

Avaliação da eficiência da adsorção de chumbo, cádmio e cromo pela biomassa da casca do pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.)

Carlos José Silva Filho¹, Diana Lara Freitas Mota², Araceli Aparecida Seolatto³

Instituto de Química – UFG, 74001-970, Brasil

carlos.filho_@hotmail.com¹, araceliseolatto@gmail.com³

PALAVRAS-CHAVE: biossorção, biomassa, casca, pequi

1 INTRODUÇÃO

O intenso crescimento do consumo e exploração de matérias-primas, juntamente com a crescente população proveniente das últimas décadas, vêm causando grande devastação no meio ambiente. Este panorama também contribui para o aumento significativo da contaminação por íons metálicos no meio aquático (SILVA JUNIOR *et al.*, 2008). Quando esses íons de metais pesados, como cromo, cádmio e chumbo, escapam para o meio ambiente, podem se acumular nos organismos vivos, principalmente no ser humano, que está no topo da cadeia alimentar. A Organização Mundial da Saúde (OMS) recomenda que os níveis de concentração máxima aceitáveis de cromo, cádmio e chumbo na água potável sejam 0,05, 0,003 e 0,1 mg.L⁻¹, respectivamente.

Há metais que são importantes no funcionamento do organismo humano, como o cromo, em concentrações adequadas. A intoxicação por cromo acontece geralmente por efluentes industriais e causam dermatites alérgicas, úlceras na pele e carcinomas, e em taxas elevadas podem ocorrer lesões vasculares com aumento nos quadros de hemorragias e trombozes cerebrais. Outros metais são muito tóxicos para o ser humano. O chumbo pode entrar nos organismos vivos através da utilização de determinadas tintas (cabelo, artísticas, esmaltes), pesticidas, moradias próximas de fundições e alimentos contaminados. A intoxicação provoca dores de cabeça, gosto metálico na boca e fortes dores abdominais. A sobre-carga de chumbo é determinada, na maioria das vezes, através da concentração de

Revisado pela orientadora

¹ Orientando do PIBIC

² Orientanda do PIVIC

³ Orientadora

chumbo nos cabelos. Em relação ao cádmio, a intoxicação ocorre geralmente por ingestão de alimentos contaminados. Essa intoxicação pode causar fraqueza, fadiga muscular, perda de peso e disfunção sexual, ao passo que níveis mais elevados provocam hipertensão e, continuado o aumento, hipotensão. O nível de concentração de cádmio também pode ser verificado nos cabelos (SHILS; SHIKE e OLSON, 2005).

Desta forma, é necessário criar soluções para o enquadramento no chamado desenvolvimento sustentável. Há de se procurar um modo de produção menos agressivo e mais limpo também. Os efluentes contendo metais podem ser provenientes de diversos tipos de indústrias, tais como fábricas de papel, indústrias petroquímicas, fábricas de reagentes inorgânicos e fertilizantes, refino de petróleo, fundições que trabalham com aço e metais, fábricas de produtos têxteis, curtimento de couro, entre outras. Essas indústrias produzem volumes grandes de efluentes que requerem tratamentos eficientes e de baixo custo.

Mancuso (2003) indica tecnologias de reúso de água como lagoas de estabilização, filtros biológicos, lodos ativados, processos biológicos, processos de floculação, sedimentação e coagulação, dentre outros. Esses métodos, no entanto, apresentam muitas desvantagens tais como a remoção incompleta do metal, custos elevados com equipamentos, reagentes e energia elétrica (HERRERO *et al.*, 2008). Paganini (2003) e Impellitteri *et al.* (2001) alertam que para a disposição de efluentes industriais no solo há necessidade de pesquisas específicas, porém, adiantam que na infiltração e percolação, os metais pesados podem não ser retidos pela maioria dos solos, principalmente quando pobres em matéria orgânica e com $\text{pH} < 7,0$, atingindo dessa forma, o lençol freático e os corpos de águas, poluindo-os. A adsorção de íons metálicos se apresenta como um importante processo alternativo, ou suplementar, na despoluição do meio aquático.

