

# ASPECTOS FUNDAMENTAIS DA BIOSSORÇÃO DE METAIS NÃO FERROSOS – ESTUDO DE CASO

Gabriela Huamán Pino <sup>1</sup>  
Maurício Leonardo Torem <sup>2</sup>

## Resumo

A remoção de metais pesados presentes em soluções aquosas através da biossorção tem um papel importante no controle de poluição de águas residuais. Metais como Cd, Cr (III), Cr (VI), Zn, Ni e As são perigosos e apresentam riscos à saúde. A aplicação de tratamentos convencionais precisa de custos elevados e a utilização de reagentes causa danos maiores ao meio ambiente, nem sempre atingindo os limites estipulados por lei. Assim, é necessária uma técnica amigável para o tratamento de efluentes, Deste modo a biossorção parece ser um processo promissório. Nas últimas décadas, diferentes tipos de biomassas vêm sendo investigadas para a remoção de metais pesados. No presente trabalho são apresentados os resultados referentes a estudos de biossorção empregando o pó da casca de coco verde como biossorvente na remoção de diferentes metais (As(V), Cr(III), Cr(VI), Ni(II), Zn(II) and Cd(II)). A capacidade de remoção do biossorvente foi avaliada em ensaios de batelada, sendo estudadas a influência do pH, do tamanho de partícula e da concentração inicial dos íons metálicos. Os resultados obtidos são avaliados utilizando as isothermas de Langmuir e Freundlich.

**Palavras-chave:** Biossorção; Metais pesados; Efluentes; Biomassa.

## FUNDAMENTAL ASPECTS OF BIOSORPTION OF NON-FERROUS METALS

### Abstract

Removal of metal ions present in aqueous solutions from wastewater through biosorption has an important role for pollution control. Metals such as cadmium, chromium (III), chromium (VI), zinc, nickel and arsenic are hazardous and present risks to human health Application of traditional treatments requires high costs and continuous input of chemicals which affect environment. However, regulatory standards are not always achieved. Hence, eco-friendly techniques are required for fine tuning of effluent wastewater treatment, so biosorption technology seems to be a promising process. In the last decades different types of biomass have been investigated for heavy metals removal. This work presents the results for studies of biosorption using coconut shell powder as biosorbent for the removal of heavy metals (As(V), Cr(III), Cr(VI), Ni(II), Zn(II) and Cd(II)). The removal capacity in batch tests was evaluated, and the the influence of pH, particle size, and initial metal concentration were also studied. The results are evaluated using Langmuir and Freundlich isotherms.

**Key words:** Biosorption; Heavy metals; Wastewater; Biomass.

## I INTRODUÇÃO

O acelerado desenvolvimento industrial ocorrido nas últimas décadas e o notável aumento no consumo de toda sorte de recursos naturais tem provocado graves problemas ambientais. O novo desafio é tornar compatível o desenvolvimento industrial com a preservação da natureza. Para isso são necessários: desenvolvimento de novos processos de exploração dos recursos naturais, modi-

ficação nos processos industriais existentes ou criação de processos inteiramente novos, bem como de novas técnicas de tratamento e aproveitamento de resíduos e efluentes. Os metais pesados, dentre os vários poluentes existentes, têm recebido atenção especial, uma vez que são elementos tóxicos e poluentes não-biodegradáveis liberados no meio ambiente como resultado, principalmente, de atividades industriais, de mineração e também atividades agrícolas.<sup>(1,2)</sup>

<sup>1</sup> Eng. Química, DSc., Pesquisadora do Departamento de Engenharia dos Materiais da PUC-Rio, Rua Marquês de São Vicente, 225, Gávea, Cep 22451-900, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. E-mail: Gabriela@esp.puc-rio.br

<sup>2</sup> Eng. Metalúrgico, DSc., Professor Associado do Departamento de Engenharia dos Materiais da PUC-Rio, Rua Marquês de São Vicente, 225, Gávea, Cep 22451-900, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. E-mail: torem@puc-rio.br

No caso dos efluentes líquidos, os tratamentos convencionais utilizados na remoção de metais pesados são a precipitação, a coagulação, a redução, a troca iônica e a adsorção. No entanto, a aplicação de tais processos é, em alguns casos, inadequada devido a aspectos técnicos e econômicos.

A remoção de metais (sob formas catiônicas ou aniônicas) baseada em técnicas de sorção, especificamente empregando biomassa (biossorção), vem se apresentando como uma alternativa promissora para a resolução do problema, em decorrência da afinidade natural que compostos biológicos (biomassas) têm por elementos metálicos.<sup>(3,4)</sup> A biossorção surge como um processo alternativo ou complementar em decorrência de características como o preço reduzido do material biossorvente, aplicação em sistemas com capacidade de detoxificar grande volume de efluente com custo baixo operacional, possível seletividade e recuperação da espécie metálica.

