

# CONTAMINAÇÃO POR CHUMBO, RISCOS, LIMITES LEGAIS E ALTERNATIVAS DE REMEDIAÇÃO

Valmir de Souza<sup>1</sup>, Odorico Konrad<sup>2</sup>, Affonso Celso Gonçalves Jr.<sup>3</sup>, Ricardo Felipe Braga de Sousa<sup>4</sup>

**Resumo:** A contaminação por chumbo constitui uma das principais formas de contaminação do meio ambiente, tendo, além dos teores naturais, os teores decorrentes das ações antrópicas, como indústria de baterias, siderúrgicas, entre outros, apresentado grande potencial de dano aos organismos vivos. Com base nos dados da literatura, apresenta-se uma análise sobre o risco ambiental que representa, uma vez que a contaminação de chumbo continua significativa, e cresce cada vez mais. A legislação ainda é permissiva, abrindo espaço para que o setor produtivo atue dentro dos “limites”, aumentando os teores de chumbo no solo e água, contaminando o meio ambiente e agravando os problemas na cadeia trófica. O objetivo deste trabalho é mostrar os riscos do chumbo ao ambiente e à saúde dos organismos vivos, realizar uma análise da legislação vigente, expor as principais fontes emissoras do metal, assim como apontar alternativas de remediação para ambientes contaminados.

**Palavras-chave:** Metais. Contaminação de solos. Princípio do limite. Fitorremediação.

## 1 INTRODUÇÃO

Cada vez mais existe no mundo maior número de pessoas com o desejo de se alimentar melhor. Essa evolução mundial vem desenvolvendo técnicas que facilitam situações do cotidiano que aumentem o conforto da população, lançando novos produtos e inovações que satisfaçam o mercado consumidor (SANTOS, 2013).

Apesar de servir como saída temporária para muitas necessidades de primeira ordem, inclusive alimentação, essas inovações trazem consigo, entretanto, prejuízos para o meio ambiente por liberarem diversos compostos, como pesticidas, antibióticos e principalmente metais, oriundos geralmente em forma de resíduos de atividades antrópicas, como mineradoras, siderúrgicas, atividades agrícolas, entre outras (TARLEY; ARRUDA, 2003).

Dentre esses contaminantes, o chumbo (Pb) tornou-se presença constante nos solos, seja por origem natural (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 2001) devido ao intemperismo ou pelas atividades anteriormente citadas. Dependendo dos teores nos quais ele se encontra, pode apresentar riscos aos organismos vivos que dependem do meio contaminado (BRASIL, 2009).

---

1 Doutorando do Programa de Pós-graduação em Ambiente e Desenvolvimento da UNIVATES. E-mail: soumcal@hotmail.com

2 Professor Doutor pesquisador do Centro Universitário UNIVATES. E-mail: okorand@univates.br

3 Professor Doutor associado no Centro de Ciências Agrárias da UNIOESTE-PR e bolsista produtividade do CNPq. E-mail: Affonso\_133@hotmail.com

4 Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Agronomia da UNIOESTE-PR e bolsista CAPES. E-mail: r\_felipe\_b@hotmail.com

Devido aos riscos apresentados e apelo de diversos cientistas do âmbito ambiental (GONÇALVES Jr. et al., 2014), o Ministério do Meio Ambiente estabeleceu alguns limites para os níveis de contaminantes tanto no solo quanto na água, por meio do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama) com as resoluções 420/2009 (BRASIL, 2009) e 357/2005 (BRASIL, 2005), respectivamente.

Apesar das tentativas de controle do Conama, ainda existem casos de contaminação por chumbo no país, seja por novas fontes de contaminações, acidentes ambientais ou solos contaminados no passado, mas que só tiveram sua toxicidade constatada agora, representando grande perigo para a sociedade.

Para a remediação e descontaminação, existem diversos métodos utilizando princípios variados, porém deve-se destacar a fitorremediação, que emprega plantas com o objetivo de remover, transferir, estabilizar ou destruir elementos nocivos, possuindo altos potenciais de remoção e ou de degradação de poluentes, sendo sua eficiência dependente da estrutura da molécula contaminante, e mecanismo de ação da planta remediadora, uma vez que esses fatores influenciam diretamente na capacidade de quebra dessas substâncias (GERHARDT et al., 2009).

Sendo assim, este artigo apresenta as principais fontes emissoras de chumbo, seus riscos ao ambiente e à saúde dos organismos vivos, a legislação vigente relacionada ao assunto, assim como as alternativas de fitorremediação para esses ambientes.

## 2 ORIGEM DO METAL

O chumbo é um metal de ocorrência natural nos solos. Essa presença ocorre devido ao comportamento específico do metal em se concentrar em regiões ácidas dos solos, resultando do intemperismo químico de rochas magmáticas e sedimentos argilosos. Nesses casos, sua concentração natural varia entre 10 a 40 mg kg<sup>-1</sup>. Quando encontrado em rochas calcárias, os teores geralmente se apresentam entre 0,1 a 10 mg kg<sup>-1</sup>. A abundância média de chumbo na crosta terrestre é estimada em cerca de 15 mg kg<sup>-1</sup>, justificando teores muitas vezes encontrados em solos naturais ausentes de manejo antrópico (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 2001).

Apesar da preexistência do chumbo desde os processos pedogenéticos, o crescente aumento nos seus teores no solo e sua presença no ambiente são atribuídos exclusivamente à contaminação antrópica, uma vez que diversos ramos industriais depositam diariamente grandes quantidades de chumbo no ambiente, como indústrias extrativa, petrolífera, de tintas e corantes, mas principalmente baterias, chumbeiras, sucatas automobilísticas, siderúrgicas e fertilizantes (ANDRADE et al., 2009; FERNANDEZ et al., 2011; NACKE et al., 2013a; GONÇALVES Jr. et al., 2014).

### 2.1 Propriedades e toxicidade do chumbo

O chumbo possui número atômico 82 e massa atômica 11,34 g cm<sup>-3</sup>, sendo um metal de ocorrência natural nos solos (AVILA-CAMPOS, 2014). Sua presença no ambiente pode resultar em uma série de problemas relacionados aos organismos dependentes desses ambientes, incluindo redução no crescimento e até extinção da vegetação, contaminação das águas superficiais e aquíferos, além de ser toxicidade direta para humanos, animais e microrganismos (ALVES et al., 2008). Atualmente esse elemento é classificado como o segundo mais perigoso na lista de prioridade da agência de proteção ambiental americana, atrás somente do As (ATSDR, 2005).