No Brasil são produzidos os mais diversos subprodutos agroindustriais em virtude da grande produção agrícola do país (MOREIRA *et al.*, 2007). A reutilização desses subprodutos no tratamento dos resíduos produzidos por indústrias é uma prática muito viável, visto que se utilizará algo que seria normalmente descartado, virando resíduo. Neste trabalho, utilizou-se a casca do pequi (*Caryocar brasiliense Camb.*) como material adsorvente (biossorvente). Com maior predominância na cultura goiana, o pequi é encontrado em quase todo o Cerrado brasileiro, sendo sua principal utilização na culinária e na indústria agrícola para extração de óleos e produção de licores. Adicionalmente, novas pesquisas têm revelado sua importância farmacológica e nutricional devido a seu alto teor de anti-oxidantes.

A casca do pequi, que representa cerca de 60% da massa do fruto, é geralmente desprezada durante a exploração do fruto. Desta forma, tecnologias de tratamento de efluentes

a partir deste resíduo podem ser testados a fim de proporcionar uma descontaminação dos efluentes industriais que contem metais em sua composição, podendo auxiliar as indústrias em sua adequação às leis ambientais vigentes, de tal forma que seus efluentes se enquadrem nos padrões exigidos, sem encarecer demasiadamente o processo produtivo e principalmente sem agressão ao meio ambiente (SOUZA, 2007). O aproveitamento desta parte do fruto em tratamentos de efluentes industriais agrega valor científico e econômico à espécie.

2 OBJETIVOS

Este trabalho teve como objetivos:

1. Investigar a capacidade de adsorção dos íons cromo, cádmio e chumbo na casca do pequi;
2. Analisar as interferências de fatores na biossorção tais como: dosagem de biomassa, tamanho médio de partícula e pH do efluente sintético;
3. Avaliar a eficiência de adsorção de cada um desses íons metálicos;
4. Verificar a viabilidade de se utilizar o biossorvente no tratamento de efluentes contaminados.

3 METODOLOGIA

3.1 Obtenção e preparação do material biossorvente

Os frutos do pequi utilizados no trabalho foram coletados em feiras livres do município de Goiânia-GO. Privilegiou-se frutos não muito maduros e nem muito verdes. Foram cortados ao meio, com cuidado na retirada dos caroços de pequi, obtendo-se a casca. As cascas foram cortadas em fatias menores para facilitar a secagem, a qual foi feita em estufa a 50 °C por 3 dias. As cascas secas dos frutos foram levadas ao triturador e posteriormente às peneiras da série Tyler a fim de se obterem partículas com os tamanhos médios de 0,225 mm e 0,715 mm para a realização dos experimentos.

3.2 Preparação das soluções

Os três efluentes sintéticos foram preparados com concentração aproximada de 100,0 mg/L de determinado íon metálico. Os pHs foram corrigidos com auxílio de pHmetro (modelo Tecnal). Foram utilizados PbCl₂ puríssimo da empresa Vetec, CrCl₃.6H₂O com pureza mínima de 99% da empresa SIGMA e CdCl₂.H₂O P.A. da marca Nuclear.

3.3 Realização dos ensaios

Os experimentos para avaliar a capacidade de adsorção da casca do pequi foram realizados em ordem aleatória, condição necessária para que houvesse independência entre as observações. Montou-se uma matriz do planejamento com os fatores que poderiam interferir nas respostas, tais como dosagem de biomassa, tamanho médio de partícula e pH da solução de metais em diferentes níveis. A Tabela 1 apresenta os fatores e os níveis escolhidos para a matriz de planejamento. A Tabela 2 apresenta as combinações dos níveis dos três fatores do planejamento. Os experimentos foram realizados em réplica para melhor confiabilidade nos dados obtidos.