Os materiais de origem biológica (biomassas) passíveis de serem empregados como biossorventes devem ter as seguintes características: possuir capacidade de adsorver íons metálicos dissolvidos; apresentar seletividade frente a diferentes espécies metálicas; ser passível de regeneração e ter baixo custo. Dentre os diversos materiais estudados estão os microrganismos (bactérias, microalgas e fungos), os vegetais macroscópicos (algas, gramíneas, plantas aquáticas) e partes ou tecidos específicos de vegetais que são subprodutos agrícolas ou industriais (cascas, bagaço, sementes).<sup>(5)</sup> A efetividade de um biossorvente vai depender do pH da solução, da espécie metálica e da faixa de concentração em que se encontra dissolvido, do sistema operacional empregado e da composição do efluente, dentre outros fatores.

O presente trabalho trata de um estudo preliminar sobre a utilização da casca do coco verde (*cocos nucifera*), um subproduto agrícola, como material biossorvente de metais pesados. A utilização do coco verde como material sorvente apresenta grande potencial devido ao seu elevado teor de lignina (35-45%) e celulose (23-43%).<sup>(6)</sup> A celulose e a lignina são biopolímeros reconhecidamente associados à remoção de metais pesados.<sup>(7-9)</sup>

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Reagentes e Amostras

O pó de casca de coco (*cocos nucifera*) foi fornecido pelo Laboratório de Bioprocessos da Embrapa Agroindústria Tropical (Fortaleza, CE) após as seguintes etapas de processamento: dilacerção, moagem, classificação, lavagem e secagem como descrito em Rosa *et al.*<sup>(10)</sup> As soluções de As(V), Cr(III), Cr(VI), Ni(II), Zn(II) e Cd(II) foram preparadas com água destilada utili-

zando  $\text{Na}_2\text{HAsO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CrO}_3$ , e  $\text{CdSO}_4 \cdot 8/3 \text{H}_2\text{O}$ , como reagentes, fornecidos pela Merck. Já os reagentes  $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  e  $\text{ZnCl}_2$  foram fornecidos pela Vetec.

### 2.2 Experimentos de Biossorção

Nos experimentos de biossorção 0,5g de pó de casca de coco foram adicionados a 100 mL das diferentes soluções contendo as espécies metálicas, em frascos *Erlenmeyers*, que foram agitados em *shaker* por duas horas a 175 RPM e temperatura de 27°C.

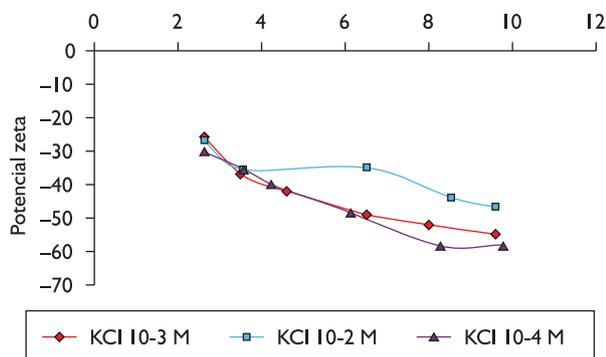
Uma primeira série de experimentos de biossorção foi realizada para todas as espécies metálicas, na concentração inicial de 20 mg/L, onde foi avaliada a influência do pH inicial. Nesse ensaio foi determinado o pH ótimo para a biossorção dos diferentes íons metálicos. Numa segunda série de experimentos, foi avaliada a influência do tamanho de partícula do material biossorvente para as espécies que apresentaram melhor resultado de remoção. A influência da concentração inicial do metal também foi estudada, onde foram avaliadas concentrações variando de 20 mg/L a 1.000 mg/L. Com os dados obtidos foram elaboradas as isotermas de adsorção.<sup>(11)</sup> Em cada série de experimentos realizada, as amostras foram filtradas com o objetivo de retirar todo o pó de casca de coco, e proceder às análises químicas de determinação da concentração final das espécies metálicas, que foram realizadas em espectrofotômetro de absorção atômica da Perkin-Elmer. As medições de pH foram obtidas utilizando um medidor de pH marca Analion modelo HI 0850. Foram utilizadas soluções de NaOH e HCl em concentrações de 1 N, 0,1 N e 0,01 N para ajustar o pH inicial das soluções.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Medida do Potencial Zeta

Foram realizadas medições do potencial zeta para determinar a carga da superfície da partícula. A Figura 1 apresenta os resultados obtidos das medições deste parâmetro na presença de cloreto de potássio como eletrólito, nas concentrações de  $10^{-2}$  M,  $10^{-3}$  M e  $10^{-4}$  M, em diferentes valores de pH, e com um tamanho de partícula entre 0,074 mm e 0,044 mm.