### 2.2 Principais segmentos industriais contaminantes

Dentre os principais ramos industriais que liberam chumbo, algumas indústrias ganham destaque, pela grande quantidade de resíduos produzidos ou pela elevada toxicidade que eles

possuem. É o caso principalmente de baterias, chumbeiras, sucatas automobilísticas, siderúrgicas, fertilizantes entre outras.

Com relação às baterias, deve-se levar em conta que, com a revolução tecnológica, ocorreu aumento no consumismo eletrônico. Paralelamente a isso, houve maior exigência por pilhas menores, mais leves, com maior durabilidade e melhor desempenho, sem levar em conta que, muitas vezes, para isso, a concentração de elementos tóxicos, principalmente o chumbo, é aumentada (BOCHI; FERRACIN; BIAGGIO, 2014). O mercado de baterias é responsável por cerca de 70% do chumbo processado mundialmente, devido ao crescimento exacerbado da indústria automobilística, a utilização de baterias nos veículos e a nova revolução tecnológica (PAOLIELLO, 2001; MME, 2009).

Para sustentabilidade desse sistema produtivo, é necessária uma reciclagem em que ocorre a geração de resíduos (escória), que, muitas vezes, devido à falta de infraestrutura adequada nas unidades recicladoras (chumbeiras), acabam descartando-os no ambiente, determinando a dimensão da indústria e a quantidade depositada a proporção que essa contaminação irá possuir, assim como a possibilidade de o metal ficar prontamente disponível para ser absorvido pelas cadeias alimentares (FERNANDEZ et al., 2011).

Para o ramo automobilístico, constantemente mais inovações são lançadas no mercado. Com essa mudança, muitas vezes produtos que estão há algum tempo no mercado são deixados de lado em relação a sua manutenção ou tornam-se obsoletos. Além disso, as estradas e seus incidentes geram milhões de toneladas de resíduos automobilísticos, os quais são depositados nos denominados “cemitérios de automóveis”, tornando-os estes em potenciais fontes de contaminação (ZHANG et al., 2005).

Essa decomposição e liberação de compostos ao longo do tempo é algo preocupante, devido principalmente à constituição dos automóveis, sendo cerca de 64% dos veículos composto por ferro e aço, 6% por alumínio e 6% por chumbo, entre outros metais tóxicos que são liberados no ambiente (PASEL; WANZL, 2003).

Outro ramo considerado como vilão é a atividade siderúrgica, que é uma das maiores geradoras de resíduos. Estima-se que essa geração seja de cerca de 700 kg de resíduo por tonelada de aço produzido (IISI, 1994), o que, de acordo com a produção nacional de 2013 (34 milhões de toneladas), produziu cerca de 23,8 milhões de toneladas de resíduos. De um ponto de vista mundial, geraram-se cerca de 1,2 bilhões de toneladas de resíduos devido a produção total de 1,6 bilhão de toneladas de aço bruto (IAB, 2014).

Nessa busca por sistemas produtivos de baixo custo, o emprego de resíduos na agricultura apresenta-se como uma excelente opção para reduzir a onerosidade do processo, desde que seja utilizado adequada e racionalmente. Porém, quando utilizado inadequadamente, pode causar sérios danos às plantas, aos humanos e aos corpos hídricos (GONÇALVES Jr., 2014).

Esse uso inadequado ocorre, segundo Monteiro (2005), em um parecer técnico de 2004 do Ministério da Saúde, desde a década de 70. Desde essa época indústrias de fertilizantes passaram a utilizar resíduos industriais perigosos na busca de elementos considerados essenciais às plantas, uma vez que, além de apresentarem os elementos comerciais em questão, trazem consigo em sua composição metais tóxicos, como cádmio (Cd), cromo (Cr) e chumbo (Pb), que são depositados em grandes quantidades no solo (NACKE et al., 2013a; GONÇALVES Jr. et al., 2014).

### 2.3 Efeitos do chumbo nos organismos vivos

De acordo com Alloway (1995), as plantas podem absorver os metais de acordo com a disponibilidade, que é variável segundo as concentrações e especiação no solo, coeficiente de movimentação do elemento entre a solução do solo e a superfície da raiz, o transporte entre a

superfície da raiz para os vasos condutores e, por último, a translocação para as outras partes da planta.

Ao entrar em contato com as plantas, o chumbo pode alterar a germinação, aumentar suscetibilidade à seca e processos vitais, como a fotossíntese, mitose, absorção de água, promover distúrbios nutricionais, interferir na permeabilidade das membranas celulares, além de inibir a respiração (PAIVA, 2000; SOARES et al., 2001).

Quanto a esse mecanismo de transferência, Chaney (1980) agrupou os elementos químicos em categorias, de acordo com o comportamento e a possibilidade de absorção pelas plantas. O chumbo encontra-se no grupo de elementos que podem ser absorvidos pelas raízes, mas não são translocados para a parte aérea em quantidades suficientes para causar risco de transferência na cadeia trófica.

Apesar disso, diversos estudos constataram a presença de chumbo em elevadas quantidades em todos os tecidos da planta, incluindo parte aérea e até mesmo em grãos ou outras partes destinadas ao consumo processado e até mesmo *in natura* (SILVA; VITTI; TREVIZAN, 2007; SILVA; VITTI, 2008; NACKE et al., 2013a).

Ao considerarmos a poluição hídrica, devemos considerar que ela abrange fenômenos relacionados com a introdução de qualquer matéria ou energia que venha a alterar as propriedades do corpo d'água que foi poluído (MARAGON et al., 2005).

Mesmo quando não estão em contato direto com o poluente, os corpos d'água se constituem em grandes depósitos de chumbo, devido ao fato de rios e córregos atravessarem áreas agrícolas onde pesticidas e fungicidas são utilizados em larga escala. A partir de sua movimentação horizontal por meio dos leitos, corpos transportam, ao longo do seu, essas substâncias indesejadas (OKOYE et al., 2010).

O contato entre chumbo e seres humanos geralmente ocorre por via oral ou respiratória (MONTEIRO, 2009). Quando em grandes concentrações no corpo humano, o chumbo pode causar distúrbios em praticamente todas as partes do organismo. Tem, porém, como principal alvo afetado o sistema nervoso central, tanto em adultos quanto em crianças, além de afetar o sangue e rins, ocasionando a morte. Quando em doses menores, processos vitais também são comprometidos, como alterações na pressão arterial, produção de hemoglobina especialmente em pessoas de meia-idade e idosos, causando anemia e processos bioquímicos cerebrais, acarretando alterações psicológicas e comportamentais, sendo a diminuição da inteligência um dos seus efeitos (ATSDR, 2007; CDC, 2012).