Tabela 1. Fatores e níveis para os experimentos de adsorção avaliados para cada metal

Fator	Nível	Valor do Nível	Representação
Dosagem da biomassa	1	2 g/L	-1
	2	10 g/L	1
Tamanho médio de partícula	1	0,225 mm	-1
	2	0,715 mm	1
pH da solução	1	3	-1
	2	5*	1

**Para o cromo, utilizou-se pH igual a 4 para evitar precipitação do íon metálico.*

Tabela 2. Planejamento fatorial realizado para adsorção de cada metal estudado

Ensaio	Dosagem da biomassa	Tamanho médio de partícula	pH
1	-1	-1	-1
2	-1	-1	1
3	-1	1	-1
4	-1	1	1
5	1	-1	-1
6	1	-1	1
7	1	1	-1
8	1	1	1

Os ensaios foram realizados adicionando 75 mL de solução de um determinado íon metálico em Erlenmeyers de 150 mL contendo 0,15g (2 g/L) ou 0,75g (10 g/L) de biossorvente, tampando-os logo em seguida, seguindo rigorosamente o planejamento fatorial

para cada metal. Posteriormente, colocou-se os ensaios na incubadora refrigerada com agitação (Tecnal TE-421) em agitação constante de 150 rpm durante 24 horas a 26 °C. Após esse período, os ensaios foram retirados e filtrados para remoção do bioissorvente e interrupção da adsorção.

3.4 Avaliação da capacidade de adsorção

As amostras foram então diluídas na razão 1:20 possibilitando a leitura e análise no espectrofotômetro de absorção atômica (modelo GBC) das concentrações dos íons metálicos. Em seguida, realizou-se cálculos a fim de se obter os valores de porcentagem de metal adsorvido e a capacidade de adsorção.

A porcentagem de metal adsorvido foi determinada por:

$$\% \text{ Adsorvido} = \left(\frac{C_i - C_{eq}}{C_i} \right) \cdot 100 \quad (1)$$

A capacidade de adsorção, Q (mg do metal/g do bioissorvente) foi determinada usando-se a Equação 2 (INGLEZAKIS; POULOPOULOS, 2007, *apud* RUTHVEN, 1984):

$$Q = \frac{(C_i - C_{eq})V}{m} \quad (2)$$

Em que:

V: volume da solução; C_i: concentração inicial da solução; C_{eq}: concentração final ou de equilíbrio da solução; m: massa do adsorvente (bioissorvente).

Os resultados obtidos foram analisados estatisticamente com os testes de Análise de Variância (ANOVA) e o pós-teste de Tukey, ambos através do software SAS.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os experimentos mostraram que o chumbo apresentou melhor capacidade adsorvente dentre os metais estudados. Por meio da Tabela 3 pode-se observar os resultados dos ensaios e suas réplicas. Esses resultados possibilitaram a discussão a respeito dos diferentes fatores que podem influenciar na adsorção, como o pH, dosagem de biomassa e granulometria, analisando-os com maior precisão. As capacidades de adsorção do cádmio e do cromo também estão expostas na Tabela 3.

Tabela 3. Capacidades de adsorção no planejamento fatorial dos metais

Ensaio	Chumbo		Cádmio		Cromo	
	<i>Q</i> (mg/g)	<i>Q</i> (réplica) (mg/g)	<i>Q</i> (mg/g)	<i>Q</i> (réplica) (mg/g)	<i>Q</i> (mg/g)	<i>Q</i> (réplica) (mg/g)
1	20,17	25,49	0,13	NS	NS	4,82
2	24,11	27,44	4,48	2,70	3,26	8,15
3	21,40	24,21	NS*	0,80	2,90	2,62
4	30,11	29,05	NS	1,35	5,90	12,28
5	8,92	9,20	2,06	2,19	3,19	7,12
6	7,97	7,87	2,72	2,51	5,05	6,74
7	8,98	9,26	1,98	1,93	3,98	5,40
8	7,06	7,21	2,21	2,20	6,01	6,43

