaminated soil and *Paulownia tomentosa*, in a pilot-scale assisted phytoremediation study: Influence of different complexing agents. *Chemosphere*, 72, 1481-1490.

EPA. (2000). Introduction of phytoremediation. EPA/600/ R-99/107. Recuperado em 5 Maio 2012, disponível em: <<http://nepis.epa.gov>> Acessado em 23/11/2017

FERGUSON, J. E. (1990), *The Heavy Elements: Chemistry, Environmental Impact and Health Effects*. 1<sup>o</sup> ed. New York, Pergamon Press.

FAO and EMBRAPA. 2015. Status of the World's Soil Resources (SWSR) – Main Report. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils, Rome, Italy  
Disponível em: <http://www.fao.org/3/a-i5199e.pdf>

GRATÃO, P.L. et al. Phytoremediation: green technology for the clean up of toxic metals in the environment. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, Brasília, v.17, n.1, p.53-64, 2005.

Ghosh, M., Singh, S. P., 2005. A review on phytoremediation of heavy metals and utilization of it's by products. *Asian Journal on Energy and Environment*, 6 (4): 214-231.

Haque, N., Peralta-Videa, J. R., Jones, G. L., Gill, T. E., & GardeaTorresdey, J. L. (2008). Screening the phytoremediation potencial of desert broom (*Braccharis sorothroides* Gray) growing on mine tailings in Arizona, USA. *Environmental Pollution*, 153, 362-368.

JONER, E.J.; BRIONES, R.; LEYVAL, C. Metal-binding capacity of arbuscular mycorrhizal mycelium. *Plant and Soil*, Dordrecht, v,226, n.2, p.227-234, 2000.

KOOKANA, R. S.; BASKARAN, S.; NAIDU, 5. Pesticide fate and behavior in Australian soils in relation to contamination and management of soil and water: a review. *Australian j. Soil Res.* v. 36, p. 715-764, 1998.

LALOR, G. C. (2008), "Review of cadmium transfers from soil to humans and it health effects in the Jamaican environment". *Science of the total environment*, v. 400, pp. 162-172.

LI, Y-M. et al. Development of a technology for commercial phytoextraction of nickel: economic and technical considerations. *Plant and Soil*, Dordrecht, v.249, n.1, p.107-115, 2003.

LOMBI, E., Zhao, F. J., & McGrath, S. P. (2001). Phytoremediation of heavy metal-contaminated soils: Natural hyperaccumulation versus chemistry enhanced phytoextraction. *Journal of Environmental Quality*, 30(6), 1919-1926

MA, L.Q.; KOMAR, K.M.; TU, C. A fern that hyperaccumulates arsenic - hardy, versatile, fast-growing plant helps to remove arsenic from contaminated soils. *Nature*, London, v.409, n.6820, p.579, 2001.

MALAVOLTA, E. Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2006. 631p.

MATTIAZZO-PREZOTTO, M. E. (1994), Comportamento de cobre, cádmio, cromo, níquel e zinco adicionados a solos de clima tropical em diferentes valores de pH. Tese (LivreDocência) – Escola Superior de Agricultura “Luis de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Áreas Contaminadas. 2009.  
Disponível em : < <http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-perigosos/areas-contaminadas>>

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Recuperação de Áreas Degradadas.2000.  
Disponível em : < <http://www.mma.gov.br/areas-protegidas/camara-federal-de-compensacao-ambiental/item/8705-recupera%C3%A7%C3%A3o-de-%C3%A1reas-degradadas>>

McCUTCHEON, S.C.; SCHNOOR, J.L. Overview of phytotransformation and control of wastes. In: McCUTCHEON, S.C.; SCHNOOR, J.C. (eds). *Phytoremediation: transformation and control of contaminants*. New York: Wiley, 2003.p.3-58.  
PILON-SMITS, E.A.H. et al. Characterization of a NifS-like chloroplast protein from *Arabidopsis*. Implications for its role in sulfur and selenium metabolism. *Plant Physiology*, Rockville, v. 130, n.3, p.1309-1318, 2002.

Norberg, G. F. Historical perspective on cadmium toxicology. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 2009, vol. 238, nº 3, p. 192-200.

NASCIMENTO, C.W.A.; XING, B. Phytoextraction: a review on enhanced metal availability and plant accumulation. *Scientia Agricola*, v.63, p.299-311, 2006.

PILON-SMITS, E.; PILON, M. Breeding mercury-breathing plants for environmental cleanup. *Trends in Plant Science*, London, v.5, n.6, p.235-236, 2000.  
PILON-SMITS, E. Phytoremediation. *Annual Review of Plant Biology*, Palo Alto, v.56, p.15-39, 2005

PIRES, F.R.2, et al. FITORREMEDIAÇÃO DE SOLOS CONTAMINADOS COM HERBICIDAS1. *Planta Daninha*, Viçosa-MG, v.21, n.2, p.335-341, 2003

POTSCH, C. (1967), *Mineralogia*. Livraria São José, Rio de Janeiro.

RESOLUÇÃO CONAMA Nº 420, DE 28 DE DEZEMBRO DE 2009. Publicado no DOU nº 249, de 30/12/2009, págs. 81-84

RESOLUÇÃO CONAMA Nº 460, DE 30 DE DEZEMBRO DE 2013. Publicação DOU, de 30/12/2013, pág. 153

ROBINSON, B.; FERNANDEZ, J.E.; MADEJÓN, P.; MARAÑHÓN, T.; MURILLO, J.M.; GREEN, S.; BRENT, C. Phytoextraction: an assessment of biochemical and economic viability. *Plant and Soil*, v.249, p.117-125, 2003.

Sabik, H.; Jeannot, R.; Rondeau, B. *Journal of Chromatography*, v.885, p.217-236, 2000.

SILVA, C. D. (2015 ). Electrorremediação de solos contaminados com metais pesados. Tese de mestrado – Universidade de Coimbra. Portugal 2015  
Disponível em: [https://estudogeral.sib.uc.pt/bitstream/10316/29451/1/Diana\\_Silva.pdf](https://estudogeral.sib.uc.pt/bitstream/10316/29451/1/Diana_Silva.pdf)  
Acessado em 04/05/2018

SILVEIRA L. P V; MACHADO J.E. ; FREITAS F.L. ; QUEIROZ A. P. S. ; YAMAWAKI L. ; KUROZAWA S. S. APLICAÇÃO DA TÉCNICA DE ELETROCINESE PARA REMEDIAÇÃO DE METAIS NA ÁGUA SUBTERRÂNEA. II Congresso Internacional de Meio Ambiente Subterrâneo. Outubro 2011. Disponível em:  
< <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/viewFile/28117/18241>>.  
Acessado em: 22/11/2017

Sánchez, L. E. Revitalização de áreas contaminadas. In: Moeri, E.; Coelho, R.; Marker, A.(orgs.), *Remediação e Revitalização de Áreas Contaminadas: Aspectos Técnicos, Legais e Financeiros*. 2004. São Paulo, Signus Editora: 79-90 p.