### 3 LIMITES À CONTAMINAÇÃO – PRINCÍPIOS E LEGISLAÇÃO

A intensa ação antrópica que visa a buscar, por meio da industrialização, maneiras mais fáceis de suprir as necessidades da humanidade gera, ao mesmo tempo, incontáveis volumes de resíduos responsáveis pela grande quantidade de metais dispersos no meio ambiente. Dentre eles encontra-se o chumbo, elemento considerado como um dos maiores poluentes (ALVES et al., 2008).

Na segunda metade do século passado, mudanças significativas na temática ambiental foram apresentadas por um movimento global, representado, por exemplo, pela Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano, realizada em Estocolmo de 1972 e no Rio de Janeiro em 1992.

Esse cenário fez surgir na seara jurídica o direito ambiental, que é um ramo novo e essencial que se dedica ao estudo das questões normativas que envolvem o ser humano e o meio em que ele vive. No Brasil a Lei Federal 6.938, de 31 de agosto de 1981, instituiu o Sistema Nacional de Meio Ambiente (SNMA), formado pela União, pelos estados e pelos municípios. Essa lei definiu, dentre

outros, os conceitos de degradação ambiental como sendo a alteração adversa das características do meio ambiente, bem como o de poluição, que é a degradação da qualidade ambiental resultante de atividade que direta ou indiretamente prejudica a saúde, a segurança e o bem-estar da população.

A instituição de novas leis iniciou a formação de um direito ambiental, que se fortalece pelas inovações constitucionais, pois, conforme Antunes (2007), “a Constituição Federal (CF) de 1988, naquilo que diz respeito ao meio ambiente e à sua proteção jurídica, trouxe imensas novidades em relação às Cartas que a antecederam”. A CF possui aquele que é o cerne principal de proteção no seu artigo 225: “Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações”.

Das determinações constitucionais decorrem, conforme Machado (2001, p. 61-118), os princípios gerais do direito ambiental, como, por exemplo: princípio do direito à sadia qualidade de vida; princípio do acesso equitativo aos recursos naturais; princípios usuário-pagador e poluidor-pagador, dentre outros.

Ainda se admite o princípio do limite segundo o qual a administração pública deve estabelecer padrões de qualidade ambiental, limitando a emissão de poluentes (BECHARA apud IRIGARAY; ANTUNES, 2007).

Para poder regulamentar as ações humanas que interferem no meio ambiente, a Lei 6.938/81 definiu em seu artigo 8º, inciso VII, a competência legal para o Conama estabelecer normas, critérios e padrões relativos ao controle e à manutenção da qualidade do meio ambiente com vistas ao uso racional dos recursos ambientais, principalmente os hídricos, sendo essa a expressão máxima do princípio do limite delegado àquele órgão.

Mais especificamente no que tange à contaminação do solo, a Resolução nº 420, de 2009, do Conama (BRASIL 2009) tem por objetivo estabelecer critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas, dentre elas os metais tóxicos. A resolução estabelece três categorias de valores orientadores: o Valor de Referência de Qualidade (VRQ), que é a concentração de determinada substância, que irá definir a qualidade natural do solo, baseada em estudos prévios para cada estado brasileiro; o Valor de Prevenção (VP), que se refere à concentração de valor limite de determinada substância no solo; e o Valor de Investigação (VI), que é a concentração de determinada substância no solo da qual derivam riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana. A Tabela 1 apresenta os valores de prevenção e investigação estabelecidos para chumbo em solos.

Tabela 1 - Valores orientadores para a presença de metais tóxicos em solos brasileiros de acordo com a Resolução nº 420, de 2009, do Conama (BRASIL, 2009)

VP (mg kg <sup>-1</sup> )	VI (mg kg <sup>-1</sup> )		
	Área agrícola	Residencial	Industrial
72	180	300	900

VP: Valores de Prevenção; VI: Valor de Investigação.

Para efeitos comparativos, a Tabela 2 apresenta os teores internacionais máximos permitidos para chumbo em solos de diversos locais, que demonstram certa preocupação de diversos países quanto à contaminação por metais.

Tabela 2 - Valores máximos permitidos (VMP) de chumbo no solo de alguns países

Países	(*) Comunidade Europeia	(**) Estados Unidos	(**) Polônia (1977 – 1993)	(**) Alemanha (1984 – 1992)	(**) Reino Unido	(**) Áustria
VMP (mg kg <sup>-1</sup> )	50-300	50-300	70-150	100	500-2000	100

Fonte: (\*)CouncilDirective (1986); (\*\*)Kabata-pendias e Pendias (2001).

No caso pátrio a Resolução nº 420 pode ser seriamente questionada, uma vez que apresenta vários equívocos que ferem princípios constitucionais, como o do limite, ou mesmo o princípio da prevenção no que tange à “preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida”, permitindo a prática da contaminação mesmo sob o manto de valores permitidos, todavia sem que tenham sido estabelecidos após um debate científico exaustivo.

Com relação às normas vigentes referentes à qualidade das águas, tem-se a Resolução nº 357/2005 do Conama, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais e estabelece as condições e os padrões de lançamento de efluentes. Em 2004 o Ministério da Saúde editou a Portaria nº 518/2004, que estabelecia os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

Em ambos os casos as normas atribuem limites para a presença de metais tóxicos nos recursos hídricos brasileiros e determinam valores máximos permitidos (VMP) das concentrações para os metais, dentre eles o chumbo. De acordo com a Tabela 3, podem-se comparar os valores máximos permitidos entre a Resolução nº 357, de 2005, do Conama e a Portaria nº 518, de 2004, do Ministério da Saúde.

Tabela 3 - Resoluções nº 357/2005 e 430/2011 do Conama e Portaria nº 518 do MS, referentes aos valores máximos permitidos (VMP) de chumbo

Legislação	Padrão referente	Limite (mg L <sup>-1</sup> )
Conama nº 357 (2005)	Águas doces	0,033
Portaria nº 518 M.S. (2004)	Potabilidade	0,01
Conama nº 430 (2011)	Lançamentos de efluentes	0,50

Fonte: Brasil (2004; 2005; 2011b).

A Portaria nº 518 foi revogada pela Portaria nº 2914/2011 do Ministério da Saúde. A referida portaria estabeleceu um prazo máximo de 24 meses para que os órgão e entidades sujeitos à sua aplicação promovam as adequações necessárias. Contudo, a Portaria nº 2.914 não altera os VMP para os metais em estudo (BRASIL, 2011a). Em outro caso, a Resolução do Conama, nº 430/2011 também foi estabelecida visando a alterar parcialmente e de modo complementar a Resolução nº 357 do Conama. Neste caso, a Resolução do Conama, nº 430 não substitui os padrões de potabilidade para águas de classe 3 (BRASIL, 2011b).