*NS = não significativo

Pela Tabela 3, verifica-se que a capacidade de adsorção do chumbo sofre redução nos experimentos 5-8, em relação aos experimentos 1-4 quando a dosagem de biomassa é menor. Essa observação é confirmada na Tabela 4, que apresenta a análise de variância, devido ao baixo p-valor deste fator, indicando que houve diferença significativa ao nível de 5% quando altera-se a quantidade de biomassa adicionada ao sistema. Isso pode ser explicado pela redução da força eletromotriz na solução, quando se usa uma maior quantidade de biomassa, e pela maior formação de agregados das partículas do adsorvente. Conforme o processo de adsorção vai ocorrendo, a solução tende a ficar menos concentrada, diminuindo a força eletromotriz. No caso do chumbo, isso acontece rapidamente e isso acaba contribuindo para a redução da capacidade de adsorção. Com relação à ocupação dos sítios ativos, pode-se dizer também que, apesar da porcentagem de remoção dos íons ser maior devido à maior quantidade destes sítios, a formação de agregados de partículas diminui a área superficial e aumenta a difusão dos íons na solução, reduzindo a capacidade de adsorção (DOS SANTOS, 2010).

Tabela 4. Influência dos fatores na adsorção do chumbo

Fatores ¹	p-valor (Pb)	p-valor (Cd)	p-valor (Cr)
A	<.0001	0,0080	0,7116
B	0,4063	0,0306	0,5094
A*B	0,2323	0,1374	0,4780
C	0,0951	0,0051	0,0517
A*C	0,0062	0,0327	0,1954
B*C	0,4167	0,0188	0,4835
A*B*C	0,2167	0,0349	0,6777

¹A = dosagem, B = granulometria, C = pH, * = combinação

De acordo com a Tabela 4, os fatores que influenciam na adsorção são aqueles nos quais o p-valor é menor do que 0,05 (5%), que é o intervalo de confiança utilizado nessa análise de variância. Para o chumbo, a análise mostrou que esses fatores são dosagem de biomassa e combinação entre dosagem de biomassa e pH, como pode ser observado na Tabela 4. O cádmio apresentou baixa capacidade de adsorção e verificou-se que todos os fatores apresentaram interferência no processo de adsorção. Em relação ao cromo, houve baixa capacidade de adsorção e nenhum fator mostrou diferença significativa ao nível de 5%.

As análises possibilitaram a modelagem de equações que mostram os comportamentos das capacidades de adsorção da casca do pequi em relação aos metais de acordo com os níveis dos fatores. Nota-se que os maiores coeficientes relacionam-se com os fatores que mais influenciam na eficiência da adsorção. As equações são:

$$Q_{(Pb)} = 16,77813 - 8,46937*A + 0,38188*B + 0,82438*C - 0,56313*A*B - 1,60563*A*C + 0,37312*B*C - 0,58438*A*B*C \quad (3)$$

$$Q_{(Cd)} = 1,70063 + 0,52438*A - 0,39188*B + 0,57063*C + 0,24688*A*B - 0,38563*A*C - 0,43938*B*C + 0,37938*A*B*C \quad (4)$$

$$Q_{(Cr)} = 5,24063 + 0,24938*A + 0,44937*B + 1,48688*C - 0,48437*A*B - 0,91938*A*C + 0,47812*B*C - 0,28063*A*B*C \quad (5)$$

Aplicando o teste de Tukey pode-se determinar a diferença das médias entre os dois níveis dos fatores estudados. O resultado do teste de Tukey está resumido na Tabela 5, em que pode-se observar que quando há diferença entre as médias para os fatores ao nível de 5% são designadas letras minúsculas distintas.

Tabela 5. Teste de Tukey para os metais

Chumbo*					
Dosagem da biomassa		Tamanho Médio de Partícula		pH	
<i>Níveis</i>	<i>Q (mg/g)</i>	<i>Níveis</i>	<i>Q (mg/g)</i>	<i>Níveis</i>	<i>Q (mg/g)</i>
-1	25,2475 a	-1	16,3963 a	-1	15,9538 a
1	8,3088 b	1	17,1600 a	1	17,6025 a