SPARKS, D.L. Elucidating the fundamental chemistry of soils: past and recent achievements and future frontiers. *Geoderma*, v. 100, p. 303-319, 2001.

STEFFEN G. *et al.* CONTAMINAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA PELO USO DE AGROTÓXICOS Departamento de Solos, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS. 2011.

TAN, K. H. (2000), *Environmental soil science*. Marcel Dekker Inc, New York, 2o ed., 452 p.

TAVARES, S. R. de L. Técnicas de remediação. Embrapa Solos - Capítulo em livro científico, 2014.

Disponível em:<<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/983651>>.  
Acessado em 25/08/2017

TAVARES, T. M.; CARVALHO, F. M. (1992), “Avaliação da exposição de populações humanas a metais pesados no ambiente: exemplos do Reconcavo Baiano”. *Química Nova*, v. 15, n. 2, pp. 147-154.

TRAMONTINA, J. (2003), Remoção de íons cádmio de soluções aquosas por eletrodeposição em eletrodos de carbono vítreo reticulado. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Disponível em:

<<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/2634/000373882.pdf?sequence>>

Acessado em : 24/11/2017

TUNDO et al., *PureAppl. Chemistry* 72(7), p.1207–1228, 2000.

ZILLI, J. E.; RUMJANEK, N. G.; XAVIER, G. R.; COUTINHO, H. L. da C.; NEVES, M. C. P. Diversidade microbiana como indicador de qualidade do solo. Revista Embrapa, 2003. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/625814/diversidade-microbiana-como-indicador-de-qualidade-do-solo>>. Acessado em : 01/03/2018

WHO. World Health Organization. (1972), “Evaluation of Mercury, Lead, Cadmium and the Food Additives Amaranth, Diethylpyrocarbonate, and Octyl Gallate”. Geneva

WILLIAMS, J.B. Microbial factors affecting the design and operation of a gravel bed hydroponic sewage treatmentsystem. Portsmouth, 1993. p.112. Dissertation (PhD) – University of Portsmouth.

## ANEXO A - RESOLUÇÃO CONAMA 420/2013

RESOLUÇÃO Nº 420, DE 28 DE DEZEMBRO DE 2009

Publicado no DOU nº 249, de 30/12/2009, págs. 81-84

### *Correlações:*

- Alterada pela Resolução CONAMA nº 460/2013 (altera o prazo do art. 8º, e acrescenta novo parágrafo).

*Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas.*

O CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, no uso das atribuições e competências que lhe são conferidas pelo art. 8º, inciso VII, da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, tendo em vista o disposto em seu Regimento Interno, e Considerando a necessidade de prevenção da contaminação do solo visando à manutenção de sua funcionalidade e a proteção da qualidade das águas superficiais e subterrâneas;

Considerando que a existência de áreas contaminadas pode configurar sério risco à saúde pública e ao meio ambiente;

Considerando a necessidade de prevenir a contaminação do subsolo e das águas subterrâneas que são bens públicos e reservas estratégicas para o abastecimento público e o desenvolvimento ambientalmente sustentável;

Considerando a necessidade de estabelecer critérios para definição de valores orientadores para a prevenção da contaminação dos solos e de definir diretrizes para o gerenciamento de áreas contaminadas;

Considerando que a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, impõe ao poluidor e ao degradador a obrigação de recuperar e/ou indenizar danos causados;

Considerando que a Lei nº 10.406, de 10 de janeiro de 2002, determina, em seu art. 1.228, § 1º, que o direito de propriedade deve ser exercido de modo que sejam preservados a flora, a fauna, as belezas naturais, o equilíbrio ecológico e o patrimônio histórico e artístico, bem como evitada a poluição do ar e das águas; e

Considerando a necessidade de estabelecimento de procedimentos e critérios integrados entre os

órgãos da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios em conjunto com a sociedade civil organizada, para o uso sustentável do solo, de maneira a prevenir alterações prejudiciais que possam resultar em perda de sua funcionalidade, resolve:

## CAPÍTULO I DAS DISPOSIÇÕES GERAIS

Art. 1º Esta resolução dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas.

Parágrafo único. Na ocorrência comprovada de concentrações naturais de substâncias químicas que possam causar risco à saúde humana, os órgãos competentes deverão desenvolver ações específicas para a proteção da população exposta.

Art. 2º Esta Resolução não se aplica em áreas e solos submersos no meio aquático marinho e estuarino.

Art. 3º A proteção do solo deve ser realizada de maneira preventiva, a fim de garantir a manutenção da sua funcionalidade ou, de maneira corretiva, visando restaurar sua qualidade ou recuperá-la de forma compatível com os usos previstos.

Parágrafo único. São funções principais do solo:

- I - servir como meio básico para a sustentação da vida e de habitat para pessoas, animais, plantas e outros organismos vivos;
- II - manter o ciclo da água e dos nutrientes;
- III - servir como meio para a produção de alimentos e outros bens primários de consumo;
- IV - agir como filtro natural, tampão e meio de adsorção, degradação e transformação de substâncias químicas e organismos;
- V - proteger as águas superficiais e subterrâneas;
- VI - servir como fonte de informação quanto ao patrimônio natural, histórico e cultural;
- VII - constituir fonte de recursos minerais; e
- VIII - servir como meio básico para a ocupação territorial, práticas recreacionais e propiciar outros usos públicos e econômicos.

Art. 4º As diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas abrangem o solo e o subsolo, com todos seus componentes sólidos, líquidos e gasosos.

Art. 5º Os critérios para prevenção, proteção e controle da qualidade das águas subterrâneas observarão a legislação específica.