As normas orientadoras dos valores limites de contaminação sob aspectos específicos necessitam de maior discussão científica no que tange as suas consequências ao meio ambiente e aos seres humanos.

#### 4 CONTAMINAÇÃO POR CHUMBO E RELATOS DE CASOS

Nas cadeias tróficas existe uma especificidade entre os metais, inclusive para o chumbo. Esses elementos reagem com ligantes difusores que, ao adentrar no corpo humano, têm sua distribuição atribuída a essas ligações, ou a ligantes presentes nas membranas, que principalmente atribuem as características de bioacumulação e biomagnificação na cadeia alimentar, biopersistência e elevada toxicidade aos organismos vivos (TAVARES; CARVALHO, 1992).

Como biomagnificação podemos citar o exemplo do chumbo, cujos cátions em concentrações reduzidas entram em contato com o meio receptor sofrendo o efeito de amplificação biológica (ARAYA; GROHNERT; PIZARRO, 2009). Essa amplificação ocorre a partir do momento em que o metal é depositado nos tecidos dos componentes desses meios, passando então a integrar o ciclo metabólico dos organismos vivos, sendo neles armazenados. Em consequência, seus efeitos de toxicidade são extraordinariamente ampliados nos tecidos dos seres vivos ao longo da cadeia alimentar do ecossistema.

A bioacumulação, por sua vez, trata sobre o acréscimo dos níveis dos contaminantes ao longo da cadeia trófica. Sendo assim, à medida que se sobe no nível trófico, maior será a quantidade dos contaminantes acumulados no ser vivo, uma vez que este, para além dos compostos que o seu organismo já absorveu, vai ainda concentrar os que provêm da alimentação (TAVAREZ; CARVALHO, 1992).

Dentre os casos de contaminações por chumbo, podem-se citar dois casos relatados no nosso país (DI GUILIO et al., 2012), em Santo Amaro da Purificação, no Nordeste, e Adrianópolis, na região Sul. Em ambos os casos, pessoas vivem em áreas contaminadas, em um passivo ambiental decorrente de atividades industriais e de mineração durante décadas, levando toda a população à exposição ao chumbo de forma inconsistente com os padrões ambientais e de mineração, com pouco controle dos impactos ambientais e à saúde humana. Em ambos os casos, pessoas sofrem seriamente com problemas oriundos da exposição ao chumbo, porém, devido ao comportamento da sociedade, preferem negar o problema, uma vez que a maioria é vista de maneira pejorativa (DI GUILIO et al., 2012).

Ao avaliar os efeitos no desempenho escolar de crianças e adolescentes, de acordo com os níveis de contaminação, Pereira e Rodrigues (2013) encontraram os efeitos deletérios da contaminação por chumbo, uma vez que as pessoas com elevados níveis de contaminação apresentaram desempenho muito inferior aos demais participantes da pesquisa. Além disso, as crianças apresentaram desempenho inferior ao esperado em sua escolaridade atual. Sendo assim, além dos aspectos ambientais, a qualidade de vida das pessoas afetadas por chumbo é alterada, causando efeitos ao longo da vida.

#### 5 MÉTODOS DE REMEDIAÇÃO DE COMPARTIMENTOS AMBIENTAIS

Com essa quantidade de chumbo sendo liberada para o ambiente constantemente, métodos de recuperação de áreas contaminadas já foram desenvolvidos, como o tratamento de águas industriais, escavação, incineração e remoção física de poluentes, filtros para fumaça, dentre outros. Porém, como a maioria desses métodos é altamente onerosa e demanda alta tecnologia, muitas vezes seu uso fica restrito apenas a países desenvolvidos ou grandes corporações (PILON-SMITS, 2005).

A técnica de fitorremediação consiste no uso de plantas para remoção ou estabilização de contaminantes, por meio de processos físicos e químicos de ocorrência natural nas próprias plantas (GRATÃO et al., 2005; GONÇALVES Jr. et al., 2014). Além disso, a fitorremediação apresenta como vantagens o baixo custo, melhoria visual do ambiente a ser tratado, reduzido impacto ambiental, fácil manuseio e controle das plantas empregadas, possibilidade de utilizar culturas que possuem

sistemas de cultivos mecanizados e, posterior à colheita, pode ser realizada a reciclagem dos materiais (LAMEGO; VIDAL, 2007)..

Quanto à fitorremediação de chumbo, entende-se como fitorremediadora uma planta que acumule no mínimo  $1 \text{ mg kg}^{-1}$  (RASKIN et al., 1994). De acordo com Gonçalves Jr. et al., (2014), a fitorremediação pode ser dividida em cinco processos distintos, sendo eles a fitoextração, (hiperacumulação) fitoestabilização, rizofiltração, fitotransformação e fitovolatilização.

A técnica de fitoextração se aplica basicamente pelo uso de plantas hiperacumuladoras e geralmente transgênicas, por meio da absorção pelas raízes para posterior translocação e deposição nos tecidos da parte aérea, para posterior remoção da área contaminada (GONÇALVES Jr. et al., 2014). Diferente da fitoextração, a fitoestabilização não remove o contaminante do ambiente, ela apenas trabalha a estabilização e a imobilização, reduzindo assim sua mobilidade dentro dos sistemas, impedindo sua dispersão e alterando a sua biodisponibilidade para outros organismos (SCHNOOR, 2002; GONÇALVES Jr. et al., 2014).

Pouco menos utilizada, a rizofiltração consiste na utilização de plantas com o objetivo de absorver, filtrar ou reduzir os níveis dos elementos contaminantes no solo, principalmente metais pesados e pesticidas, utilizando basicamente o sistema radicular (RAI, 2009). A fitotransformação está relacionada com o uso de plantas capazes de submeter os contaminantes a processos de bioconversão, processos esses capazes de degradar poluentes orgânicos, transformando-os em moléculas simples de baixa toxicidade, que em alguns casos podem até serem utilizados pelas próprias plantas em seu desenvolvimento (GONÇALVES Jr. et al., 2014).

No processo de fitovolatilização, a planta executa a função de intermediário entre o solo e a atmosfera, executando a remoção dos poluentes por meio da biodegradação na rizosfera. Esse composto é translocado pelos vasos condutores e então liberado pela superfície das folhas nos processos de respiração (GONÇALVES Jr. et al., 2014).