Cádmio**					
Dosagem da biomassa		Tamanho Médio de Partícula		pH	
<i>Níveis</i>	<i>Q (mg/g)</i>	<i>Níveis</i>	<i>Q (mg/g)</i>	<i>Níveis</i>	<i>Q (mg/g)</i>
-1	1,1763 a	-1	2,0925 a	-1	1,1300 a
1	2,2250 b	1	1,3088 b	1	2,2713 b

Cromo***					
Dosagem da biomassa		Tamanho Médio de Partícula		pH	
<i>Níveis</i>	<i>Q (mg/g)</i>	<i>Níveis</i>	<i>Q (mg/g)</i>	<i>Níveis</i>	<i>Q (mg/g)</i>
-1	4,991 a	-1	4,791 a	-1	3,754 a
1	5,490 a	1	5,690 a	1	6,728 a

*Médias com letras desiguais são estatisticamente diferentes pelo teste Tukey ao nível de 5% de significância. Diferença mínima significante: *2,0095; **0,6898; ***3,0014*

Observa-se que o pH é um fator de fundamental importância na biossorção de metais e pode-se encontrar diferentes dados sobre a influência deste fator. Os trabalhos indicam a maneira como o pH altera a capacidade de biossorção dos íons dos metais dependendo do tipo de adsorvente (biomassa) e do tipo de adsorvato (íons do metal) (OZDEMIR, 2004). O efeito do pH na adsorção de chumbo está ligado à dosagem de biomassa, como pode ser observado na Tabela 4 em que a interação entre os fatores A e C (A*C) mostrou-se significativa. Em menor dosagem, o pH maior possibilita uma melhor capacidade de adsorção do que o pH menor. Por outro lado, em maior dosagem, o aumento do pH resulta na redução da capacidade de adsorção. A granulometria da biomassa não interferiu e é um fator que pode ser desconsiderado para a adsorção do chumbo na casca do pequi.

O cádmio teve um comportamento diferente em relação ao observado do metal chumbo. A análise de variância e teste de Tukey exibidas nas Tabela 4 e 5, respectivamente, mostraram que todos os fatores propostos no planejamento fatorial interferiram nas capacidades adsorptivas.

O aumento da dosagem de biomassa proporcionou uma remoção de cádmio maior provocando um aumento na capacidade adsortiva, efeito contrário ao observado para o chumbo. No caso do chumbo, a capacidade de adsorção é maior, fazendo com que a concentração de metal, que é a força eletromotriz da transferência de massa, diminua acentuadamente. Isso acarreta numa diminuição da capacidade de bioadsorção quando se utiliza uma dosagem maior. No entanto, com relação à adsorção de cádmio, como a capacidade de bioadsorção apresenta-se bem inferior ao caso do chumbo, a concentração do metal não diminui tão acentuadamente, o que acarreta numa menor redução da força eletromotriz. Neste caso, a dosagem de biomassa maior aumenta a quantidade de grupos funcionais que podem atuar na adsorção do metal, aumentando a capacidade de adsorção. Logo, a decisão de aumentar a quantidade de biomassa precisa ser avaliada para que a concentração de metal durante o processo não baixe muito diminuindo a força eletromotriz e, conseqüentemente, reduzindo a capacidade de adsorção. Os efeitos do pH e da granulometria são mais discretos, mas importantes devido as suas influências comprovadas ao nível de 5% de significância.

Em relação ao cromo, a capacidade de adsorção não foi expressiva. Separadamente, os fatores não influenciaram na adsorção e isto acarretou em uma caracterização deficiente do material. Apesar de possuir uma capacidade adsortiva melhor que o cádmio, os fatores que influenciam a sua adsorção não foram bem determinados neste planejamento fatorial.

Foi realizada uma análise de variância considerando os valores de capacidade de adsorção encontrados para os três metais. Verificou-se que houve influência significativa ao nível de 5% de significância na capacidade de adsorção em cada metal estudado, uma vez que o p-valor encontrado foi menor que 0,0001. As capacidades médias de adsorção para cada metal estão expostos na Tabela 6. Estes resultados demonstram a maior afinidade do bioadsorvente pelo chumbo do que pelos demais metais.