Art. 6º Para efeito desta Resolução são adotados os seguintes termos e definições:

- I - Avaliação de risco: processo pelo qual são identificados, avaliados e quantificados os riscos à saúde humana ou a bem de relevante interesse ambiental a ser protegido;
- II - Avaliação preliminar: avaliação inicial, realizada com base nas informações históricas

disponíveis e inspeção do local, com o objetivo principal de encontrar evidências, indícios ou fatos que permitam suspeitar da existência de contaminação na área;

III - Bens a proteger: a saúde e o bem-estar da população; a fauna e a flora; a qualidade do solo, das águas e do ar; os interesses de proteção à natureza/paisagem; a infra-estrutura da ordenação territorial e planejamento regional e urbano; a segurança e ordem pública;

IV - Cenário de exposição padronizado: padronização do conjunto de variáveis relativas à liberação das substâncias químicas de interesse, a partir de uma fonte primária ou secundária de contaminação; aos caminhos de exposição e às vias de ingresso no receptor considerado, para derivar os valores de investigação, em função dos diferentes usos do solo;

V - Contaminação: presença de substância(s) química(s) no ar, água ou solo, decorrentes de atividades antrópicas, em concentrações tais que restrinjam a utilização desse recurso ambiental para os usos atual ou pretendido, definidas com base em avaliação de risco à saúde humana, assim como aos bens a proteger, em cenário de exposição padronizado ou específico;

VI - Fase livre: ocorrência de substância ou produto imiscível, em fase separada da água;

VII - Ingresso diário tolerável: é o aporte diário tolerável a seres humanos de uma substância presente no ar, na água, no solo ou em alimentos ao longo da vida, sem efeito deletério comprovado à saúde humana;

VIII - Investigação confirmatória: etapa do processo de identificação de áreas contaminadas que tem como objetivo principal confirmar ou não a existência de substâncias de origem antrópica nas áreas suspeitas, no solo ou nas águas subterrâneas, em concentrações acima dos valores de investigação;

IX - Investigação detalhada: etapa do processo de gerenciamento de áreas contaminadas, que consiste na aquisição e interpretação de dados em área contaminada sob investigação, a fim de entender a dinâmica da contaminação nos meios físicos afetados e a identificação dos cenários específicos de uso e ocupação do solo, dos receptores de risco existentes, dos caminhos de exposição e das vias de ingresso;

X - Limite de Detecção do Método-LDM - menor concentração de uma substância que pode ser detectada, mas não necessariamente quantificada, pelo método utilizado;

XI - Limite de Quantificação Praticável-LQP - menor concentração de uma substância que pode ser determinada quantitativamente, com precisão e exatidão, pelo método utilizado;

XII - Limite de Quantificação da Amostra-LQA - LQP ajustado para as características específicas da amostra analisada;

XIII - Monitoramento: medição ou verificação, que pode ser contínua ou periódica, para acompanhamento da condição de qualidade de um meio ou das suas características; XIV - Nível Tolerável de Risco à Saúde Humana, para Substâncias Carcinogênicas: probabilidade de ocorrência de um caso adicional de câncer em uma população exposta de 100.000 indivíduos;

XV - Nível Tolerável de Risco à Saúde Humana, para Substâncias Não Carcinogênicas: aquele associado ao ingresso diário de contaminantes que seja igual ou inferior ao ingresso diário tolerável a que uma pessoa possa estar exposta por toda a sua vida;

XVI - Perigo: Situação em que estejam ameaçadas a vida humana, o meio ambiente ou o patrimônio público e privado, em razão da presença de agentes tóxicos, patogênicos, reativos, corrosivos ou inflamáveis no solo ou em águas subterrâneas ou em instalações, equipamentos e construções

abandonadas, em desuso ou não controladas;

XVII - Remediação: uma das ações de intervenção para reabilitação de área contaminada, que consiste em aplicação de técnicas, visando a remoção, contenção ou redução das concentrações de contaminantes;

XVIII - Reabilitação: ações de intervenção realizadas em uma área contaminada visando atingir um risco tolerável, para o uso declarado ou futuro da área;

XIX - Regional: toda ocorrência que envolva dois ou mais estados;

XX - Risco: é a probabilidade de ocorrência de efeito(s) adverso(s) em receptores expostos a contaminantes;

XXI - Valores Orientadores: são concentrações de substâncias químicas que fornecem orientação sobre a qualidade e as alterações do solo e da água subterrânea;

XXII - Valor de Referência de Qualidade-VRQ: é a concentração de determinada substância que define a qualidade natural do solo, sendo determinado com base em interpretação estatística de análises físico-químicas de amostras de diversos tipos de solos;

XXIII - Valor de Prevenção-VP: é a concentração de valor limite de determinada substância no solo, tal que ele seja capaz de sustentar as suas funções principais de acordo com o art. 3º

XXIV - Valor de Investigação-VI: é a concentração de determinada substância no solo ou na água subterrânea acima da qual existem riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana, considerando um cenário de exposição padronizado.

## CAPÍTULO II

### DOS CRITÉRIOS E VALORES ORIENTADORES DE QUALIDADE DO SOLO

Art. 7º A avaliação da qualidade de solo, quanto à presença de substâncias químicas, deve ser efetuada com base em Valores Orientadores de Referência de Qualidade, de Prevenção e de Investigação.

~~Art. 8º Os VRQs do solo para substâncias químicas naturalmente presentes serão estabelecidos pelos órgãos ambientais competentes dos Estados e do Distrito Federal, em até 04 anos após a publicação desta Resolução, de acordo com o procedimento estabelecido no Anexo I.~~

Art. 8º Os VRQs do solo para substâncias químicas naturalmente presentes serão estabelecidos pelos órgãos ambientais competentes dos Estados e do Distrito Federal até dezembro de 2014, de acordo com o procedimento estabelecido no Anexo I. *(Nova Redação dada pela Resolução CONAMA nº 460/2013)*

§1º Nas regiões limítrofes entre unidades federativas, cujos solos tenham características semelhantes, os respectivos órgãos ambientais deverão estabelecer VRQs comuns.

§2º Os órgãos ambientais, a seu critério e quando tecnicamente justificado, poderão estabelecer VRQs para substâncias orgânicas naturalmente presentes, listadas ou não no Anexo II.

§ 3º Os Estados e o Distrito Federal informarão trimestralmente ao MMA e ao CONAMA os resultados das ações adotadas para o cumprimento do disposto no caput. *(Acréscimo pela Resolução CONAMA nº 460/2013)*

Art. 9º Serão adotados como VPs os valores apresentados no Anexo II, os quais foram estabelecidos

com base em ensaios de fitotoxicidade ou em avaliação de risco ecológico.

Art. 10. Serão adotados como VIs, os valores apresentados no Anexo II, os quais foram derivados com base em avaliação de risco à saúde humana, em função de cenários de exposição padronizados para diferentes usos e ocupação do solo.

Art. 11. A requerimento dos órgãos ambientais competentes, quando tecnicamente justificado e aprovado pelo CONAMA, poderão ser revistos os VPs e VIs estabelecidos nesta Resolução, bem como serem estabelecidos VPs e VIs estaduais ou regionais para substâncias químicas listadas ou não no Anexo II, com base na mesma metodologia e garantindo o mesmo nível de risco.

Art. 12. As substâncias não listadas no Anexo II, quando necessária sua investigação, terão seus valores orientadores definidos pelo órgão ambiental competente.