Outro meio de remediação utilizado principalmente em corpos hídricos, a adsorção, consiste na retenção seletiva de moléculas por quelatização, troca iônica ou microprecipitação nos sítios de ligação presentes nos adsorventes, tornando-os indisponíveis para plantas ou organismos vivos. Entre os métodos convencionais para descontaminação é considerado um processo de grande eficiência (NACKE et al., 2013b).

A adsorção pode ser utilizada em compostos orgânicos e inorgânicos e apresenta grande viabilidade quando comparada a outros mecanismos, devido principalmente a sua elevada capacidade adsortiva, baixo custo e alta relação custo-benefício (SCHWANTES et al., 2013)

### **5.1 Alternativas de fitorremediação de compartimentos ambientais contaminados por chumbo**

Diversos trabalhos foram elaborados para verificar a eficiência de espécies vegetais na remediação de chumbo Boonyapookana et al. (2005), trabalhando com três espécies: girassol (*Helianthus annuus*), tabaco (*Nicotiana tabacum*) e capim vetiver (*Vetiveria zizanioides*), demonstraram o potencial que ambas as espécies possuem como fitoextratoras, uma vez que todas elas apresentaram elevados teores de chumbo concentrados em folhas e caules. Porém, para a remediação de chumbo, esses autores destacaram principalmente o *H. annuus*, devido ao fato de atender os requisitos necessários de plantas apresentados anteriormente.

Outros autores (PRASAD; FREITAS, 2003) também verificaram a eficiência das plantas de girassol para a extração de chumbo em solos contaminados, chegando a acumular até  $5 \text{ g kg}^{-1}$  de chumbo na matéria seca. Além desse destaque, também comprovaram a eficiência da mostarda indiana (*Brassica juncea*) como uma das espécies mais estudadas e de sucesso na fitoextração de áreas contaminadas (SCHMIDT, 2003).

Alguns resultados chamam a atenção devido em especial as principais finalidades das plantas fitorremediadoras, sendo a ervilha (*Pisum sativum*) e o milho (*Zea mays*) muito eficientes para a remoção de chumbo (PRASSAD; FREITAS, 2003). Tassi et al., (2003) encontraram a concentração em cerca de 3 mg kg<sup>-1</sup> de chumbo na parte aérea do milho.

Plantas de mucuna-preta (*Stizolobium aterrimum*), apesar de não extraírem grandes quantidades de chumbo do solo para serem consideradas fitoextratoras, desenvolvem-se em ambientes altamente contaminados e, devido a propriedades associativas com micorrizas e outros microrganismos, podem ser classificadas como fitoestabilizadoras (SOUZA et al., 2011).

Trabalhando com plantas de feijão-de-porco (*Canavalia ensiformes*), Romeiro et al. (2007) observaram concentrações de até 112 mg kg<sup>-1</sup> de chumbo nos tecidos das plantas quando cultivadas em soluções contaminadas. Também Freire (2005) encontrou nos tecidos da espécie *Melissa officinalis* concentrações entre 1,4 a 1,8 mg kg<sup>-1</sup> de chumbo em suas folhas, inferindo que essas plantas, além de apresentarem elevada tolerância ao metal, possuem excelentes características extratoras de chumbo. A Tabela 4 apresenta algumas culturas em ambientes contaminados com chumbo, os respectivos níveis de chumbo nos solos e presentes nos tecidos da sua parte aérea, representando a possibilidade de uso na remediação desses ambientes por meio da fitoextração.

Tabela 4 - Concentração de chumbo na parte aérea de algumas espécies cultivadas sob diferentes níveis de chumbo no solo

Cultura	Chumbo no solo (mg kg <sup>-1</sup> )	Chumbo nos tecidos (mg kg <sup>-1</sup> )	Referência
Milho	2.500	100	HUANG et al., (1997)
Ervilha	2.500	100	HUANG et al., (1997)
Repolho	10.600	126	SHEN et al., (2002)
Trigo	10.600	80	SHEN et al., (2002)
Mostarda indiana	550	13	TASSI et al., (2003)
	600	2	BLAYLOCK et al., (1997)
Tremoço branco	550	8	TASSI et al., (2003)
Nabo	1.110	100	LESTAN; GRCMAN, (2002)

Fonte: Pereira (2005).

Além desses resultados, diversas espécies também merecem destaques, devido ao potencial que apresentam na fitoextração, como a grama alpina (*Thlaspi caerulescens*) (COSIO et al., 2004), a grama estreita (*Thlaspi rotundifolium*) (PRASAD; FREITAS, 2003), espécies do gênero *Euphorbia* (MALAYERI, et al., 2005) e o capim vetiver ou de cheiro (*Chrysopogon zizanioides*) (ACCIOLY; SIQUEIRA, 2000).

Em meio aquático, a fitorremediação pode ser estabelecida uma vez que plantas aquáticas também podem realizar essas reações, principalmente por meio da fitoextração, em que se retiram os contaminantes da água e os alojam-se em seus tecidos (GONÇALVES, Jr.; SELZLEIN; NACKE, 2009).

Estudos recentes indicam que biomassas de macrófitas aquáticas, tais como *Potamogeton lucens*, *Salvinia* sp. e *Eichornia crassipes*, possuem alta capacidade de acumular íons metálicos. Esses materiais possuem extensa funcionalidade, uma vez que podem suportar vários ciclos de sorção e dessorção e podem ser usados em processos similares aos utilizados para carvão ativado e resinas de troca iônica para os corpos hídricos (GONÇALVES Jr. et al., 2008).

Dentre todas essas espécies, o aguapé (*Eichornia crassipes*) vem apresentando resultados satisfatórios na remediação de chumbo, sendo encontrados valores de até 248 mg g<sup>-1</sup> quando cultivados em ambientes contaminados (GONÇALVES, Jr.; SELZLEIN; NACKE, 2009; SILVA et al., 2014).

## 5.2 Adsorção em meios aquáticos contaminados com chumbo

Várias metodologias são conhecidas para a descontaminação de corpos hídricos contaminados com metais pesados, destacando-se os processos físico-químicos de precipitação, troca iônica, extração por solventes e outros (JIMENEZ et al., 2004). Dentre esses, o uso de adsorventes naturais (biossorventes) tem sido incentivado devido a sua alta disponibilidade e acessibilidade, e propriedades como eficiência e alta competitividade em relação às resinas de troca iônica e carvão ativado, podendo ser utilizados como adsorventes que promovem a retenção seletiva e reversível de cátions metálicos presentes nos efluentes industriais (SCHWANTES et al., 2013).