O potencial da casca de coco apresenta valores negativos, de 20 mV a 60 mV para a faixa de pH avaliado 2 a 10. Nestes valores de pH o valor do potencial diminui, indicando que a carga negativa da superfície da casca aumenta com o aumento da alcalinidade da solução. Este efeito é causado pela ionização dos grupos carboxilas, para altos valores de pH.<sup>(12)</sup>



**Figura 1.** Medição do potencial zeta do pó da casca de coco, na presença de KCl.

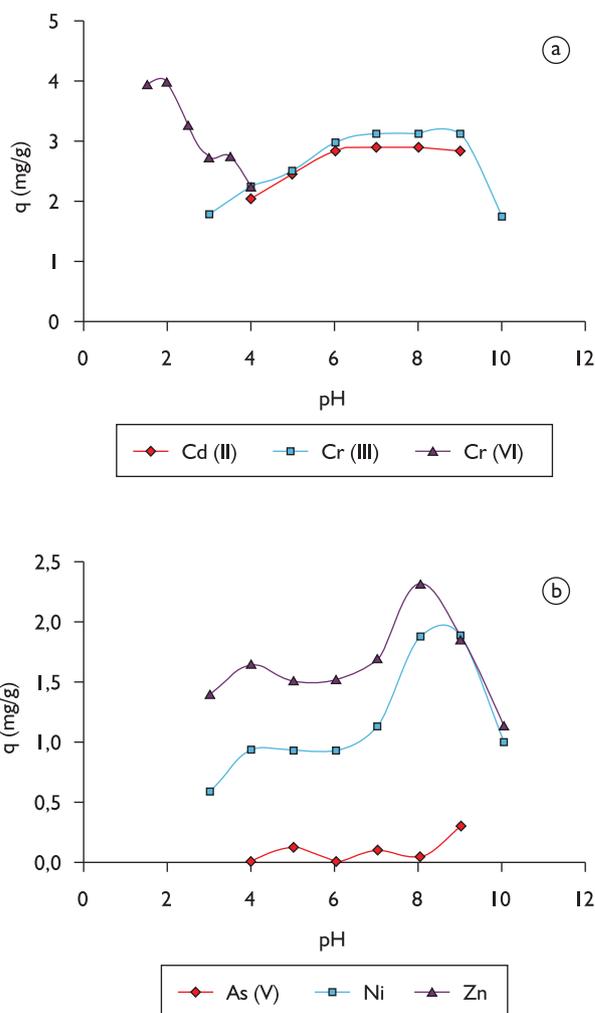
A superfície da biomassa é composta principalmente de carboidratos que conferem uma carga negativa à superfície da biomassa, devido à dissociação dos grupos funcionais presentes.<sup>(13)</sup> A dissociação dos grupos funcionais é dependente do pH. Para valores maiores de pH encontra-se dissociada uma maior quantidade de grupos funcionais como carboxilas e hidroxilas, e com carga negativa, tendo assim uma afinidade maior pelos cátions.<sup>(14)</sup> Visto que na casca de coco, carboxilas e hidroxilas são os grupos funcionais que estão presentes, explica-se a variação do potencial zeta em função do pH. O pH do sistema influencia a magnitude do potencial zeta devido à adsorção dos íons de hidrogênio e hidroxila.<sup>(12)</sup> Uma discreta diminuição na magnitude do potencial zeta também é observada quando a concentração do eletrólito aumenta. Esta diminuição está associada ao efeito de compressão da dupla camada elétrica e ao aumento de contra-íons, causados pelo aumento da força iônica do sistema.<sup>(12)</sup>

### 3.2 Avaliação da Capacidade de Biossorção em Função do pH

Dados da literatura mostram que o pH é uma das variáveis mais importantes no processo de remoção de metais pesados por biomassa, visto que a especiação do metal na solução é dependente do pH, e a carga dos sítios ativos na superfície pode mudar dependendo deste valor.<sup>(3)</sup>

A Figura 2 apresenta o efeito do pH inicial na capacidade de biossorção das diferentes espécies metálicas utilizando o pó de casca de coco como biossorvente. Diferentes faixas de pH foram empregadas em função da predominância das diferentes espécies metálicas avaliadas.

Pode-se observar que para o Cr(III) há um crescente aumento na capacidade de adsorção,  $q$ , para faixa de pH entre 3 e 6. A partir de pH 6 mantém-se constante até o valor de pH 9. A partir deste valor há uma queda na remoção atribuída à precipitação de Cr(III) sob a forma de  $\text{Cr}(\text{OH})_3$ .<sup>(8)</sup> Esses resultados indicam que a faixa ideal para a remoção do Cr(III) por biomassa de *cocos nucifera* encontra-se entre 6 e 9. No caso do cádmio, pode-se



**Figura 2.** Capacidade de adsorção da casca de coco em função do pH para  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Cr}^{6+}$  e  $\text{Cd}^{2+}$  (A) e para  $\text{As}^{5+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ , e  $\text{Zn}^{2+}$  (B), na concentração inicial de 20 mg/L. Agitação: 175 RPM, Concentração do biossorvente: 5 g/L. Tamanho de partícula: 200  $\mu\text{m}$  - 297  $\mu\text{m}$ .

