

# Descontaminação e monitoramento de águas e solos na região amazônica utilizando materiais adsorventes alternativos, visando a remoção de metais pesados tóxicos e pesticidas

## Affonso Celso Gonçalves Júnior

Pós-Doutor pela Universidade de Santiago de Compostela (USC) Espanha. Pós-Doutor pela Universidade Federal de Goiás (UFG) – Goiânia, GO - Brasil. Doutor em Química pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) – Florianópolis, SC - Brasil. Professor da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste) Campus de Marechal Cândido Rondon, Centro de Ciências Agrárias, Laboratório de Química Ambiental e Instrumental - Marechal Cândido Rondon, PR – Brasil.

*E-mail:* affonso133@hotmail.com

## Resumo

Um dos principais responsáveis pelo comprometimento da qualidade dos recursos ambientais é o elevado desenvolvimento industrial e agropecuário ocorrido nos últimos anos, e a contaminação por metais tóxicos e agrotóxicos é preocupante principalmente por não serem biodegradáveis. Outro fator agravante é a possível bioacumulação ao longo da cadeia alimentar, podendo causar vários distúrbios e alterações inclusive ao homem. Como exemplo de metais tóxicos tem-se o cádmio (Cd), o chumbo (Pb) e o cromo (Cr), além dos pesticidas organoclorados e organofosforados. Por essa razão, o tratamento e/ou a remoção dos íons metálicos e moléculas de pesticidas presentes nas diversas atividades antrópicas, antes que atinjam os compartimentos ambientais (solos e águas), são fundamentais para que os danos aos sistemas agrícolas e aquáticos sejam evitados. Alguns métodos convencionais para a remoção de contaminantes em solos e águas, tais como fitorremediação, biorremediação, precipitação química, troca iônica e processo de adsorção com carvão ativado, nem sempre são considerados adequados e eficientes, por apresentarem custo elevado e tecnologia inacessível para a maioria das indústrias ou pelo fato de gerarem grandes quantidades de resíduos. Diante disso, práticas de adsorção utilizando materiais alternativos vêm sendo propostas para o tratamento de compartimentos ambientais visando metodologias simples, de baixo custo e enfatizando o uso de resíduos vegetais,

microrganismos e resíduos agroindustriais. Esses materiais são atraentes para a descontaminação ambiental devido à abundância, facilidade de obtenção e custo reduzido. As técnicas de remediação de contaminantes são frequentemente propostas a fim de minimizar os impactos ambientais e os efeitos dos metais tóxicos e pesticidas em compartimentos ambientais. Os adsorventes naturais constituem excelente alternativa para a remediação química, principalmente pelos aspectos **já citados**. O Grupo de Estudos em Solos e Meio Ambiente (Geoma) tem avaliado a utilização de diversos resíduos agroindustriais, tais como sementes de moringa oleífera, crambe, pinhão manso, cascas de mandioca, de castanha do Brasil, de castanha de caju e de pinus, visando a utilização desses materiais como biossorventes alternativos e sustentáveis, com o objetivo de remover metais e pesticidas de compartimentos ambientais.

## Palavras-chave

Adsorção. Biossorventes. Descontaminação de águas e solos. Metais. Pesticidas.

## Decontamination and monitoring of waters and soils in the Amazonian region using alternative adsorbent materials for the removal of toxic heavy metals and pesticides

## Abstract

*One of the main elements responsible for compromising the quality of environmental resources is the high industrial and livestock development in recent past years. Contamination by toxic heavy metals and pesticides is an important concern for not being biodegradable. Another important factor is the possible bioaccumulation along the food chain causing many disorders and alterations even to mankind. The main toxic metals are Cadmium*

*(Cd), lead (Pb) and chromium (Cr). The treatment and/or removal of these metal ions and pesticides molecules from many human activities, before they reach the environmental compartments (soils and waters), are fundamental for preventing harm to agricultural and aquatic systems. Some conventional methods for the removal of contaminants in soils and waters are phyto remediation, bioremediation, chemical precipitation, ion exchange and activate coal adsorption processes, which are not always considered as adequate and efficient. They present high cost and inaccessible technology for the main industries or generate large amount of wastes. The use of alternative materials is proposed for treatment of environmental compartments. It is a simple method of low cost which emphasizes the use of vegetal wastes, microorganisms and livestock wastes. The techniques of contaminant remediation are frequently proposed for minimizing environmental impacts and effects of heavy metals and pesticides on environment compartments. The Soil and Environment Study Group (Sesg) analyzed the use of different agro-industrial wastes, as for example, moringa oleifera seeds, crambe, jatropha, cassava bark, Brazil nuts, cashew nut and Pinus bark, as sustainable and alternative bio-sorbents for removing metal and pesticides from environmental compartments.*

#### **Keywords**

*Adsorption. Bio-sorbents. Metals. Pesticides. Decontamination of water and soils.*

---

## **INTRODUÇÃO**

Os recursos naturais da Amazônia e de todo o planeta, principalmente a água, o solo, a fauna e a flora são elementos fundamentais, já que seus múltiplos usos são indispensáveis ao desenvolvimento de todos os seres vivos.