Art. 13. Ficam estabelecidas as seguintes classes de qualidade dos solos, segundo a concentração de substâncias químicas:

I - Classe 1 - Solos que apresentam concentrações de substâncias químicas menores ou iguais ao VRQ;

II - Classe 2 - Solos que apresentam concentrações de pelo menos uma substância química maior do que o VRQ e menor ou igual ao VP;

III - Classe 3 - Solos que apresentam concentrações de pelo menos uma substância química maior que o VP e menor ou igual ao VI; e

IV - Classe 4 - Solos que apresentam concentrações de pelo menos uma substância química maior que o VI.

### CAPÍTULO III

#### DA PREVENÇÃO E CONTROLE DA QUALIDADE DO SOLO

Art. 14. Com vista à prevenção e controle da qualidade do solo, os empreendimentos que desenvolvem atividades com potencial de contaminação dos solos e águas subterrâneas deverão, a critério do órgão ambiental competente:

I - implantar programa de monitoramento de qualidade do solo e das águas subterrâneas na área do empreendimento e, quando necessário, na sua área de influência direta e nas águas superficiais; e

II - apresentar relatório técnico conclusivo sobre a qualidade do solo e das águas subterrâneas, a cada solicitação de renovação de licença e previamente ao encerramento das atividades.

§ 1º Os órgãos ambientais competentes publicarão a relação das atividades com potencial de contaminação dos solos e das águas subterrâneas, com fins de orientação das ações de prevenção e controle da qualidade do solo, com base nas atividades previstas na Lei nº 10.165, de 27 de dezembro de 2000.

§ 2º O programa de monitoramento para as águas subterrâneas, bem como o relatório técnico, mencionados nos incisos I e II, deverão ser estabelecidos observadas as ações implementadas no âmbito do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos-SINGREH.

Art. 15. As concentrações de substâncias químicas no solo resultantes da aplicação ou disposição de resíduos e efluentes, observada a legislação em vigor, não poderão ultrapassar os respectivos VPs.

Art. 16. São procedimentos para avaliação das concentrações de substâncias químicas e controle da qualidade do solo, dentre outros:

- I - realização de amostragens e ensaios de campo ou laboratoriais, de acordo com os artigos 17, 18 e 19<sup>1</sup>;
- II - classificação da qualidade do solo conforme artigo 13<sup>2</sup>; e
- III - adoção das ações requeridas conforme estabelecido no artigo 20<sup>3</sup>.

Art. 17. Para atendimento desta Resolução nas amostragens, análises e controle de qualidade para caracterização e monitoramento do solo e das águas subterrâneas deverão ser observadas, no mínimo, as seguintes diretrizes:

- I - adotar procedimentos de coleta, manuseio, preservação, acondicionamento e transporte de amostras de acordo com normas nacionais e internacionais, respeitando-se os prazos de validade;
- II - realizar as análises físicas, químicas, físico-químicas e biológicas, utilizando-se metodologias que atendam às especificações descritas em normas reconhecidas internacionalmente;
- III - no caso do limite de quantificação da amostra - LQA ser maior do que o LQP, o LQA será aceito para atendimento desta resolução, desde que tecnicamente justificado;
- IV - caso a substância seja identificada na amostra em concentração entre o limite de detecção do método - LDM e o LQA, o fato deverá ser reportado no laudo analítico com a nota de que a concentração não pode ser determinada com confiabilidade;
- V - no caso de áreas submetidas à aplicação de produtos agrotóxicos, o momento da coleta deve ter correspondência com o período de carência dos mesmos; e
- VI - no caso de aplicação de fertilizantes, o momento da coleta da amostra deverá estar correlacionado à colheita do produto, quando houver.

Art. 18. Os resultados das análises devem ser reportados em laudos analíticos contendo, no mínimo:

- I - identificação do local da amostragem, data e horário de coleta e entrada da amostra no laboratório, anexando a cadeia de custódia;
- II - indicação do método de análise utilizado para cada parâmetro analisado;
- III - os LQAs, para cada parâmetro analisado;
- IV - os resultados dos brancos do método e rastreadores ("surrogates");
- V - as incertezas de medição para cada parâmetro; e
- VI - ensaios de adição e recuperação dos analitos na matriz ("spike").

Parágrafo único. Outros documentos, tais como cartas-controle, cromatogramas, resultados obtidos em ensaios de proficiência e em amostras certificadas, podem ser solicitados a qualquer tempo pelo órgão ambiental competente.

<sup>1</sup> Retificação publicada no D.O.U Nº 31, de 13 de fevereiro de 2012 - página 124.

<sup>2</sup> Retificação publicada no D.O.U Nº 31, de 13 de fevereiro de 2012- página 124.

<sup>3</sup> Retificação publicada no D.O.U Nº 31, de 13 de fevereiro de 2012 - página 124. III - no caso do limite de quantificação da amostra - LQA ser maior do que o LQP, o LQA

Art. 19. As análises para caracterização e monitoramento da qualidade do solo e da água subterrânea deverão ser realizadas em laboratórios acreditados pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial-INMETRO para os parâmetros de interesse.

Parágrafo único. Por um prazo de cinco anos serão admitidas análises realizadas por instituição aceita pelos órgãos ambientais ou de recursos hídricos, para os respectivos parâmetros de interesse.

Art. 20. Após a classificação do solo deverão ser observados os seguintes procedimentos de prevenção e controle da qualidade do solo:

I - Classe 1: não requer ações;

II - Classe 2: poderá requerer uma avaliação do órgão ambiental, incluindo a verificação da possibilidade de ocorrência natural da substância ou da existência de fontes de poluição, com indicativos de ações preventivas de controle, quando couber, não envolvendo necessariamente investigação;

III - Classe 3: requer identificação da fonte potencial de contaminação, avaliação da ocorrência natural da substância, controle das fontes de contaminação e monitoramento da qualidade do solo e da água subterrânea; e

IV - Classe 4: requer as ações estabelecidas no Capítulo IV.

#### CAPÍTULO IV

##### DAS DIRETRIZES PARA O GERENCIAMENTO DE ÁREAS CONTAMINADAS

Art. 21. São princípios básicos para o gerenciamento de áreas contaminadas:

I - a geração e a disponibilização de informações;

II - a articulação, a cooperação e integração interinstitucional entre os órgãos da União, dos estados, do Distrito Federal e dos municípios, os proprietários, os usuários e demais beneficiados ou afetados;

III - a gradualidade na fixação de metas ambientais, como subsídio à definição de ações a serem cumpridas;

IV - a racionalidade e otimização de ações e custos;

V - a responsabilização do causador pelo dano e suas conseqüências; e,

VI - a comunicação de risco.