observar que há um aumento na adsorção com o incremento do pH, até atingir o valor de pH igual a 6. A partir deste valor a adsorção mantém-se praticamente constante até um valor de pH 9. Acima deste valor, a espécie predominante passa a ser o  $\text{Cd}(\text{OH})_2$ , sendo esperada uma queda da remoção do cádmio devido à sua precipitação.<sup>(8)</sup> Para o Cr(VI) a melhor capacidade de adsorção é observada em valor de pH igual 2. Neste valor de pH as espécies predominantes na solução são:  $\text{CrO}_4^{-2}$  e  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{-2}$ .<sup>(8)</sup> A partir do valor de pH igual a 2,5 a remoção diminui, atingindo valores mais baixos. A redução da capacidade de adsorção da casca de coco, com relação ao Cr(VI), pelo aumento do valor do pH, deve-se à redução de solubilidade da espécie metálica.<sup>(15)</sup>

A capacidade de remoção para As(V), Ni(II) e Zn(II) são inferiores quando comparadas com as obtidas para Cr(III), Cr(VI) e Cd(II). No caso do As(V), os resultados mostram que o pó da casca de coco não apresenta afinidade pela espécie metálica, refletindo uma baixíssima

capacidade de remoção. Podemos observar um comportamento semelhante para o Ni(II) e Zn(II), apresentando um ligeiro incremento entre pH 3 e 4 passando a uma sorção constante entre os valores de pH de 4 e 6, e um aumento entre 6 e 8, para pH acima de 8 a remoção cai rapidamente para ambas espécies metálicas. No caso do níquel, esta queda é devido a sua precipitação como Ni(OH)<sub>2</sub>. O potencial zeta da casca de coco apresenta valores negativos, de 20 a 60 mV para uma faixa de pH entre 2 e 10. Nestes valores de pH o valor do potencial diminui, indicando que a carga negativa da superfície da casca aumenta com o aumento da alcalinidade da solução.<sup>(11)</sup>

Os resultados apresentados mostram claramente a importância do pH. A influência do mesmo na biossorção de íons metálicos se dá pela competição entre os íons do metal e os íons H<sup>+</sup> presentes em solução pelos sítios ativos da superfície da biomassa. A dependência da captura de íons pela biomassa em função do pH pode justificar-se pela associação e dissociação de alguns grupos funcionais presentes. É conhecido que em baixos valores de pH, a maioria dos grupos carboxila não se encontram dissociados, não podendo unir-se aos íons dos metais em solução, embora possam participar de reações de complexação. Quando o valor do pH aumenta uma maior quantidade de grupos funcionais (carboxilas) encontra-se com cargas negativas e podem atrair os íons de carga positiva.<sup>(12,14)</sup> Face aos resultados obtidos nos experimentos anteriores, os estudos objetivando avaliar tamanho de partícula e a concentração inicial da espécie metálica, foram realizados apenas para Cr(III), Cr(VI) e Cd(II).

### 3.3 Avaliação da Capacidade de Biossorção em Função do Tamanho de Partícula

Outro parâmetro estudado para a biossorção foi o tamanho de partícula do pó de casca de coco, já que este parâmetro apresenta uma forte influência no custo de operação de um processo. É sabido que vários materiais têm uma melhor capacidade de adsorção com um tamanho de partícula menor, conseqüentemente, a superfície de contato entre o sorvente e a fase líquida (solvente) também tem um papel importante neste processo.<sup>(16)</sup>

Para a determinação da influência do tamanho de partícula na eficiência de remoção dos íons, foram realizados ensaios para diversas faixas de granulometria. Os tamanhos de partículas variaram entre 0,3 mm a 0,044 mm e foi utilizada uma concentração de biomassa de 5 g/L, sendo o pH ajustado em 7 para o Cd(II) e Cr(III) e em 2 para o Cr(VI). O tempo de contato foi de 2 horas e a concentração inicial de 100 ppm para todas as espécies metálicas. Como se pode observar na Tabela I há uma diminuição na adsorção com o decréscimo do tamanho de partícula para os íons de Cd(II) e Cr(III). O mesmo não é observado para o Cr(VI) que apresenta um ligeiro incremento na adsorção com a diminuição do tamanho de partícula.

**Tabela I.** Efeito do tamanho de partícula na biossorção de Cr(III), Cr(VI) e Cd(II) com pó da casca de coco verde

Faixa de tamanho de partícula (mm)	% Remoção		
	Cd(II)	Cr(III)	Cr(VI)
0,297 a 0,200	98.222	89.451	74.808
0,210 a 0,105	82.436	83.367	90.033
0,105 a 0,070	82.181	73.265	88.514
0,074 a 0,044	81.809	68.571	88.842