A preocupação com a poluição desses recursos naturais na região amazônica se deve aos problemas ambientais causados pelas diversas atividades antrópicas. As atividades industriais e agropecuárias contribuem para o aumento da contaminação de águas e solos, e assim, torna-se indispensável um estudo ambiental focado em uma proposição da recuperação desses recursos naturais.

Dentro dos princípios de um desenvolvimento sustentável, tem-se como regra que a química deve manter e melhorar a qualidade de vida. Um caminho viável seria elaborar metodologias e processos para a descontaminação de rios, lagoas, mananciais e solos agricultáveis. Vários processos são utilizados para remoção de metais, agrotóxicos e outros contaminantes, dentre os quais: precipitação química, troca iônica, adsorção em carbono ativado, bioissorção, processo de separação através de membrana e extração com solvente (DEMIRBAS, 2008).

O tratamento inadequado de efluentes industriais e a aplicação indiscriminada de insumos agrícolas (fertilizantes e agrotóxicos) têm contribuído de forma marcante para o agravamento de problemas ambientais, notadamente nos grandes centros urbanos. Como evidência desse fato, destaca-se o destino final dos resíduos industriais, que constitui tarefa potencialmente poluidora do meio ambiente: principalmente águas superficiais e solos. As atividades agropecuárias e os efluentes industriais, humanos e outros, exercem papel preponderante na contaminação do ecossistema terrestre e do ambiente aquático natural. A água e o solo são particularmente vulneráveis à contaminação por vários descartes industriais, inclusive contendo agrotóxicos e metais pesados (SHARMA, 2006). Esses recursos naturais são muito utilizados sendo fundamentais para a existência e manutenção da vida e, portanto, devem estar presentes no ambiente em quantidade e qualidade apropriadas (ALVES, 2006).

A utilização de resíduos agroindustriais na remoção de poluentes em compartimentos ambientais, conhecida como bioissorção, tem sido o centro de grande interesse (FENG et al., 2011), porque providencia importantes vantagens, como o baixo custo do material bioissorvente, reciclagem de um resíduo natural e uma alternativa para remediação de águas contaminadas com produtos químicos, diminuindo assim os impactos ambientais (LEZCANO et al., 2011). Diante disto, muitos estudos têm sido conduzidos para determinar o

melhor método para remoção de metais e pesticidas de compartimentos ambientais e assim, a busca por materiais alternativos que possibilitem a recuperação de efluentes contaminados é de grande importância, e nos últimos anos, a adsorção é aceita como um dos processos mais apropriados para recuperação de águas (HO; MCKAY, 1998), principalmente quando se usam materiais alternativos para remoção do poluente.

Portanto, desde a premiação do projeto em questão, o Grupo de Estudos em Solos e Meio Ambiente (Geoma) tem avaliado a utilização de diversos resíduos agroindustriais, tais como sementes de moringa oleífera, crambe, pinhão manso, cascas de mandioca, castanha do Brasil, castanha de caju e de pinus, visando a utilização desses materiais como biossorventes alternativos e sustentáveis, com o objetivo de remover metais e pesticidas de compartimentos ambientais.

## REFERENCIAL TEÓRICO

### Contaminação de compartimentos ambientais

Não é surpresa que a preocupação com os solos e recursos hídricos contaminados por produtos químicos esteja se tornando um dos principais focos de interesse público mundial (FERNANDES et al., 2011), visto que as demandas pela utilização produtiva dos solos e a necessidade de **água estão se tornando cada vez maiores, sob o impacto do crescimento acelerado da população e do seu maior uso, imposto** pelos padrões de conforto e bem-estar da vida moderna (REBOUÇAS et al., 2002).