Art. 22. O gerenciamento de áreas contaminadas deverá conter procedimentos e ações voltadas ao atendimento dos seguintes objetivos:

I - eliminar o perigo ou reduzir o risco à saúde humana;

II - eliminar ou minimizar os riscos ao meio ambiente;

III - evitar danos aos demais bens a proteger;

IV - evitar danos ao bem estar público durante a execução de ações para reabilitação; e

V - possibilitar o uso declarado ou futuro da área, observando o planejamento de uso e ocupação do solo.

Art. 23. Para o gerenciamento de áreas contaminadas, o órgão ambiental competente deverá instituir

procedimentos e ações de investigação e de gestão, que contemplem as seguintes etapas, conforme ilustrado no Anexo III:

I - Identificação: etapa em que serão identificadas áreas suspeitas de contaminação com base em avaliação preliminar, e, para aquelas em que houver indícios de contaminação, deve ser realizada uma investigação confirmatória, as expensas do responsável, segundo as normas técnicas ou procedimentos vigentes.

II - Diagnóstico: etapa que inclui a investigação detalhada e avaliação de risco, as expensas do responsável, segundo as normas técnicas ou procedimentos vigentes, com objetivo de subsidiar a etapa de intervenção, após a investigação confirmatória que tenha identificado substâncias químicas em concentrações acima do valor de investigação.

III - Intervenção: etapa de execução de ações de controle para a eliminação do perigo ou redução, a níveis toleráveis, dos riscos identificados na etapa de diagnóstico, bem como o monitoramento da eficácia das ações executadas, considerando o uso atual e futuro da área, segundo as normas técnicas ou procedimentos vigentes.

Art. 24. Será considerada Área Suspeita de Contaminação – AS, pelo órgão ambiental competente, aquela em que, após a realização de uma avaliação preliminar, forem observados indícios da presença de contaminação ou identificadas condições que possam representar perigo.

Art. 25. Será declarada Área Contaminada sob Investigação – AI, pelo órgão ambiental competente, aquela em que comprovadamente for constatada, mediante investigação confirmatória, a contaminação com concentrações de substâncias no solo ou nas águas subterrâneas acima dos valores de investigação.

Parágrafo único. Quando a concentração de uma substância for reconhecida pelo órgão ambiental competente como de ocorrência natural, a área não será considerada contaminada sob investigação, entretanto será necessária a implementação de ações específicas de proteção à saúde humana pelo poder público competente.

Art. 26. Será declarada Área Contaminada sob Intervenção-ACI, pelo órgão ambiental competente, aquela em que for constatada a presença de substâncias químicas em fase livre ou for comprovada, após investigação detalhada e avaliação de risco, a existência de risco à saúde humana.

Art. 27. Será declarada Área em Processo de Monitoramento para Reabilitação-AMR, pelo órgão ambiental competente, aquela em que o risco for considerado tolerável, após a execução de avaliação de risco.

§ 1º Nas situações em que a existência de determinada AI ou ACI possa implicar em impactos significativos aos recursos ambientais, o gerenciamento do risco poderá se basear nos resultados de uma avaliação de risco ecológico, a critério do órgão ambiental competente.

§ 2º Na impossibilidade de execução de uma avaliação de risco ecológico, em uma determinada área, o órgão ambiental competente deverá estabelecer valores específicos e metas para subsidiar a reabilitação da área utilizando-se de metodologia tecnicamente justificada.

§ 3º Em caso de identificação de fase livre, a avaliação de risco deverá ser efetuada após a sua eliminação ou redução a níveis mínimos estabelecidos a critério do órgão ambiental competente, com base nos recursos tecnológicos disponíveis, sem prejuízo à implementação das etapas de gerenciamento das outras fontes de contaminação da área.

Art. 28. No caso da identificação de condição de perigo, em qualquer etapa do gerenciamento, deverão ser tomadas ações emergenciais compatíveis para a eliminação desta condição e a

continuidade da investigação e do gerenciamento.

Art. 29. Após a declaração de AI ou ACI, o órgão ambiental competente, em conjunto com os demais órgãos envolvidos, deverá adotar medidas cabíveis para resguardar os receptores do risco já identificados nestas etapas.

Art. 30. Os órgãos ambientais competentes devem planejar suas ações, observando, para a priorização, os seguintes aspectos:

- I - população potencialmente exposta;
- II - proteção dos recursos hídricos; e
- III - presença de áreas de interesse ambiental.

Art. 31. Para o gerenciamento de áreas contaminadas, os VIs para água subterrânea são os listados no Anexo II, definidos com base em risco à saúde humana.

§ 1º Para substâncias não listadas e nas áreas onde as condições naturais apresentem valores anômalos para as substâncias químicas, o órgão ambiental competente, em conjunto com órgão gestor de recursos hídricos, deverá definir ações específicas para cada caso.

§ 2º Na hipótese da revisão da legislação específica que define os padrões de potabilidade para risco à saúde humana, os valores previstos no Anexo II ficam automaticamente alterados.

Art. 32. Para o cumprimento dos procedimentos e ações no gerenciamento de áreas contaminadas, o órgão ambiental competente deverá:

- I - definir, em conjunto com outros órgãos, ações emergenciais em casos de identificação de condições de perigo;
- II - definir os procedimentos de identificação e diagnóstico;
- III - avaliar o diagnóstico ambiental;
- IV - promover a comunicação de risco após a declaração da área como contaminada sob intervenção;
- V - avaliar, em conjunto com outros órgãos, as propostas de intervenção da área;
- VI - acompanhar, em conjunto com outros órgãos, as ações emergenciais, de intervenção e de monitoramento;
- VII - avaliar a eficácia das ações de intervenção; e
- VIII - dar ampla publicidade e comunicar a situação da área ao proprietário, ao possuidor, ao Cartório de Registro de Imóveis da Comarca onde se insere o imóvel, bem como ao cadastro imobiliário das prefeituras e do Distrito Federal.

Parágrafo único. No desenvolvimento das ações deverão ser observados os usos preponderantes, o enquadramento e os planos de recursos hídricos.

Art. 33. Para fins de reabilitação da área contaminada, o proprietário informará o uso pretendido à autoridade competente que decidirá sobre sua viabilidade ambiental, com fundamento na legislação vigente, no diagnóstico da área, na avaliação de risco, nas ações de intervenção propostas e no zoneamento do uso do solo.

Art. 34. Os responsáveis pela contaminação da área devem submeter ao órgão ambiental competente proposta para a ação de intervenção a ser executada sob sua responsabilidade, devendo a mesma, obrigatoriamente, considerar:

- I - o controle ou eliminação das fontes de contaminação;
- II - o uso atual e futuro do solo da área objeto e sua circunvizinhança;
- III - a avaliação de risco à saúde humana;
- IV - as alternativas de intervenção consideradas técnica e economicamente viáveis e suas consequências;
- V - o programa de monitoramento da eficácia das ações executadas; e
- VI - os custos e os prazos envolvidos na implementação das alternativas de intervenção propostas para atingir as metas estabelecidas.