Dentre os biossorventes estão os microorganismos e vegetais (casca, bagaço, semente), que apresentam a capacidade de acumular metais pesados, sendo adsorventes resíduos da indústria da mandioca (SCHWANTES et al., 2013), casca de pinus (STREY et al., 2013), pinhão manso (NACKE et al., 2013), assim como torta de Crambe (RUBIO et al., 2013) e torta de Moringa (MENEGHEL et al., 20013), que, também disponibilizam óleos para outras finalidades, representando uma fonte secundária de lucro, além da melhoria do ambiente no qual vivemos e do qual somos dependentes.

## 6 CONCLUSÃO

Baseado nas informações existentes na literatura nacional e internacional, algumas inferências devem ser feitas. A contaminação por chumbo é algo comumente encontrado na atualidade, pois diversos ramos industriais realizam esses processos. As normas legais relacionadas à fiscalização ainda apresentam brechas, que representam uma permissibilidade e possibilidade de novas contaminações.

A toxicidade do chumbo para plantas, animais e humanos apresenta sérios riscos à saúde e ao desenvolvimento, tendo inúmeros casos de contaminação apresentado danos inestimáveis aos envolvidos. Para evitar esses incidentes, fica possível a elaboração de planos de manejos para a fitorremediação de ambientes contaminados, uma vez que tanto culturas de verão como de inverno possuem características remediadoras e possibilitam seu cultivo sucessivo ou até mesmo consorciado.

Assim como o uso de plantas na adsorção e remediação dos meios aquáticos, uma vez que o uso de adsorventes naturais possibilita essa prática em áreas de baixa tecnologia e alta relação custo-benefício.

## REFERÊNCIAS

- ACCIOLY, A. M. A.; SIQUEIRA, J. O. Contaminação química e biorremediação do solo. In: NOVAIS, R. F. de; ALVAREZ V., V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. (Eds). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: SBCS, v.1, 2000.
- ALLOWAY, B. J. **Heavy metals in soils**. 2 ed. New York: Blackie Academic & Professional, 1995. 368 p.
- ALVES, J. DO C.; SOUZA, A. P. de; PÔRTO, M. L.; ARRUDA, J. A. de; JÚNIOR, U. A. T.; SILVA, G. B. da; ARAÚJO, R. da C.; SANTOS, D. A. Adsorção e distribuição de chumbo em plantas de vetiver, jureminha e algaroba. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1329-1336, 2008.

ANDRADE, M. G. M.; VANDER DE FREITAS, G. J.; SOUZA, L. C. P.; REISSMANN, C. B. Metais pesados em solos de área de mineração e metalurgia de chumbo: I - Fitoextração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33 n.6, p.1879-1888, 2009.

ANTUNES, P. B. **Direito ambiental**. 10ª ed. Rio de Janeiro: Lumen Juris, 2007. 988 p.

ANTUNES, P. B. **Política Nacional do Meio Ambiente – PNMA: Comentários à Lei 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Rio de Janeiro: Lumen Juris, 2005.

ARAYA, M.; GROHNERT, M. O.; PIZARRO, F. **Cobre: Saúde, desenvolvimento e novas tecnologias**. 2009, 126 p.

ATSDR - AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY. **CERCLA priority list of hazardous substances**. Atlanta, GA: U.S Department of Public Health and Human Services, Public Health Service, 2005.

ATSDR - AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY. **Toxicological Profile for lead**. Atlanta, GA: U.S Departmente of Public Health and Human Services, Public Health Service, 2007. 20 p.

AVILA-CAMPOS, M. J. **Metais Pesados e seus Efeitos**. Disponível em: <[http://www.mundodoquimico.hpg.ig.com.br/metais\\_pesados\\_e\\_seus\\_efeitos.htm](http://www.mundodoquimico.hpg.ig.com.br/metais_pesados_e_seus_efeitos.htm)>. Acesso em: 24 de Março de 2014.

BECHARA, E. **Uma contribuição ao aprimoramento do instituto da compensação ambiental previsto na Lei 9.985/2000**. Tese de Doutorado em Direito. PUC-SP, 2007. P. 352.

BLAYLOCK, M. J.; SALT, D. E.; DUSHENKOV, S.; ZAKHAROVA, O.; GUSSMAN, C.; KAPULNIK, Y.; ENSLEY, B. D.; RASKIN, I. Enhanced accumulation of Pb in Indian Mustard by soil-applied chelating agents. **Environmental Science Technology**, v.31, p.860-865, 1997.

BOCCHI, N.; FERRACIN, L. C.; BIAGGIO, S. R. Pilhas e Baterias: Funcionamento e Impacto Ambiental. **Química Nova na Escola**, v.11, p.3-9, 2000.

BOONYAPOOKANA, B.; PARKPIAN, P.; TECHAPINYAWAT, S.; DELAUNE, R. D.; JUGSUJINDA, A. J Phytoaccumulation of lead by sunflower (*Helianthus annuus*), tobacco (*Nicotiana tabacum*), and vetiver (*Vetiveria zizanioides*). **Environmental Science Health A Toxical Hazard Substancies Environmental Engineer**, v.40, n.1, p.117-37, 2005.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria n° 1.469**, Brasília, DF, 2000, 39p.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria n° 2.194**, Brasília, DF, 2011a, 33p.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria n° 518**, Brasília, DF, 2004. 28 p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução n° 20**, Brasília, DF, 1986.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução n° 357**, Brasília, DF, 2005, 23p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução n° 430**. Brasília, DF, 2011b, 8p.

BRASIL. **Resolução**. Conselho Nacional do Meio Ambiente CONAMA. Resolução n°. 420, de 28 de dezembro de 2009. Diário Oficial, 30 dez. 2009. p.81-84.

CDC - Centers for Disease Control and Prevention. **LEAD**. 2012. Disponível em <<http://www.cdc.gov/niosh/topics/lead/>>. Acesso em 14 Fevereiro de 2014.

CHANEY, R. L. Health risks associated with toxic metals in municipal sludge. In: BITTON, G. et al. (Ed.). **Sludge health risks of land application**. Ann Arbor: Ann Arbor Science, 1980, p. 59-83.

COSIO, C.; MARTINOIA, E.; KELLER, C. Hyperaccumulation of heavy metal in *Thlaspi caerulescens* and *Arabidopsis halleri* at the leaf cellular level. **Plant Physiology**, v.134, p.716-725, 2004.

DI GIULIO, G. M.; FIGUEIREDO, B. R.; FERREIRAI, L. C.; ANJOS, J. A. S. A. Experiências brasileiras e o debate sobre comunicação e governança do risco em áreas contaminadas por chumbo. **Ciência saúde coletiva**, v.17, n.2, p.337-349, 2012.