### Metais tóxicos

Dentre os poluentes, os metais tóxicos estão entre os mais preocupantes, já que vários processos têm produzido resíduos ricos nesses elementos, tais como mineração e fundição, produção de energia e combustível, aplicações de fertilizantes e pesticidas, indústria metalúrgica, galvanoplastia, eletrólise, fotografias, fabricação de aparelhos elétricos,

etc. (WANG; CHEN, 2009), além de os metais apresentarem toxicidade por não se degradarem de forma natural e acumularem-se nos tecidos vivos, causando vários distúrbios e doenças (IBRAHIM et al., 2010; PEHLIVAN et al., 2008; HORSFALL et al., 2003).

A expressão “metal pesado” aplica-se aos elementos químicos que tem massa específica maior que  $5 \text{ g cm}^{-3}$  ou que possuem número atômico maior que 20 (GONÇALVES Jr. et al., 2000). Como substituto do termo “metais pesados”, Duffus (2002) observa que ultimamente tem-se utilizado a denominação “elementos traço” para caracterizar metais em pequenas concentrações no ambiente e nos seres vivos.

No processo natural, os metais entram no ambiente devido ao intemperismo das rochas, lixiviação de solos e atividade vulcânica. Os metais presentes em minerais e rochas são geralmente formas inofensivas e tornam-se potencialmente tóxicos apenas quando se dissolvem na água (AGUIAR et al., 2002), o que torna a contaminação dos solos e da água com os metais pesados uma das poluições que têm trazido grande preocupação aos pesquisadores e órgãos governamentais envolvidos no controle de poluição (OLIVEIRA et al., 2001).

O acúmulo de metais tóxicos nos tecidos vegetais provoca modificação em vários processos metabólicos da planta, como a redução na taxa fotossintética líquida, acarretando diminuição no crescimento e na produtividade, diminuição na concentração de carboidratos solúveis totais, e ainda, um declínio significativo na concentração de proteínas e atividades enzimáticas, sugerindo uma possível interferência de íons metálicos na síntese de proteínas (ALMEIDA et al., 2007). Nos animais, os metais pesados tóxicos atuam em reações altamente específicas, enzimáticas em sua maioria, e alterações no sistema que envolve essas reações, resultando em efeitos negativos.

Assim, há a preocupação dos países em definir as concentrações de metais pesados que possam

ocorrer em solos, águas e alimentos diversos, diminuindo o risco de intoxicações pela ingestão dos mesmos (GONÇALVES Jr. et al., 2000), além da busca por novas técnicas que permitam a remediação de locais contaminados.

#### *Cádmio (Cd)*

O Cd é um elemento relativamente raro e não é encontrado na natureza em estado puro. Ele está associado principalmente a sulfetos em minérios de Zn, Pb e Cu. Não obstante este fato, sua primeira purificação ocorreu em 1817, mas somente após 50 anos suas aplicações industriais começaram a ser difundidas (BURGUERA et al., 1998; CARDOSO; CHASIN, 2001). O Cd é considerado um elemento altamente tóxico, sendo descrito como um dos metais pesados mais perigosos de todos, exercendo efeitos sobre os rins, o sistema esquelético e o sistema respiratório dos seres humanos, além de ser classificado como carcinógeno (BAYRAMOGLU; ARICA, 2011; STRUMYLAITE et al., 2011).

Dentre as atividades antropogênicas que liberam Cd no ambiente, destacam-se as descargas atmosféricas devido a operações industriais, vazamentos de aterros sanitários e locais contaminados, uso de lodos de esgoto e fertilizantes na agricultura.

#### *Chumbo (Pb)*

O Pb é o metal pesado tóxico presente em maior quantidade na crosta terrestre, tendo uma concentração média entre 10 e 20 mg kg<sup>-1</sup> (PAOLIELLO; CHASIN, 2001). As taxas de emissão natural de Pb são decorrentes de emissões vulcânicas, intemperismo geoquímico e das névoas aquáticas. Mas as atividades antrópicas são as principais responsáveis pela liberação desse elemento no ambiente (WHO, 1995; ATSDR, 1993). O Pb é um metal bastante versátil quanto ao seu emprego em produtos industriais, e pode ser endurecido por meio da adição de outros metais e ser utilizado como liga metálica, produzindo componentes, soldas e outros materiais, além de ser capaz de formar vários compostos empregados

na indústria química (KREUSH, 2005). Devido à versatilidade e à ampla utilização de Pb e seus compostos, esse metal é encontrado poluindo o solo, a água e o ar, o que provoca a contaminação dos seres vivos, devido ao seu efeito bioacumulativo, associado a toda cadeia trófica.