Parágrafo único. As alternativas de intervenção para reabilitação de áreas contaminadas poderão contemplar, de forma não excludente, as seguintes ações:

- I - eliminação de perigo ou redução a níveis toleráveis dos riscos à segurança pública, à saúde humana e ao meio ambiente;
- II - zoneamento e restrição dos usos e ocupação do solo e das águas superficiais e subterrâneas;
- III - aplicação de técnicas de remediação; e
- IV - monitoramento.

Art. 35. Após a eliminação dos riscos ou a sua redução a níveis toleráveis, a área será declarada, pelo órgão ambiental competente, como área em processo de monitoramento para reabilitação – AMR.

Art. 36. Após período de monitoramento, definido pelo órgão ambiental competente, que confirme a eliminação do perigo ou a redução dos riscos a níveis toleráveis, a área será declarada pelo órgão ambiental competente como reabilitada para o uso declarado – AR.

Art. 37. Os órgãos ambientais competentes, quando da constatação da existência de uma área contaminada ou reabilitada para o uso declarado, comunicarão formalmente:

- I - ao responsável pela contaminação;
- II - ao proprietário ou ao possuidor da área contaminada ou reabilitada;
- III - aos órgãos federais, estaduais, distrital e municipais de saúde, meio ambiente e de recursos hídricos;
- IV - ao poder público municipal;
- V - à concessionária local de abastecimento público de água; e
- VI - ao Cartório de Registro de Imóveis da Comarca onde se insere determinada área, bem como ao cadastro imobiliário das prefeituras e do Distrito Federal.

Parágrafo único. Deverão ser criados pelo Poder Público mecanismos para comunicação de riscos à população adequados aos diferentes públicos envolvidos, propiciando a fácil compreensão e o acesso à informação aos grupos social e ambientalmente vulneráveis.

Art. 38. Os órgãos ambientais competentes, observando o sigilo necessário, previsto em lei, deverão dar publicidade principalmente em seus portais institucionais na rede mundial de computadores, às informações sobre áreas contaminadas identificadas e suas principais características, na forma de um relatório que deverá conter no mínimo:

I - a identificação da área com dados relativos à toponímia e georreferenciamento, características hidrogeológicas, hidrológicas e fisiografia;

II - a(s) atividade(s) poluidora(s) ativa(s) e inativa(s), fonte poluidora primária e secundária ou potencial, extensão da área afetada, causa da contaminação (acidentes, vazamentos, disposição inapropriada do produto químico ou perigoso, dentre outros);

III - as características das fontes poluidoras no que se refere à disposição de resíduos, armazenamento de produtos químicos e perigosos, produção industrial, vias de contaminação e impermeabilização da área;

IV - a classificação da área em AI, ACI, AMR e AR;

V - o uso atual do solo da área e seu entorno, ação em curso e pretérita;

VI - os meios afetados e concentrações de contaminantes;

VII - a descrição dos bens a proteger e distância da fonte poluidora; VIII - os cenários de risco e rotas de exposição;

IX - as formas de intervenção; e

X - as áreas contaminadas críticas

§ 1º As informações previstas no caput deverão ser tomadas disponíveis pelos órgãos estaduais de meio ambiente ao IBAMA, o qual definirá e divulgará, em seu portal institucional, forma de apresentação e organização sistematizada das informações.

§ 2º O IBAMA implementará módulo no sistema de informação institucional, que tornará públicas as informações enviadas pelos órgãos estaduais de meio ambiente, na forma organizada e sistematizada necessária.

§ 3º As informações constantes do relatório mencionado no caput constituirão o Banco de Dados Nacional sobre Áreas Contaminadas.

## CAPÍTULO V

### DAS DISPOSIÇÕES FINAIS E TRANSITÓRIAS

Art. 39. Os critérios e procedimentos estabelecidos nesta Resolução não se aplicam a substâncias radioativas.

Parágrafo único. No caso de suspeitas ou evidências de contaminação por substâncias radioativas o órgão ambiental notificará a Comissão Nacional de Energia Nuclear-CNEN.

Art. 40. Esta Resolução deverá ser revista após 5 (cinco) anos contados a partir da sua publicação.

Art. 41. Esta Resolução entra em vigor na data de sua publicação.

**CARLOS MINC**

**Presidente do Conselho**

*Este texto não substitui o publicado no DOU de 30/12/2009*

## ANEXO I

### PROCEDIMENTO PARA O ESTABELECIMENTO DE VALORES DE REFERÊNCIA DE QUALIDADE DE SOLOS

Os valores de referência de qualidade (VRQs) para as substâncias inorgânicas de ocorrência natural no solo são estabelecidos a partir de interpretação estatística dos resultados analíticos obtidos em amostras coletadas nos principais tipos de solo do Estado, conforme as etapas descritas abaixo.

#### 1 - Seleção dos tipos de solo

Identificar os tipos de solo em cada estado, com base em critérios tais como o material de origem do solo (litologia), relevo e clima, de modo a se obter um conjunto de tipos de solo que representem os compartimentos geomorfológicos, pedológicos, geológicos mais representativos do estado.

#### 2- Seleção de parâmetros para caracterização do solo

Os parâmetros a serem determinados para caracterização do solo são: carbono orgânico, pH em água, capacidade de troca catiônica (CTC) e teores de argila, silte, areia e de óxidos de alumínio, ferro e manganês. Considerando as peculiaridades regionais, outros parâmetros poderão ser incluídos.

**Em cada compartimento selecionado conforme o item 1 deverão ser definidas estações de amostragem, em trechos sem interferência antropogênica ou com interferência antropogênica desprezível, que devem ser distribuídas de modo a representar estatisticamente a área geográfica de ocorrência de cada tipo de solo.**

A amostra de cada estação será do tipo composta, formada por subamostras de 10 (dez) pontos amostrais, obtidas na profundidade de 0-20 cm. Amostragens simples ou para outras profundidades poderão ser adotadas em função de especificidades regionais. As coordenadas geográficas e a altitude dos pontos amostrais devem ser anotadas, especificando o sistema geodésico de referência.

Deverão ser adotados procedimentos de coleta, manuseio, preservação, acondicionamento e transporte de amostras, descritos em normas nacionais e internacionais, respeitando-se os prazos de validade.