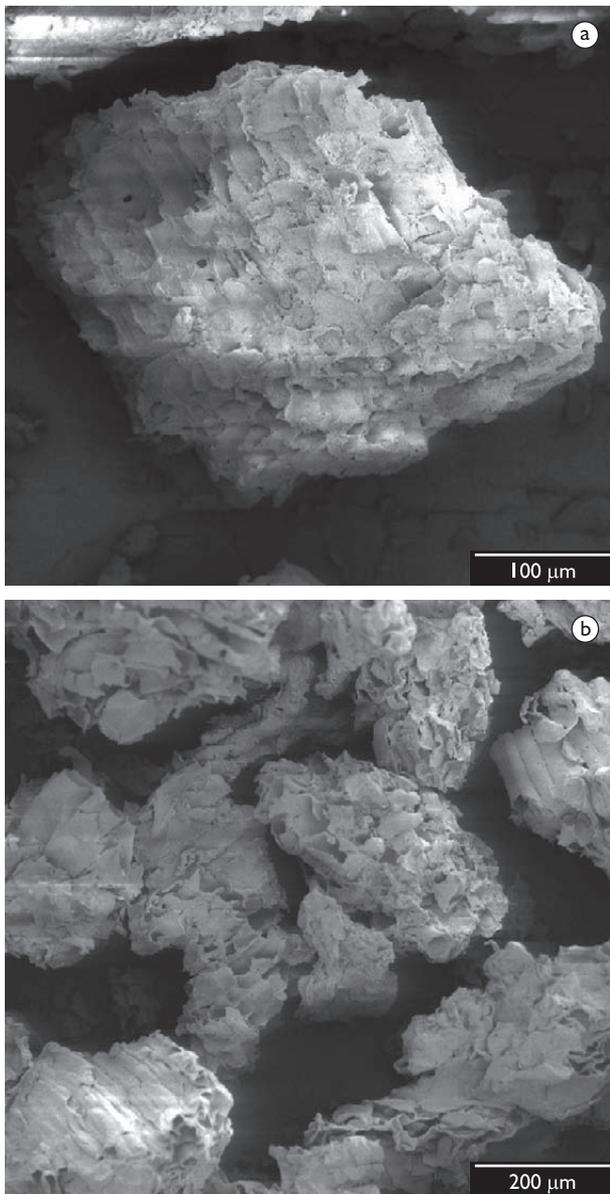
É importante ressaltar que a forma e superfície das partículas influenciam na adsorção. Segundo Volesky,<sup>(4,5)</sup> partículas maiores com formas esféricas, em geral, apresentam uma maior adsorção devido a uma maior transferência de massa do que as partículas pequenas. Neste caso a maior adsorção nestas partículas é atribuída à transferência de massa para dentro das partículas do sorvente. Quando o processo de adsorção dos íons de um metal em um adsorvente sólido é baseado na adsorção na superfície da partícula, observa-se uma maior adsorção em partículas menores.

De acordo com as microfotografias obtidas pelo MEV, as amostras analisadas apresentam diferentes morfologias. Como pode ser observado na Figura 3, as partículas do pó da casca de coco verde são porosas, apresentando furos tubulares grandes distribuídos em toda a superfície e algumas fibras com superfícies lisas. Portanto, as diferentes morfologias da casca de coco facilitam a adsorção dos íons metálicos das diferentes espécies presentes na solução.<sup>(3,17)</sup>

### 3.4 Avaliação da Capacidade de Biossorção em Função da Concentração Inicial da Espécie Metálica – Isotermas de Adsorção

Os estudos de equilíbrio da biossorção dos metais pesados foram processados utilizando modelos de isotermas de adsorção. Os modelos utilizados foram os de Langmuir<sup>(18)</sup> e Freundlich<sup>(19)</sup> que descrevem o equilíbrio estabelecido entre os íons do metal adsorvido na biomassa (*q*) e os íons que ficam na solução (*C*), a uma temperatura constante. Nestes ensaios experimentais de biossorção optou-se por utilizar os valores de pH mais adequados obtidos nos experimentos anteriormente discutido, a saber: Cr(III)- pH 7; Cr(VI)- pH 2 e Cd(II) - pH 7.

A isoterma de Langmuir é utilizada para uma sorção em monocamada na superfície da partícula, a qual contém um determinado número de sítios livres para realizar a biossorção, e é representada pela Equação 1. Onde: *q* - quantidade de adsorvato (íon) retido no sólido (mg/g); *q*<sub>max</sub> - parâmetro de Langmuir relativo à capacidade de adsorção (mg/g); *b* - constante de Langmuir relativa à energia de adsorção (mg/L ou mmol/L); *C* - concentração de equilíbrio do adsorvato (mg/L). Linearizando a Equação 1 obtemos a Equação 2.