Tabela 6. Teste de Tukey para o fator íon metálico

<i>Metais</i>	<i>Q (mg/g)*</i>
Chumbo	16,778 a
Cromo	5,241 b
Cádmio	1,704 b

*Diferença Mínima Significante = 4,743

Em vários trabalhos, compara-se o chumbo com o cádmio, e lista-se o chumbo como o íon mais adsorvido (FONTES *et al.*, 2000; MORERA *et al.*, 2001). A retenção do cádmio, segundo McBride (1994), ocorre, majoritariamente, por meio das forças eletrostáticas das partículas negativamente carregadas, o que a torna altamente dependente da capacidade de troca catiônica (CTC). Em relação ao chumbo (PIERANGELI *et al.*, 2001), as interações com as partículas são predominantemente mais específicas e menos dependentes das cargas superficiais. A biossorção do cromo, por sua vez, ocorre principalmente devido a sua elevada carga eletrostática (3+), que possibilita interação com sítios diversos das partículas da casca do pequi. Na Figura 1 é ilustrado graficamente a porcentagem de remoção de íons do efluente sintético, em que pode-se observar a elevada porcentagem removida de chumbo, com valores de até 80%.

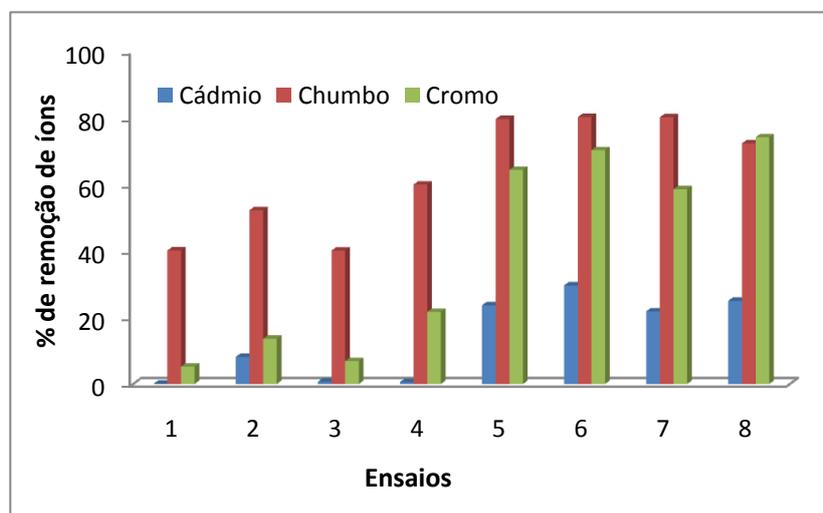


Figura 1. Comparação das porcentagens de remoção de íons

5 CONCLUSÕES

O planejamento fatorial foi essencial para as análises de influência dos fatores neste plano de trabalho. Os dados e comparações obtidos com a utilização do software SAS foi de grande importância para a discussão dos resultados dos experimentos. Deste modo, é sempre importante a utilização de ferramentas como essas para facilitar e/ou otimizar quaisquer tipos de projetos, experimentos, análises e discussões.

O metal que se mostrou o melhor adsorvido na casca do pequi foi o chumbo (Pb^{2+}), alcançando remoções de até 30 mg/g e porcentagens de remoção alcançando os 80%. Os metais cromo e cádmio apresentaram menor remoção. Destaca-se também o fator dosagem de biomassa que mostrou-se importante na capacidade de biossorção. O fator pH também tem

apresentou significância neste processo, visto que o mesmo determina os estados de ionização dos sítios ativos, componentes da solução e de impurezas que podem existir no biossorvente. A granulometria, de modo geral, não influenciou na adsorção e pode ser desconsiderada dentre os fatores que atuam no processo.