#### 3 – Metodologias analíticas

Para análise das substâncias inorgânicas listadas no Anexo II, utilizar a fração de solo menor que 2mm. A metodologia analítica para a extração das substâncias inorgânicas (exceto mercúrio) das amostras será a USEPA 3050 ou USEPA 3051 ou em suas atualizações. As determinações do pH em água, CTC e dos teores de carbono orgânico, argila, silte, areia, óxidos de ferro, alumínio, manganês e silício devem seguir as metodologias analíticas definidas pela EMBRAPA.

No caso de ocorrência natural, reconhecida pelo órgão ambiental competente, de substâncias não contempladas nas metodologias citadas anteriormente, deverão ser adotadas metodologias que atendam às especificações descritas em normas reconhecidas internacionalmente, que incluam a edição mais recente dos métodos publicados pela USEPA (United States Environmental Protection Agency), série SW-846 – Test Methods for Evaluating Solid Waste; pela ISO (International Standardization Organization) e pela DIN (Deutsches Institut für Normung).

As análises químicas deverão contemplar rastreabilidade analítica, validação, cartas controle elaboradas com faixas de concentração significativamente próximas daquelas esperadas nas matrizes sólidas) e ensaios com materiais de referência certificados, a fim de comprovar a exatidão dos resultados por meio de ensaios paralelos.

#### 4 – Interpretação dos dados e obtenção dos VRQs

Cada estado poderá estabelecer, por substância, um único VRQ ou um VRQ para cada tipo de solo.

O VRQ de cada substância poderá ser estabelecido com base no percentil 75 ou percentil 90 do universo amostral, retiradas previamente as anomalias. O referido VRQ será determinado utilizando tratamento estatístico aplicável e em conformidade com a concepção do plano de amostragem e com o conjunto amostral obtido.

As anomalias deverão ser avaliadas em estudos específicos e interpretadas estatisticamente.

Para as determinações das substâncias químicas em que todos os resultados analíticos forem menores do que o limite de quantificação praticável (LQP) do respectivo método analítico, eleger “< LQP” como sendo o VRQ da substância e excluí-las dos demais procedimentos de interpretação estatística.

Para interpretação estatística das substâncias químicas em que parte dos resultados analíticos forem menores que o limite de quantificação praticável (LQP), considerar como resultado na matriz de dados o valor LQP/2.

Para as substâncias que apresentarem mais do que 60% de resultados superiores ao limite de quantificação, a definição de agrupamento de tipos de solo deverá ser realizada com base em teste estatístico que comprove semelhança entre os grupos amostrais.

Para estabelecimento do VRQ de cada substância, avaliar a necessidade de se excluir da matriz de dados os resultados discrepantes (outliers), identificados por métodos estatísticos.

As substâncias cujo percentil selecionado for igual ao LQP/2, adotar “< LQP” como sendo o VRQ da substância.

#### **5 – Base de dados**

Os dados obtidos pelos estados na amostragem, determinações analíticas e os VRQs, deverão compor a base de dados sobre qualidade de solos.

**ANEXO II**  
**LISTA DE VALORES ORIENTADORES PARA SOLOS E PARA ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**

Substâncias	CAS n°	Solo (mg.kg-1 de peso seco) (I)					Água Subterrânea (µg.L-1)
		Referência de qualidade	Prevenção	Investigação			Investigação
				Agrícola APMax	Residencial	Industrial	
<b>Inorgânicos</b>							
Alumínio	7429-90-5	E	-	-	-	-	3.500**
Antimônio	7440-36-0	E	2	5	10	25	5*
Arsênio	7440-38-2	E	15	35	55	150	10*
Bário	7440-39-3	E	150	300	500	750	700*
Boro	7440-42-8	E	-	-	-	-	500
Cádmio	7440-48-4	E	1,3	3	8	20	5*
Chumbo	7440-43-9	E	72	180	300	900	10*
Cobalto	7439-92-1	E	25	35	65	90	70
Cobre	7440-50-8	E	60	200	400	600	2.000*
Cromo	7440-47-3	E	75	150	300	400	50*
Ferro	7439-89-6	E	-	-	-	-	2.450**
Manganês	7439-96-5	E	-	-	-	-	400**
Mercurio	7439-97-6	E	0,5	12	36	70	1*
Molibdênio	7439-98-7	E	30	50	100	120	70
Níquel	7440-02-0	E	30	70	100	130	20
Nitrato (como N)	797-55-08	E	-	-	-	-	10.000*
Prata	7440-22-4	E	2	25	50	100	50
Selênio	7782-49-2	E	5	-	-	-	10*
Vanádio	7440-62-2	E	-	-	-	1000	-
Zinco	7440-66-6	E	300	450	1.000	2.000	1.050**
<b>Hidrocarbonetos aromáticos voláteis</b>							
Benzeno	71-43-2	na	0,03	0,06	0,08	0,15	5*
Estireno	100-42-5	na	0,2	15	35	80	20*
Etilbenzeno	100-41-4	na	6,2	35	40	95	300**
Tolueno	108-88-3	na	0,14	30	30	75	700**
Xilenos	1330-20-7	na	0,13	25	30	70	500**
<b>Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos</b>							
Antraceno	07/12/20	na	0,039	-	-	-	-
Benzo(a)antraceno	56-55-3	na	0,025	9	20	65	1,75
Benzo(k)fluoranteno	207-06-9	na	0,38	-	-	-	-
Benzo(g,h,i)perileno	191-24-2	na	0,57	-	-	-	-
Benzo(a)pireno	50-32-8	na	0,052	0,4	1,5	3,5	0,7*
Criseno	218-01-9	na	8,1	-	-	-	-
Dibenzo(a,h)antraceno	53-70-3	na	0,08	0,15	0,6	1,3	0,18