**Figura 3.** Micrografias de partículas de pó de casca de coco verde: a) 200X, b) 100X.

$$q = \frac{q_{\max} bC}{1 + bC} \quad (1)$$

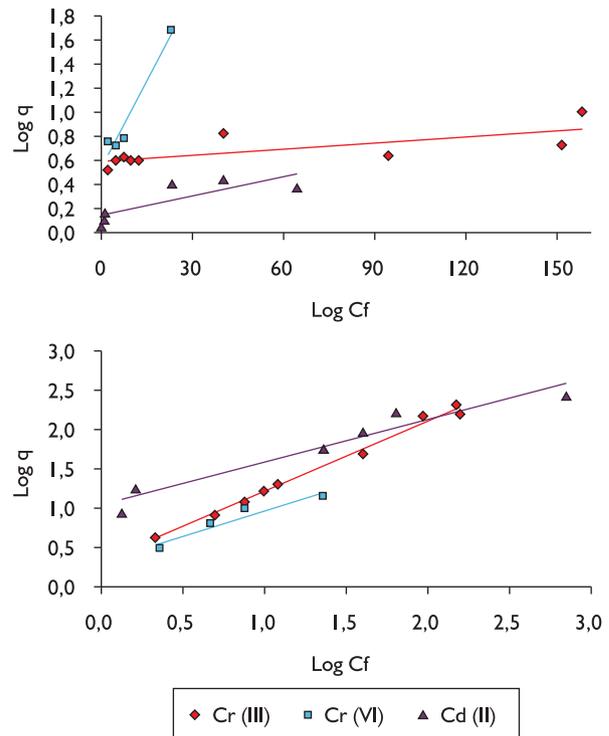
$$\frac{C}{q} = \frac{C}{q_{\max}} + \frac{1}{q_{\max} b} \quad (2)$$

A isoterma de Freundlich está baseada na sorção em superfícies heterogêneas, e é dada pela Equação 3; onde:  $q$  - quantidade de adsorvato (ion) retido no sólido (mg/g);  $C$  - concentração de equilíbrio do adsorvato;  $K_f$  e  $n$  são constantes. Linearizando a Equação 3 obtemos a Equação 4.

$$q = K_f C^{1/n} \quad (3)$$

$$\log q = \log K_f + \frac{1}{n} \log C \quad (4)$$

Os dados obtidos para cada espécie metálica em função de sua concentração inicial são apresentados na Figura 4, onde são mostrados as linearizações das isotermas de Langmuir e Freundlich para cada espécie, de acordo com as Equações 2 e 4, respectivamente. As constantes de Langmuir e Freundlich obtidas a partir das isotermas e os coeficientes de correlação são apresentados na Tabela 2.



**Figura 4.** Linearização das isotermas de Langmuir para o Cr(III), Cr(VI) e Cd(II) (A) e Freundlich (B). Temperatura 27°C. Agitação: 175 rpm. Concentração de Biomassa: 5 g/L. Tamanho de Partícula: 200  $\mu\text{m}$  - 297  $\mu\text{m}$ .

Os valores apresentados na Tabela 2 mostram que o modelo de Langmuir ajusta-se muito bem aos dados experimentais obtidos para as espécies Cd(II) e Cr(VI), como pode ser observado pelos valores dos coeficientes de correlação,  $R^2$ , apresentados. Os valores de  $q_{\max}$  obtidos pelo modelo para estas espécies metálicas refletem a capacidade de carga destes metais pela biomassa, refletindo uma elevada capacidade para o Cd(II), que apresentou um valor de 295 mg/g.

**Tabela 2.** Constantes de adsorção para os modelos de Langmuir e Freundlich aplicados à bioadsorção de Cr(III), Cr(VI) e Cd(II) pelo pó da casca de coco verde

Metal	Langmuir			Freundlich		
	$q_{\max}$ (mg/g)	$b$	$R^2$	$K_f$	$n$	$R^2$
Cd <sup>2+</sup>	295,81	0,019	0,986	9,780	1,748	0,962
Cr <sup>3+</sup>	580,45	0,003	0,679	2,048	1,113	0,992
Cr <sup>6+</sup>	20,55	0,091	0,955	4,182	1,567	0,909

Para o modelo de Freundlich, observa-se um bom ajuste dos dados experimentais para todas as espécies avaliadas, como mostra os valores de  $R^2$ , em particular para Cr(III). Os valores elevados das constantes  $K_f$  e  $n$  (constantes de Freundlich) mostram uma fácil adsorção dos metais pela casca de coco. O valor de  $n$  que é relativo à distribuição de íons unidos aos sítios ativos na biomassa, é representado pelos valores: 1,748 para o Cd(II); 1,113 para o Cr(III) e 1,567 para o Cr(VI), portanto, valores maiores à unidade, indicando que os íons das espécies presentes são favoravelmente adsorvidos sob as condições experimentais testadas.<sup>(20)</sup>

Os resultados apresentados mostram que o modelo de Langmuir é o que melhor representa os dados experimentais para o Cd(II) e para o Cr(VI), enquanto que o modelo de Freundlich melhor representa a adsorção de Cr(III) pelo pó da casca de coco verde. Isto sugere a ocorrência da biossorção em monocamada assim como condições heterogêneas na superfície, onde ambas as condições podem co-existir sob as condições experimentais testadas.<sup>(20,21)</sup>

A magnitude dos parâmetros obtidos das isotermas ajuda a determinar a capacidade de adsorção dos diferentes biossorbentes, embora fazer uma direta comparação entre os biossorbentes seja difícil, devido à utilização de diferentes condições experimentais. Utilizando os resultados do modelo de Langmuir apresentamos nas Tabelas 3, 4 e 5 uma comparação entre diferentes biossorbentes para o cromo (VI), cromo (III) e cádmio respectivamente.