No organismo o Pb acumula-se principalmente nos ossos, cérebro, rins e músculos, podendo causar muitas moléstias graves, como anemia, doenças renais, distúrbios nervosos, infertilidade feminina e até a morte. Os mecanismos de toxicidade desse elemento envolvem processos bioquímicos fundamentais, que incluem a habilidade do chumbo de inibir ou imitar a ação do cálcio e de interagir com proteínas, sendo o processo irreversível (GOLIN, 2007; MOREIRA; MOREIRA, 2004; LO et al., 1999).

#### *Cromo (Cr)*

O amplo uso do Cr tem transformado esse metal em um sério poluente do ar, do solo e da **água** (BAYRAMOGLU; ARICA, 2011). Cerca de 70% da produção de Cr é usada em ligas, incluindo aço inoxidável, e 15% em processos químicos industriais, principalmente no curtimento de couro, pigmentos, eletroquímica e em torres de resfriamento (CERVANTES et al., 2001). A toxicidade do Cr depende do seu estado de oxidação. Enquanto o Cr<sup>3+</sup> é **relativamente** estável e imóvel, o Cr<sup>6+</sup> move-se facilmente através dos solos e ambientes aquáticos, tornando-se forte agente oxidante capaz de ser absorvido até mesmo pela pele, sendo considerado uma espécie carcinogênica (KUMRAL, 2007, SMITH; GADD, 2000; ATSDR, 2000). Acredita-se que um dos fatores que contribui para a elevada toxicidade seja a grande habilidade do Cr<sup>6+</sup> em penetrar nas células, pois este existe como ânion cromato tetraédrico em pH fisiológico e assemelha-se a outros ânions naturais como sulfato e fosfato, permeáveis através dos canais da membrana celular; **já o Cr<sup>3+</sup>** forma complexos octaédricos e não pode penetrar facilmente através dos canais (ATSDR, 2000).

## Agrotóxicos

A indústria química e em particular a de pesticidas ou agrotóxicos tem sido responsável pela geração de centenas de princípios ativos e outros tantos milhares de metabólitos que acabam se dispersando no ambiente. Segundo Young (1987), menos de 0,1% dos pesticidas aplicados atingem as pragas alvo, de tal modo que grandes quantidades desses produtos acabam contaminando o solo, as águas, o ar e os seres vivos.

No passado, os organismos indesejáveis à agricultura eram controlados por meio da aplicação de pequeno número de compostos inorgânicos à base de cobre e arsênico, além de alguns inseticidas de ocorrência natural, como as piretrinas (OLIVEIRA; JADOSKI, 2006). Após a descoberta do DDT e sua propriedade inseticida, foi iniciada a expansão e o desenvolvimento de uso de agrotóxicos que passaram a ser amplamente utilizados.

Esses produtos aumentaram a produtividade agrícola e auxiliaram no controle de diversas doenças. Entretanto, seu uso desordenado e excessivo vem provocando diversos impactos sobre o meio ambiente. Dentre os efeitos nocivos ao ambiente, observa-se a presença de resíduos no solo, na água, no ar, nas plantas e animais. Além disso, tais resíduos podem chegar ao homem através da cadeia alimentar, ocasionando danos à saúde. Os agrotóxicos podem alcançar os ambientes aquáticos por meio da aplicação intencional, deriva e escoamento superficial a partir de áreas onde ocorreram aplicações.

A lixiviação dos agrotóxicos através do perfil dos solos pode ocasionar a contaminação de lençóis freáticos e, portanto, além de afetar os próprios cursos de água superficiais, os agrotóxicos podem alcançar os lençóis freáticos, cuja descontaminação apresenta grande dificuldade (TOMITAL; BEYRUTH, 2002). Se compararmos um solo de característica arenosa a um solo de característica argilosa, certamente os teores de agrotóxicos terão maior lixiviação e percolação no

perfil do solo arenoso, e isto pode ser explicado pela baixa capacidade de troca catiônica (CTC) dos solos arenosos. (GONÇALVES Jr., 2000).

O modelo de produção agrícola predominante em que se utiliza o uso excessivo e inadequado de agrotóxicos organoclorados e organofosforados, promovendo a destruição da cobertura vegetal dos solos para plantio, a não preservação das matas ciliares e das vegetações protetoras de nascentes, dentre outros fatores, são responsáveis por grande parte dos problemas com os recursos hídricos (ROSA, 1998). Hoje existem cerca de 600 princípios ativos de agrotóxicos e 50 mil formulações comerciais, utilizadas principalmente no combate de doenças, na agricultura e nas áreas urbanas para controle sanitário. Os resíduos de algumas dessas substâncias que contaminam o ambiente e a cadeia alimentar podem ser bioacumulados, biomagnificados e biotransformados.