Substâncias	CAS n°	Solo (mg.kg-1 de peso seco) (1)					Água Subterrânea (µg.L-1)
		Referência de qualidade	Prevenção	Investigação			Investigação
				Agrícola APMax	Residencial	Industrial	
Fenantreno	85-01-8	na	3,3	15	40	95	140
Indeno(1,2,3-c,d)pireno	193-39-5	na	0,031	2	25	130	0,17
Naftaleno	91-20-3	na	0,12	30	60	90	140
Benzenos clorados							
Clorobenzeno (Mono)	108-90-7	na	0,41	40	45	120	700**
1,2-Diclorobenzeno	95-50-1	na	0,73	150	200	400	1000
1,3-Diclorobenzeno	541-73-1	na	0,39	-	-	-	-
1,4-Diclorobenzeno	106-46-7	na	0,39	50	70	150	300
1,2,3-Triclorobenzeno	87-61-6	na	0,01	5	15	35	(a)*
1,2,4-Triclorobenzeno	120-82-1	na	0,011	7	20	40	(a)*
1,3,5-Triclorobenzeno	108-70-3	na	0,5	-	-	-	(a)*
1,2,3,4-Tetraclorobenzeno	634-66-2	na	0,16	-	-	-	-
1,2,3,5-Tetraclorobenzeno	634-90-2	na	0,01	-	-	-	-
1,2,4,5-Tetraclorobenzeno	95-94-3	na	0,01	-	-	-	-
Hexaclorobenzeno	118-74-1	na	0,003(3)	0,005	0,1	1	1*
Etenos clorados							
1,1-Dicloroetano	75-34-2	na	-	8,5	20	25	280
1,2-Dicloroetano	107-06-2	na	0,075	0,15	0,25	0,50	10*
1,1,1-Tricloroetano	71-55-6	na	-	11	11	25	280
Etenos clorados							
Cloreto de vinila	75-01-4	na	0,003	0,005	0,003	0,008	5*
1,1-Dicloroetano	75-35-4	na	-	5	3	8	30*
1,2-Dicloroetano - cis	156-59-2	na	-	1,5	2,5	4	(b)
1,2-Dicloroetano - trans	156-60-5	na	-	4	8	11	(b)
Tricloroetano - TCE	79-01-6	na	0,0078	7	7	22	70*
Tetracloroetano - PCE	127-18-4	na	0,054	4	5	13	40*
Metanos clorados							
Cloreto de Metileno	75-09-2	na	0,018	4,5	9	15	20*
Clorofórmio	67-66-3	na	1,75	3,5	5	8,5	200
Tetracloroeto de carbono	56-23-5	na	0,17	0,5	0,7	1,3	2*
Fenóis clorados							
2-Clorofenol (o)	95-57-8	na	0,055	0,5	1,5	2	10,5
2,4-Diclorofenol	120-83-2	na	0,031	1,5	4	6	10,5
3,4-Diclorofenol	95-77-2	na	0,051	1	3	6	10,5
2,4,5-Triclorofenol	95-95-4	na	0,11	-	-	-	10,5
2,4,6-Triclorofenol	88-06-2	na	1,5	3	10	20	200*
2,3,4,5-Tetraclorofenol	4901-51-3	na	0,092	7	25	50	10,5
2,3,4,6-Tetraclorofenol	58-90-2	na	0,011	1	3,5	7,5	10,5
Pentaclorofenol (PCP)	58-90-2	na	0,16	0,35	1,3	3	9*

Substâncias	CAS n°	Solo (mg.kg-1 de peso seco) (1)					Água Subterrânea (µg.L-1)
		Referência de qualidade	Prevenção	Investigação			Investigação
				Agrícola APMax	Residencial	Industrial	
Fenóis não clorados							
Cresóis	-	na	0,16	6	14	19	175
Fenol	108-95-2	na	0,20	5	10	15	140
Esteres ftálicos							
Dietilexil ftalato (DEHP)	117-81-7	na	0,6	1,2	4	10	8
Dimetil ftalato	131-11-3	na	0,25	0,5	1,6	3	14
Di-n-butil ftalato	84-74-2	na	0,7	-	-	-	-
Pesticidas organoclorados							
Aldrin	309-00-2	na	0,015	0,003	0,01	0,03	(d)*
Dieldrin	60-57-1	na	0,043	0,2	0,6	1,3	(d)*
Endrin	72-20-8	na	0,001	0,4	1,5	2,5	0,6*
DDT	50-29-3	na	0,010	0,55	2	5	(c)*
DDD	72-54-8	na	0,013	0,8	3	7	(c)*
DDE	72-55-9	na	0,021	0,3	1	3	(c)*
HCH beta	319-85-7	na	0,011	0,03	0,1	5	0,07
HCH – gama (Lindano)	58-89-9	na	0,001	0,02	0,07	1,5	2*
PCBs							
TOTAL	-	na	0,0003 (3)	0,01	0,03	0,12	3,5

(1) – Para comparação com valores orientadores, utilizar as recomendações dos métodos 3050b (exceto para o elemento mercúrio) ou 3051 da USEPA–SW–846 ou outro procedimento equivalente, para digestão ácida de amostras de solos na determinação das substâncias inorgânicas por técnicas espectrométricas.

E - a ser definido pelo Estado.

na - não se aplica para substâncias orgânicas.

(a) somatória para triclorobenzenos = 20 µg.L-1.

(b) somatória para 1,2 dicloroetenos; = 50 µg.L-1.

(c) somatória para DDT-DDD-DDE = 2 µg.L-1.

(d) somatória para Aldrin e Dieldrin = 0,03 µg.L-1.

\* Padrões de potabilidade de substâncias químicas que representam risco à saúde definidos na Portaria nº 518/2004 do Ministério da Saúde (Tabela 3).

\*\* Valores calculados com base em risco à saúde humana, de acordo com o escopo desta Resolução. Diferem dos padrões de aceitação para consumo humano definidos na Portaria nº 518/2004 do Ministério da Saúde (Tabela 5) e dos valores máximos permitidos para consumo humano definidos no Anexo I da Resolução CONAMA nº 396/2008.

## ANEXO B - RESOLUÇÃO CONAMA 460/2013



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE  
CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE

### RESOLUÇÃO Nº 460, DE 30 DE DEZEMBRO DE 2013

Correlação:

- Altera a Resolução CONAMA nº 420/2009 (altera o prazo do art. 8º, e acrescenta novo parágrafo).

*Altera a Resolução CONAMA nº 420, de 28 de dezembro de 2009, que dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e dá outras providências.*

O CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE-CONAMA, no uso da competência que lhe é conferida pelo inciso I do art. 8º da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, e tendo em vista o disposto em seu Regimento Interno, Anexo à Portaria nº 168, de 13 de junho de 2005, e

Considerando o disposto na Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA, que dispõe sobre critérios e valores orientados de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas, resolve:

Art. 1º O do art. 8º da Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA, publicada em 30 de dezembro de 2009, Seção 1, página 81 a 84, passa a vigorar com a seguinte redação:

"Art. 8º Os VRQs do solo para substâncias químicas naturalmente presentes serão estabelecidos pelos órgãos ambientais competentes dos Estados e do Distrito Federal até dezembro de 2014, de acordo com o procedimento estabelecido no Anexo I.

.....

§ 3º Os Estados e o Distrito Federal informarão trimestralmente ao Ministério do Meio Ambiente e ao Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA os resultados das ações adotadas para o cumprimento do disposto no caput deste artigo." (NR)

Art. 2º Esta Resolução entra em vigor na data de sua publicação.

**IZABELLA TEIXEIRA**  
Presidente do Conselho

ESSE TEXTO NÃO SUBSTITUI O PUBLICADO NO  
DOU Nº 253, DE 31/12/2013, Seção 01, Pág. 153