**Tabela 3.** Comparação na capacidade de remoção entre diferentes biossorbentes para o Cr(VI)

Biossorvente	$q_{max}$ (mg/L)	pH	T (°C)	$C_{biomassa}$ (g/L)	$C_0$ (mg/L)
<i>Cocos nucifera</i>	20,55	2	27	5	20-100
<i>Aeromonas caviae</i>	124,46	2,5	20	1	5-350
<i>Chorella vulgaris</i>	24	2	25	1	25-250
<i>Zooglera ramigera</i>	3	2	25	-	25-400
<i>Halimeda opuntia</i>	40	4,1	26	-	25-400
<i>Rhizopus arrhizus</i>	62	2	25	1	25-400
<i>Rhizopus arrhizus</i>	8,8	2	25	-	-
<i>Rhizopus nigrificans</i>	123,45	2	25	1	50-500
<i>Sargassum</i>	40	2	-	1	-
<i>Spirogyra</i>	14,7	2	18	5	1-25
<i>Pinus sylvestris</i>	201,81	1	25	1	50-300

**Tabela 4.** Comparação na capacidade de remoção entre diferentes biossorbentes para o Cr(III)

Biossorvente	$q_{max}$ (mg/g)
Casca de coco	580,45
Biomassa de Bacilos	118
<i>Rhizopus Arrhizus</i>	31
<i>Candida Tropicalis</i>	4,6
<i>Streptomyces noursei</i>	1,8
<i>Penicillium chrysogenum</i>	0,33

**Tabela 5.** Comparação na capacidade de remoção entre diferentes biossorbentes para o cádmio

Biossorvente	$q_{max}$ (mg/g)	pH	T (°C)	$C_{biomassa}$ (g/L)	$C_0$ (mg/L)
<i>Cocos nucifera</i>	295,81	7	27	5	20-2000
<i>Sphaerotilus natans</i>	43,84	6	25	1	0,5-1
Casca de pino	16,86	-	25	-	0-400
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	42,71	6	25	1-2	0-250
<i>Sargassum fluitans</i>	101,72	4,5	25	-	-
<i>Ascophyllum nodosum</i>	56,2	4,5	25	-	0-350
<i>Streptomyces noursei</i>	3,37	6	30	3,5	1-110
<i>Rhizopus arrhizus</i>	24,73	3,5	26	-	10-400
<i>Rhizopus arrhizus</i>	26,97	6-7	-	3	10-600
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	0,56	5	25	2	5,6
<i>Sargassum natans</i>	114,65	3,5	26	-	10-400
Bactéria Gram-positiva	18,55	6,6	30	0,2	10
Bactéria Gram-negativa	13,49	6,6	30	0,2	10
<i>Ascophilum nodosum</i>	195,01	4,9	26	2-5	10-600
<i>Arthrobacter globiformis</i>	0,17	7	20	0,6	1
<i>Arthrobacter viscosus</i>	0,56	7	20	0,6	1
<i>Alcaligenes sp.</i>	10,12	4-8	25	0,38	10

## 4 CONCLUSÕES

Os experimentos realizados mostraram uma elevada capacidade de remoção de Cr(III), Cr(VI) e Cd(II) pelo pó da casca de coco verde, não sendo o mesmo observado para As(V), Ni(II) e Zn(II). A importância do pH na remoção dos metais ficou constatada, sendo observados os seguintes valores ótimos de pH: Cr(III)- pH 7; Cr(VI)- pH 2 e Cd(II) - pH 7. A aplicação dos dados obtidos aos modelos de adsorção de Langmuir e Freundlich mostrou que as isotermas de adsorção obtidas para os íons de Cr(VI) e Cd(II) foram satisfatórias para ambos os modelos, e para Cr(III) apenas para o modelo de Freundlich, nas condições experimentais testadas. Isto sugere a ocorrência da biossorção em monocamada assim como condições heterogêneas na superfície, onde ambas condições podem co-existir sob as condições experimentais testadas.

Os resultados preliminares apresentados neste trabalho mostram a possibilidade de utilização da casca de coco como material biossorvente, sendo uma boa opção para o tratamento de efluentes líquidos, já que esta biomassa é um resíduo produzido em grandes quantidades, cerca de 400.000 toneladas anuais, que requer o desenvolvimento de novas formas de aproveitamento.

## Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro da FAPERJ, Capes e CNPq

## REFERÊNCIAS

- 1 VEGLIO, F.; ESPOSITO, A.; REVERBERI, A. P. Standardisation of heavy metal biosorption tests: equilibrium and modelling study. *Process Biochemistry*, v. 38, n. 6, p. 953-61, Jan. 2003. [http://dx.doi.org/10.1016/S0032-9592\(02\)00235-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0032-9592(02)00235-2)
- 2 CAÑIZARES, V. R. O. Biosorción de metales pesados mediante el uso de biomasa microbiana. *Revista Latinoamericana de Microbiología*, v. 42, n. 3, p. 131-43, 2000.
- 3 ATKINSON, B. W.; BUX, B.; KASAN, H. C. Considerations for application of biosorption technology to remediate metal-contaminated industrial effluents. *Water SA*, v. 24, n. 2, p. 129-35, Apr. 1998.
- 4 VOLESKY, B. (Ed.). *Biosorption of heavy metals*. Boca Raton: CRC, 1990.
- 5 VOLESKY, B. *Sorption and biosorption*. Quebec: BV-Sorbex, 2004.
- 6 CARRIJO, O. A.; LIZ, R. S.; MAKISHIMA, N. Fibra da casca do coco verde como substrato agrícola. *Horticultura Brasileira*, v. 20, n. 4, p. 533-5, dez. 2002. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-05362002000400003>
- 7 GABALLAH, I.; KILBERTUS, G. Elimination of As, Hg and Zn from synthetic solutions and industrial effluents using modified barks. In: MISRA, M. (Ed.). *Separation process: heavy metals, ions and minerals*. Warrendale: The minerals, Metals & Materials Society, 1994. p. 15-26.
- 8 GABALLAH, I. et al. Recovery of copper through decontamination of synthetic solutions using modified barks. *Metalurgical and Materials Transactions B*, v. 28, n. 1, p. 13-23, Feb. 1997. <http://dx.doi.org/10.1007/s11663-997-0122-3>
- 9 HUNT, S. Diversity of biopolymer structure and its potential for ion-binding applications. In: ECCLES, H.; HUNT, S. (Eds.). *Immobilization of ions by bio-sorption*. Chichester: Ellis Horwood, 1986. p. 15-45.
- 10 ROSA, M. F. et al. Caracterização do pó de casca de coco verde usado como substrato agrícola. *Comunicado Técnico Embrapa*, Fortaleza, n. 54, p. 1-6, 2001.
- 11 PINO, G. H. *Biossorção de metais pesados empregando pó da casca de coco verde*. 2005. 109 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais) – Faculdade de Engenharia Metalúrgica da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.
- 12 CHUBAR, N.; CARVALHO, J. R.; NEIVA, M. J. Cork biomass as biosorbent for Cu (II), Zn (II) and Ni(II). *Colloids and Surfaces*, v. 230, n. 1-3, p. 57-65, Dec. 2004.
- 13 ALDRICH, C.; FENG, D. Removal of heavy metals from wastewater effluents by biosorptive flotation. *Minerals Engineering*, v. 13, n. 10-11, p. 1129-38, 2000. [http://dx.doi.org/10.1016/S0892-6875\(00\)00096-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0892-6875(00)00096-0)
- 14 SELATNIA, A. et al. Biosorption of Cd<sup>2+</sup> from aqueous solution by a NaOH-treated bacterial dead *Streptomyces Rimosus* biomass. *Hydrometallurgy*, v. 75, n. 1-4, p. 11-24, Nov. 2004.
- 15 GABALLAH, I.; KILBERTUS, G. Recovery of heavy metal ions through decontamination of synthetic solutions and industrial effluents using modified barks. *Journal of Geochemical Exploration*, v. 62, n. 1-3, p. 241-86, June 1998. [http://dx.doi.org/10.1016/S0375-6742\(97\)00068-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0375-6742(97)00068-X)
- 16 SCHNEIDER, I.; RUBIO, J.; SMITH, R. Biosorption of metals onto plant biomass: exchange adsorption or surface precipitation? *International Journal of Mineral Processing*, v. 62, n. 1-4, p. 111-20, May 2001. [http://dx.doi.org/10.1016/S0301-7516\(00\)00047-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0301-7516(00)00047-8)
- 17 GOMES, L. M. B. Remoção do cádmio de soluções aquosas utilizando fibra de coco da baía visando o tratamento de efluentes. 2000. 106 p. Tese (Doutorado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais) – Faculdade de Engenharia Metalúrgica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2000.
- 18 LANGMUIR, I. The adsorption of gases on plane surfaces of glass, mica and platinum. *Journal of the American Chemical Society*, v. 40, n. 9, p. 1361-403, 1918. <http://dx.doi.org/10.1021/ja02242a004>
- 19 FREUNDLICH, H. Ueber die Adsorption in Loesungen. *Zeitschrift für Physikalische Chemie*, v. 57A, p. 385-470, 1907.
- 20 LOUKIDOU, M. X. et al. Equilibrium and kinetic modeling of chromium (VI) biosorption by *Aeromonas caviae*. *Colloids and Surfaces*, v. 242, n. 1-3, p. 93-104, Aug. 2004. <http://dx.doi.org/10.1016/j.colsurfa.2004.03.030>
- 21 OZDEMIR, G. et al. Biosorption of chromium (VI), cadmium (II) and copper (II) by *Pantoea* sp. TEM18. *Chemical Engineering Journal*, v. 102, n. 2, p. 249-53, Sep. 2004. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2004.01.032>

Recebido em: 20/12/2009

Aceito em: 25/3/2011