FERNANDES, J. D.; DANTAS, E. R. B.; BARBOSA, J. N.; BARBOSA, E. A. Estudo de impactos ambientais em solos: o caso da reciclagem de baterias automotivas usadas, tipo chumbo-ácido. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, v.7, n.1, p.231-255, 2011.

FREIRE, M. F. I. Metais pesados e plantas medicinais. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, v.1 p.4-8, 2005.

GERHARDT, K. E.; XIAO-DONG, H.; GLICK B. R.; GREENBERG, B. M. Phytoremediation and rhizoremediation of organic soil contaminants: potential and challenges. **Plant Science** v.176, p.20-30, 2009.

GONÇALVES Jr., A. C.; NACKE, H.; SCHWANTES, D.; COELHO, G. F. Heavy Metal Contamination in Brazilian Agricultural Soils due to Application of Fertilizers. In: HERNANDEZ-SORIANO, M. C. (Ed.). **Environmental Risk Assessment of Soil Contamination**. Ed. Intech Open, 2014. p.

GONÇALVES JUNIOR, A. C.; LINDINO, C. A.; ROSA, F. A.; BARICCATTI, R.; GOMES, G. D. Remoção de metais pesados tóxicos cádmio, chumbo e cromo em biofertilizante suíno utilizando a macrófita aquática (*Eichornia crassipes*) como bioindicador. **Acta Scientiarum. Technology**, v.30, n.1, p.914, 2008.

GONÇALVES, Jr. A. C.; SELZLEIN C.; NACKE H. Uso de biomassa seca de aguapé (*Eichornia crassipes*) visando à remoção de metais pesados de soluções contaminadas. **Acta Scientiarum Technology**, v. 31, p. 103-108, 2009.

GRATÃO, G. P.; PRASAD, M. N.; VARA, C. P. F.; LEA P. J.; AZEVEDO R. A. Phytoremediation: green technology for the clean up of toxic metals in the environment. **Brazilian Journal Plant Physiology**, v.17, n.1, p. 53-64, 2005.

HOBBS, T. **Leviathan: Or the matter, forme and power of a commonwealth ecclesiasticall and civil**. 1651.

HUANG, J. W.; CHEN, J.; BERTI, W. R.; CUNNINGHAM, S. D. Phytoremediation of lead-contaminated soils: role of synthetic chelates in lead phytoextraction. **Environmental Science Technology**, v.31, p.800-805, 1997.

IAB - Instituto Aço Brasil. **Número de mercado - Estatísticas**. Disponível em: <<http://www.acobrasil.org.br/site/portugues/numeros/estatisticas.asp>>. Acesso em: 04 de Abril de 2014.

IISI - International Iron and Steel Institute. **The management of steel plant ferruginous by products**. Brussels: IISI, 1994. 50p.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soil and plants**. 3 rd ed. Boca Raton: CRC Press, 2001. 403 p.

LAMEGO, F. P.; VIDAL, R. A.; Fitorremediação: plantas como agentes de despoluição? **Pesticidas: Revista ecotoxicologia e meio ambiente**, v.17, n.1, p. 9-18, 2007.

LESTAN, D.; GRGMAN, H. Chelate enhanced Pb phytoextraction: plant uptake, leaching and toxicity. **WCSS**, Thailand, 2002.

MACHADO, P. A. L. Direito ambiental brasileiro. 9ª ed. São Paulo: Malheiros, 2001.

MALAYERI B, CHEHREGANI A, MOHSENZADEH F. Effect of heavy metals on the development stages of ovule and embryonic sac in *Euphorbia cheiradenia*. **Pakistan Journal of Biological Sciences**, v.8, p.622–625, 2005.

MARAGON, M.; PRESZNHUK, R.; SORDI, R. F.; AGUDELO, L. P. P. Indicadores de sustentabilidade como instrumento para avaliação de comunidades em crise: aplicação à comunidade de serra negra. **Revista de Educação e Tecnologia**, 2005. 23 p.

MENEGHEL, A. P. ; GONÇALVES Jr., A. C. ; TARLEY, C. R. T. ; STANGARLIN, J. R. ; RUBIO, F. ; NACKE, H. Studies of Pb adsorption by Lam. seeds from an aqueous medium in a batch system. **Water Science and Technology**, v. 69, p. 163-169, 2014.

MME - Ministério de Minas e Energias. **Cadeia do CHUMBO**. Relatório Técnico 66. 30 p.

MONTEIRO, M. F. Lixo tóxico vira matéria prima. **Repórter Brasil**, São Paulo, 17 outubro 2005. Disponível em <<http://www.reporterbrasil.com.br/exibe.php?id=171>>. Acesso em 05 fevereiro 2014.

MONTEIRO, R. A. **Avaliação do potencial de adsorção de U, Th, Pb, Zn e Ni pelas fibras de coco**. 2009. Dissertação(Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear – Materiais. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 2009. 86 p.

NACKE, H. ; GONÇALVES Jr., A. C. ; COELHO, G. F. ; STREY, L. ; LAUFER, A. . Renewable energy technologies: Removal of cadmium from aqueous solutions by adsorption on Jatropha biomass. In: Helena Bártolo; José Pinto Duarte. (Org.). **Green Design, Materials and Manufacturing Processes**. 1ed.Boca Raton: CRC Press Taylor & Francis Group, 2013, v. , p. 367-372.

NACKE, H.; GONÇALVES JR.; SCHWANTES, D.;COELHO, G. F.; SILVA, M. R.; PINHEIRO, A. Use of Jathropha curcas biomass for adsorption of glyphosate in water. In: BÁRTOLO et al. (Eds) **Green Design, Materials and Manufacturing Processes**. Ed. CRC Press - Balkema, 2013b. p.361-367.

NGA, P.; FERNANDES, R. M.; VARENNES, A.; VALLINI, G.; ELIZABETH DUARTE, E.; CUNHA-QUEDA, A. C. Utilização de *Lolium Perenne* L. na fitoestabilização controlada de solos degradados por atividades mineiras. **Revista de Ciências Agrárias**. v.34, n.2, p.117-130, 2011.

OKOYE , A. L.; EJKEME, P. M.; ONUKWALI, O. D. Lead removal from wastewater using fluted pumpkin seed shell activated carbon: Adsorption modeling and kinetics. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v.7, n.4, p.793800, 2010.

PAIVA, H. N. **Toxidez de Cd, Ni, Pb e Zn em mudas de Cedro (*Cedrela fissilis* Vell.) e Ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosa* (Mart.) Standl.)**. Tese de Doutorado em Agronomia. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2000.

PAOLIELLO, M. M. B. **Ecotoxicologia do chumbo e seus compostos**. Cadernos de referência ambiental; v. 3. Salvador: CRA, 2001. 144 p.