## Remediação de compartimentos ambientais

O monitoramento de espécies químicas consideradas poluentes é fundamental para o conhecimento dos mecanismos e processos que têm lugar no ecossistema, envolvendo o meio ambiente. Dentro deste contexto, é inquestionável o papel das ciências ambientais em atuar na área de monitoramento de contaminantes fornecendo métodos analíticos que sejam eficientes, rápidos e precisos (VIJAYARAGHAVAN, 2009). Devido à relevância toxicológica dos metais tóxicos e dos agrotóxicos, bem como das fontes potenciais de introdução deles no ambiente, torna-se necessária, a busca pelo desenvolvimento de metodologias simples e de baixo custo, que permitam removê-los do meio ambiente.

Além do acompanhamento da qualidade dos compartimentos ambientais, faz-se necessária a busca de meios sustentáveis para a remediação dos compartimentos ambientais contaminados. Existem muitas alternativas que possibilitam a recuperação dos recursos naturais, e uma opção para remoção de contaminantes é o processo de adsorção, especialmente quando se usam adsorventes naturais.

## Resíduos agroindustriais e florestais como bioissorventes

A busca por alternativas para o uso dos coprodutos agroindustriais impulsionou nos últimos anos a pesquisa sobre a utilização dessas biomassas para a remediação de ambientes contaminados pelo processo de adsorção. Os procedimentos baseados na adsorção têm a vantagem de serem versáteis e acessíveis. Entretanto, o material adsorvente pode encarecer o processo, como é o caso do carvão ativado, que é o material mais popular usado como adsorvente, sendo muito eficiente, mas a sua ampla utilização para o tratamento de efluentes em grande escala é limitada devido ao seu custo (DEBRASSI et al., 2011; IBRAHIM et al., 2010).

No sentido de reduzir gastos e ampliar a utilização do processo de adsorção, fontes alternativas têm sido investigadas, como uso de coprodutos, os quais são bioissorventes eficientes de baixo custo (MIMURA et al., 2010). No Brasil, algumas pesquisas recentes têm comprovado a viabilidade de coprodutos na remoção de metais pesados em efluentes contaminados.

O método de remoção de íons metálicos de águas envolvendo a capacidade de adsorção de materiais orgânicos e inorgânicos pode ser uma opção bastante interessante, principalmente por serem encontrados em grandes quantidades e não se tratarem de produtos onerosos (KUMAR et al., 2000). Além disso, o processo apresenta outras vantagens como o baixo custo, visto que na maioria das vezes o material não necessita de um tratamento prévio, possui alta eficiência e a possibilidade de recuperação do íon metálico adsorvido (REDDY et al., 2010).

Diferentes tipos de biomassa podem ser usadas como bioissorventes para sequestrar contaminantes tóxicos de compartimentos ambientais: bactérias, algas, fungos, derivados de plantas e animais (GARDEA-TORRESDEY et al., 2004). No entanto, apesar de muitos materiais biológicos removerem metais pesados, somente aqueles com capacidade suficientemente alta e seletividade de

ligar metais são convenientes para um processo de bioissorção (KRATOCHVIL; VOLESKY, 1998).

Desta forma, alguns bioissorventes como cascas de cacau (MEUNIER et al., 2003), bagaço de cana-de-açúcar *in natura* e modificada na remoção de Pb e Cu (DOS SANTOS et al., 2010; DOS SANTOS et al., 2011), cascas de banana e laranja (ANNADURAI et al., 2002), conchas de mexilhão (PEÑA-RODRÍGUEZ et al., 2010), farelo de arroz (MONTANHER et al., 2005) e biomassa seca de aguapé (*Eichornia crassipes*) (GONÇALVES Jr. et al., 2009), além dos provenientes da produção de biodiesel, que tem como coprodutos as tortas ou farelos, produzidos a partir da extração do óleo vegetal de sementes, **têm sido explorados no que diz respeito à remoção de íons metálicos.**

Considerando as características e vantagens atribuídas ao processo de bioissorção, as tentativas em encontrar novos materiais adsorventes que sejam técnica e economicamente viáveis tornam-se fundamentais (DOS SANTOS et al., 2010). Diante do exposto, o Grupo de Estudos em Solos e Meio Ambiente (Geoma) tem desenvolvido trabalhos na linha de pesquisa de sistemas de produção sustentáveis e mais especificamente tem avaliado a utilização de diversos resíduos agroindustriais e florestais, tais como sementes de moringa oleífera, crambe, pinhão manso, cascas de mandioca, castanha do Brasil, castanha de caju e de pinus, visando a utilização desses materiais como bioissorventes alternativos e sustentáveis, com o objetivo de remover metais e agrotóxicos de compartimentos ambientais.