Os estudos com a casca do pequi estão iniciando e a sua caracterização está sendo feita. As propriedades da casca estão sendo determinadas e isso ajudará a entender os processos que ocorrem em operações como a adsorção. Os experimentos realizados neste projeto mostraram que a casca pode ser utilizada para remoção de metais como chumbo e cromo com relativa eficiência, dependendo das condições. Esta medida apresenta-se como uma boa alternativa devido a sua viabilidade. A casca de pequi não é aproveitada industrialmente, transformando-se em resíduo e lixo. Desta forma, a adoção deste material como adsorvente seria barato e sustentável, características muito desejadas atualmente nos processos industriais.

6 REFERÊNCIAS

HERRERO, R.; LODEIRO, P.; ROJO, R.; CIORBA, A.; RODRÍGUEZ, P.; VICENTE, M. E. S. The efficiency of the red alga *Mastocarpus stellatus* for remediation of cadmium pollution. **Bioresource Technology**, v. 99, n. 10, jul.2008. p. 4138-4146.

IMPELLITTERI, C. A.; ALLEN, H. E.; YIN, Y.; YOU, S.; SAXE, J. K. Soil Properties Controlling Metal Partitioning. In: SELIM, H. M. (Ed.); SPARKS, D. L. (Ed.). **Heavy metals release in soils**. Florida: Lewis Publishers, 2001. p. 149-160.

MANCUSO, P. C. S. **Tecnologia de reúso de água**. In: MANCUSO, P. C. S. (Ed.); SANTOS, H. F. (Ed.); Reúso de água. Barueri, São Paulo: Editora Manole, 2003. p. 291-320.

MOREIRA, S. A. **Utilização de bagaço de caju como bioadsorvente na remoção de metais pesados de efluente industrial**. In: II CONGRESSO DE PESQUISA E INOVAÇÃO DA REDE NORTE NORDESTE DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA (CONNEPI), 2007, João Pessoa.

PAGANINI, W. S. **Reúso de água na agricultura**. In: MANCUSO, P. C. S. (Ed.); SANTOS, H. F. (Ed.); Reúso de água. Barueri, São Paulo: Editora Manole, 2003. p. 339-402.

RUTHVEN, D. M. **Principles of adsorption processes**. New York: John Wiley & Sons, 1984.

SHILS, M. E.; OLSON, J.; SHIKE, M. **Modern Nutrition in health and disease**. 10 ed. 2005.

SILVA JUNIOR, U. G.; DANTAS, H. V.; LIMA, M. B. **Adsorção de metais em água de produção através de um argilomineral**. In: II CONGRESSO DE PESQUISA E INOVAÇÃO DA REDE NORTE NORDESTE DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA (CONNEPI), 2007, João Pessoa.

SOUZA, F. W. **Adsorção de metais pesados tóxicos em efluentes aquoso usando pó de casca de coco verde tratada**. Dissertação (Mestrado em Química) - Instituto de Química, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007.

OZDEMIR, G.; et al. Biosorption of chromium (VI), cadmium (II) and copper (II) by *Pantotea* sp. TEM18, **Chemical Engineering Journal**, v. 12, p. 249-253, 2004.

DOS SANTOS, A. **Argilas montmorilonitas naturais e modificadas com surfactante aplicadas na adsorção do azul de metileno e pnitrofenol em solução aquosa**. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Estadual do Centro-Oeste, Paraná, 2010.

FONTES, M.P.F.; MATOS, A.T. de; COSTA, L.M. da; NEVES, J.C.L. Competitive adsorption of zinc, cadmium, copper, and lead in three highly-weathered Brazilian soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.31, p.2939-2958, 2000.

MORERA, M.T.; ECHEVERRÍA, J.C.; MAZKIARAN, C.; GARRIDO, J.J. Isotherms and sequential extraction procedures for evaluating sorption and distribution of heavy metals in soils. **Environmental Pollution**, v.113, p.135-144, 2001.

MCBRIDE, M.B. **Environmental chemistry of soils**. New York: Oxford University Press, 1994. 406p.

PIERANGELI, M.A.P.; GUILHERME, L.R.G.; CURI, N.; SILVA, M.L.N.; OLIVEIRA, L.R.; LIMA, J.M. Teor total e capacidade máxima de adsorção de chumbo em Latossolos brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.279-288, 2001.