PASEL, C.; WANZL, W. Experimental investigations on reactor scale-up and optimization of product quality in pyrolysis of shredder waste. **Fuel Processing Technology**, v.80, n.1, p.47-67, 2003.

- PEREIRA, B. F. F. **Potencial fitorremediador das culturas de feijão-de-porco, girassol e milho cultivadas em Latossolo vermelho contaminado com chumbo.** Dissertação de mestrado em agronomia, IAC, Campinas, 2005. 89 p.
- PEREIRA, V. A.; RODRIGUES, O. M. P. R. Contaminação crônica por chumbo e implicações no desempenho escolar. **Psico**, v.44, n.4, p.571-580, 2013.
- PILON-SMITS, E. Phytoremediation. **Annual Review of Plant Biology**, v.56, p.15-39, 2005.
- PRASAD, M. N. V.; FREITAS, H. Metal hyperaccumulation in plants – Biodiversity prospecting for phytoremediation technology. **Electronic Journal of Biotechnology**, v.6, n.3, p.285-231, 2003.
- RAI, P. K. Heavy metal phytoremediation from aquatic ecosystems with special reference to macrophytes. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v.39, n.697-753, 2009.
- RASKIN, I.; KUMAR, P. B. A. N.; DUSHENKOV, S.; SALT, D. E. Bioconcentration of heavy metals by plants. **Current opinions in Biotechnology**, v.5, p.285-290, 1994.
- ROMEIRO, S.; LAGÔA, A. N. M. A.; FURLANI, P. R.; ABREU, C. A. PEREIRA, B. F. F. Absorção de chumbo e potencial de fitorremediação de *Canavalia ensiformes*. **Bragantia**, v.66, n.2, p.327-334, 2007.
- RUBIO, F. ; GONÇALVES Jr., A. C. ; STREY, L. ; MENEGHEL, A. P. ; COELHO, G. F. ; NACKE, Herbert . Applicability of *Crambe abyssinica* Hochst byproduct as biosorbent in the removal of chromium from water. **Spanish Journal of Rural Development**, v.4, p. 25-40, 2013.
- SANTOS, T. J.; ZAMPIERON, S. L. M.; ZAMPIERON, J. V. Biomonitoramento do chumbo, via espectroscopia por energia dispersiva, em plantas medicinais. **Revista Agrogeoambiental**, v. 5, n. 1, p. 27-36, abr. 2013.
- SCHMIDT, U. Enhancing phytoremediation: The effect of chemical soil manipulation on mobility, plant accumulation, and leaching of heavy metals. **Journal Environmental Quality**, v.32, p.1939-1954, 2003.
- SCHNOOR, J. L. **Phytoremediation of soils and groundwater.** Ground-water Remediation technologies Analysis Center, 2002.
- SCHWANTES, D., GONÇALVES Jr., A. C., COELHO, G. F., CASARIN, J., STANGARLIN, J. R., PINHEIRO, A. Reuse and recycling techniques: Equilibrium of the adsorption process of Glyphosate using wastes from the cassava industry. In: **Green Design, Materials and Manufacturing Processes**.1 ed. Boca Raton : CRC Press Taylor & Francis Group, 2013, p. 423-428.
- SHEN, Z. G.; LI, X. D.; WANG, C. C.; CHEN, H. M.; CHUA, H. Lead phytoextraction from contaminated soil with high-biomass plant species. **Journal of Environmental Quality**, v.31, p.1893-1900, 2002.
- SILVA, A. D. R.; SANTOS, R. B.; BRUNO, A. M. S. S. GENTELINI, A. L.; SILVA, A. N. G.; SOARES E. C. Eficiência do aguapé sobre variáveis limnológicas em canais de abastecimento utilizados no cultivo de tambaqui. **Acta Amazonia**, v.44, n.2, p. 255-262, 2014.
- SILVA, M. L. S.; VITTI, G. C. Fracionamento de metais pesados em solo contaminado antes e após cultivo de arroz. **Química Nova**, v. 31, n. 6, p. 1385-1391, 2008.
- SILVA, M. L. S.; VITTI, G. C.; TREVIZAM, A. R. Concentração de metais pesados em grãos de plantas cultivadas em solo com diferentes níveis de contaminação **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 4, p. 527-535, 2007.

SOARES, C. R. F. S.; ACCIOLY, A. M. A.; MARQUES, T. C. L. L. S. M.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. Acúmulo e distribuição de metais pesados nas raízes, caule e folhas de mudas de árvores em solo contaminado por rejeitos de indústria de zinco. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.13, p.302-315, 2001.

SOUZA, L. A.; ANDRADE, S. A. L.; SOUZA, S. C. R.; SCHIAVINATO, M. A. Tolerância e potencial fitorremediador de *Stizolobium aterrimum* associada ao fungo micorrízico arbuscular *Glomus etunicatum* em solo contaminado por chumbo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, n.4, p.1441-1451, 2011.

STREY, L.; GONÇALVES Jr., A. C.; SCHWANTES, D.; COELHO, G. F.; NACKE, H.; DRAGUNSKI, D. Reuse and recycling techniques: Kinetics, equilibrium and thermodynamics of cadmium adsorption by a biosorbent from the bark of *Pinus elliottii*. In: Helena Bártolo; José Pinto Duarte. (Org.). **Green Design, Materials and Manufacturing Processes**. 1ed. Boca Raton: CRC Press Taylor & Francis Group, 2013, 1 Edicion, p. 433-436.

TARLEY, C. R. T.; ARRUDA, M. A. Z. Adsorventes naturais: potencialidades e aplicações da esponja natural (*Luffa cylindrica*) na remoção de chumbo em efluentes de laboratório. **Revista Analytica**, n.4, p. 25-31, 2003.

TASSI, E.; BARBAFIERI, M.; RIZZI, L. PETRUZZELLI, G. Phytoextraction of Pb and As by *Lupinus albus* and *Brassica juncea* in microcosm tests. **Workshop "Phytoremediation of toxic metals"**. Stockholm, Sweden, 2003. 2 p.

TAVARES, T. M.; CARVALHO, F. M. Avaliação de exposição de populações humanas a metais pesados no ambiente: Exemplo do Recôncavo Baiano. **Química Nova**, v.15, n.2, p.147-154, 1992.

ZHANG, G. L., YANG, F. G.; ZHAO, Y. G.; ZHAO, W. J.; YANG, J. L.; GONG, Z.T. Historical change of heavy metals in urban soils of Nanjing, China during the past 20 centuries. **Environment International**, v.31, p.913-919, 2005.