## CONSIDERAÇÕES SOBRE OS ESTUDOS COM ADSORVENTES ALTERNATIVOS

Os resultados obtidos nos diversos estudos científicos realizados até agora com os bioissorventes testados até o momento: - sementes de moringa oleífera, crambe, pinhão manso, cascas de mandioca, castanha do Brasil, castanha de caju e de pinus - demonstram que os resíduos utilizados como adsorventes alternativos são uma opção

sustentável e eficiente para a remediação de águas contaminadas com metais e agrotóxicos, uma vez que esses materiais estão disponíveis em larga escala e são coprodutos, além de terem apresentado características químicas e físicas que os apontam como biossorventes eficientes.

Os materiais utilizados como biossorventes revelam boa capacidade adsorptiva e consequente eficiência na remoção de metais pesados tóxicos (Cd, Pb e Cr) e agrotóxicos organoclorados e organofosforados de compartimentos ambientais contaminados, mesmo sem ter sofrido nenhum tratamento químico prévio. O desempenho desses biossorventes em sistema aberto deve ainda ser estudado, assim como possíveis modificações estruturais das biomassas para melhor desempenho no processo de adsorção, utilizando agentes físicos e/ou químicos.

Além da utilização desses resíduos como materiais adsorventes, fica evidenciada a importância de estudos relacionados à possível aplicabilidade deles como matriz na incorporação de macro e micronutrientes, que poderiam ser adicionados e devolvidos ao solo, configurando um sistema de adubação. E assim, espera-se que os resultados obtidos nesses trabalhos não sejam apenas uma parte de estudos relacionados à remediação de compartimentos ambientais, e sim, que eles possam servir de incentivo para que se realizem mais pesquisas objetivando principalmente a sustentabilidade ambiental.

Enfim, esses trabalhos também objetivaram o estímulo, a implantação e o desenvolvimento das culturas utilizadas como novas alternativas agrícolas viáveis, buscando uma diversificação sustentável e o aumento das respectivas cadeias produtivas.

## AGRADECIMENTOS

O Grupo de Estudos em Solos e Meio Ambiente da Unioeste agradece ao CNPq pelo apoio financeiro para o desenvolvimento desses trabalhos científicos, e a Capes pelas bolsas de mestrado e doutorado disponibilizadas.

## REFERÊNCIAS

AGUIAR, M. R. M. P.; NOVAES, A. C.; GUARINO, A. W. S. Remoção de metais pesados de efluentes industriais por aluminossilicatos. *Química Nova*, v. 25, n. 6, p. 1145-1154, nov./dez. 2002.

ALMEIDA, A. F. et al. Tolerance and prospection of phytoremediator woody species of Cd, Pb, Cu and Cr. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, v. 19, n. 2, p. 83-98, 2007.

ALVES, M. I. R. *Desenvolvimento e validação de metodologia de determinação de pesticidas organoclorados e trihalometanos para aplicação no monitoramento da qualidade da água em Goiás*. 2006. Dissertação (Mestrado em Química)— Instituto de Química, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2006.

ANNADURAI, G.; JUANG, R. S.; LEE, D. J. Use of cellulose-based wastes for adsorption of dyes from aqueous solutions. *Journal of Hazardous materials*, v. 92, n.3, p. 263-274, jun. 2002.

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DIASES REGISTRY (ATSDR). *Toxicological profile for lead*. Atlanta: US Department of Health and Human Services, Public Health Service, 1993. 307 p.

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DIASES REGISTRY (ATSDR). *Toxicological profile for chromium*. Syracuse: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, 2000. 301 p.

BAYRAMOGLU, G.; ARICA, M. Y. Preparation of a composite biosorbent using *Scenedesmus quadricauda* biomass and alginate/polyvinyl alcohol for removal of Cu(II) and Cd(II) ions: isotherms, kinetics, and thermodynamic studies. *Water, Air, Soil and Pollution*, v. 221, n. 1, p. 391-403, abr. 2011.

\_\_\_\_\_. Preparation of a composite biosorbent using *Scenedesmus quadricauda* biomass and alginate/polyvinyl alcohol for removal of Cu(II) and Cd(II) ions: isotherms, kinetics, and thermodynamic studies. *Water, Air, Soil and Pollution*, v. 221, n. 1, p. 391-403, abr. 2011.

BURGUERA, M. et al. Automatic determination of iron geothermal fluids containing high dissolved sulfure compounds using flow injection electrothermal atomic

- absorption spectrometry with an on-line microwave radiation precipitation-dissolution system. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, v. 366, n. 1-3, p. 295-303, 1998.
- CARDOSO, L. M. N.; CHASIN, A. A. M. *Ecotoxicologia do cádmio e seus compostos*. Salvador: CRA. 2001.
- CERVANTES, C. et al. Interactions of chromium with microorganisms and plants. *FEMS Microbiology Reviews*, v. 25, p. 335-347, jan. 2001.
- DEBRASSI, A.; LARGURA, M. C. T.; RODRIGUES, C. A., Adsorção do corante vermelho congo por derivados de O-carboximetilquitosana hidrofobicamente modificado. *Química Nova*, São Paulo, v. 34, n. 5, p. 764-770, mar. 2011.
- DEMIRBAS, A. Heavy metals adsorption onto agro-based waste materials: A review. *Journal of Hazardous Materials*, v. 157, n. 2-3, p. 220-229, set. 2008.
- DOS SANTOS, V. C. G. et al. Assessment of chemically modified sugarcane bagasse for lead adsorption from aqueous medium. *Water Science & Technology*, v. 62, n. 2, p. 457-465, 2010.
- \_\_\_\_\_. Copper ions adsorption from aqueous medium using the biosorbent sugarcane bagasse *in natura* and chemically modified. *Water, Air and Soil Pollution*, v. 216, n. 1-4, p. 351-359, 2011.
- DUFFUS, J. H. "Heavy metals": a meaningless term? *Pure and Applied Chemistry. IUPAC Technical Report*, v. 74, n. 5, p. 793-807, 2002.
- FENG, N. et al. Biosorption of heavy metals from aqueous solutions by chemically modified Orange peel. *Journal of Hazardous Materials*, v. 185, n. 1, p. 49-54, jan. 2011.
- FERNANDES, A. N. et al., Remoção dos hormônios 17 $\beta$ -estradiol e 17  $\alpha$ -etinilestradiol de soluções aquosas empregando turfa decomposta como material adsorvente. *Química Nova*, São Paulo, v. 34, n. 9, p. 1526-1533, jun. 2011.
- GARDEA-TORRESDEY, J. L.; ROSA, G.; PERALTA-VIDEA, J. R. Use of phytofiltration technologies in the removal of heavy metals: A review. *Pure and Applied Chemistry*, v. 76, n. 4, p. 801-813, 2004.
- GOLIN, D. M. *Remoção de chumbo de meios líquidos através de adsorção utilizando carvão ativado de origem vegetal e resíduos vegetais*. 2007. 126 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambientais) — Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.
- GONÇALVES JR, A. C., LUCHESE, E. B., LENZI, E. Avaliação da fitodisponibilidade de cádmio, chumbo e cromo, em soja cultivada em Latossolo Vermelho Escuro tratado com fertilizantes comerciais. *Química Nova*, São Paulo, v. 23, n. 2, p. 173-177, 2000.
- 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, n. 1, p. 103-108, 2009.
- HO, Y. S.; MCKAY, G. The kinetics of sorption of basic dyes from aqueous solution by sphagnum moss peat. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, v. 76, n. 4, p. 822-827, ago. 1998.
- HORSFALL, M. Jr; ABIA, A. A.; SPIFF, A. I. Removal of Cu (II) and Zn (II) ions from wastewater by cassava (*Manihot esculenta* Cranz) waste biomass. *African Journal of Biotechnology*, v. 2, n. 10, p. 360-364, out. 2003.
- IBRAHIM, M. N. M. et al. A novel agricultural waste adsorbent for the removal of lead (II) ions from aqueous solutions. *Journal of Hazardous Materials*, v. 182 n. 1-3, p. 377-385, out. 2010.
- KREUSH, M. A. *Avaliação com propostas de melhoria do processo industrial de reciclagem do chumbo e indicação de aplicabilidade para a escória gerada*. 2005. 129 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) — Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.
- KUMAR, U.; BANDYOPADHYAY, M. Sorption of cadmium from aqueous solution using pretreated rice husk. *Bioresource Technology*, v. 97, n. 1, p. 104-109, 2006.
- KUMRAL, E. *Speciation of chromium in waters via sol-gel preconcentration prior to atomic spectrometric determination*. 2007. 75 p. Tese (Doutorado em Química) — The Graduate School of Engineering and Sciences of Izmir Institute of Technology, 2007.
- LEZCANO, J. M. et al. Sorption and desorption of Cd, Cu and Pb using biomass from a eutrophized habitat in monometallic and bimetallic systems. *Journal of Environmental Management*, v. 92, n. 10, p. 2666-2674, jul. 2011.
- LO, W. et al. A comparative investigation on the biosorption of lead by filamentous fungal biomass. *Chemosphere*, v. 39, n. 15, p. 2723-2736, fev. 1999.
- MIMURA, A. M. S. et al. Aplicação da casca de arroz na adsorção dos íons Cu<sup>2+</sup>, Al<sup>3+</sup>, Ni<sup>2+</sup> e Zn<sup>2+</sup>. *Química Nova*, São Paulo, v. 33, n. 6, p. 1279-1284, jun. 2010.
- MONTANHER, S. F.; OLIVEIRA, E. A.; ROLLEMBERG, M. C. Removal of metal ions from aqueous solutions by sorption onto rice bran. *Journal of Hazardous Materials*, v. 117, n. 2-3, p. 207-211, jan. 2005.
- MOREIRA, F. R.; MOREIRA, J. C. Os efeitos do chumbo sobre o organismo humano e seu significado para a saúde. *Revista Panamericana de Salud Pública*, v. 15, n. 2, p. 119-129, fev. 2004.



- OLIVEIRA, E.; JADOSKI, S. O. Uso excessivo de defensivos agrícolas compromete a qualidade da água e do solo, *Revista Eletrônica Lato Sensu*, n.1, p.70-84, dez. 2006.
- OLIVEIRA, J. A. et al. Absorção e acúmulo de cádmio e seus efeitos sobre o crescimento relativo de plantas de aguapé e de salvinia. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, Viçosa, v. 13, n. 3, p.329-341, dez. 2001.
- PAOLIELLO, M. M. B.; CHASIN, A. A. M. *Ecotoxicologia do chumbo e seus compostos*. Salvador: CRA, 2001, 144 p.
- PEHLIVAN, E., et al. Equilibrium isotherm studies for the uptake of cadmium and lead ions onto sugar beet pulp. *Bioresource Technology*, v. 99, n. 9, p. 3520-3527, 2008.
- PEÑA-RODRÍGUEZ, S. et al. Kinetics of Hg (II) adsorption and desorption in calcined mussel shells. *Journal of Hazardous Materials*, v. 180, p. 622-627, 2010.
- REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. *Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação*. 2. ed. São Paulo: Escrituras, 2002. 703 p.
- REDDY, H. K. et al. Biosorption of Pb<sup>2+</sup> from aqueous solutions by *Moringa oleifera* bark: Equilibrium and kinetic studies. *Journal of Hazardous Materials*, v. 174, n. 1-3, p. 831-838, fev. 2010.
- ROSA, A.V. *Agricultura e Meio Ambiente*. São Paulo: Atual, 1998.
- SHARMA, P. et al. Removal of cadmium from aqueous system by shelled *Moringa oleifera* Lam. seed powder. *Bioresource Technology*, v. 97, n. 2, p. 299-305, 2006.
- SMITH, W. L. E; GADD, G. M. Reduction and precipitation of chromate by mixed culture sulphate-reducing bacterial biofilms. *Journal of Applied Microbiology*, v. 88, n. 6, p. 983-991, jan. 2000.
- STRUMYLAITE, L. et al. Cadmium concentration in biological media of breastcancer patients. *Breast Cancer Research and Treatment*, v. 125, n. 2, p. 511-517, jan. 2011.
- TOMITA, R.Y; BEYRUTH, Z. Toxicologia de agrotóxicos em ambiente aquático. *O Biológico*, v. 64, n. 2, p. 135-142, 2002.
- VIJAYARAGHAVAN, K.; TEO, T. T. Application of Sargassum biomass to remove heavy metal ions from synthetic multi-metal solutions and urban storm water runoff. *Journal of Hazardous Materials*, v. 164, p. 1019-1023, 2009.
- WANG, J.; CHENG, C. Biosorbents for heavy metals removal and their future. *Biotechnology Advances*, v. 27, n. 1, p. 195-226, mar./abr. 2009.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). *Environmental health criteria 165: inorganic lead*. Geneva: WHO, 1995. 300 p.
- YOUNG, A. L. *Minimizing the risk associated with pesticide use: an overview*. Washington, D.C: 1987. (American Chemical Society Symposium Series 336)