



II-060 - REMOÇÃO DE CHUMBO DE LÍQUIDO ATRAVÉS DE ADSORÇÃO UTILIZANDO CARVÃO ATIVADO GRANULADO DE BABAÇU

Dirce Maria Golin⁽¹⁾

Engenheira Química pela UFPR (1987); Especialista em Administração de Empresas FAE (1993); Mestre em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental pela UFPR (2007); Especialista em Engenharia de Suprimentos pela Universidade Católica do Paraná / PROMINP, 2008

Urivald Pawlowski⁽²⁾

Engenheiro Químico pela UFPR (1965); Mestre em Ciência pela COPPE /UFRJ (1967); Ph.D pela State University of New York (1972); Professor Titular de Engenharia Ambiental da UFPR; Professor Sênior do Programa de Pós-Graduação de Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental da UFPR; Consultor da OMS/OPS, da GTZ do Governo Alemão, de Indústrias e de Órgãos Governamentais.

Endereço⁽¹⁾: Rua Professor Paulo D'Assumpção 903, casa 21 – Jardim das Américas – 81540-260 – Curitiba – PR – Brasil - Tel: (41) 3348.2323 - e-mail: - dirce@carbomafra.com.br

Endereço⁽²⁾: Rua Fagundes Varela, 865 – Jardim Social – Curitiba – 82529-040 – Curitiba – PR – Brasil - Tel: (41) 3262 8631- e-mail: - pawl@terra.com.br.

RESUMO

A presença de metais em águas tem sido objeto de preocupação, pois as possibilidades destes elementos chegarem até os seres humanos tem sido cada vez maiores. O chumbo é um destes metais e a preocupação com este elemento advém da sua facilidade em solubilizar em meios líquidos e de sua ação prejudicial à saúde, em especial aos efeitos danosos e importantes que a sua presença provoca em crianças.

Este trabalho busca mais uma alternativa para a remoção de chumbo de meios líquidos, usando carvão ativado granulado de babaçu como meio adsorvente.

A remoção de chumbo mostrou-se possível com este material quando testado em solução sintética de nitrato de chumbo. Observou-se que o pH afeta de modo importante os resultados, apresentando bons índices de remoção para valores acima de pH 5. A precipitação hidróxida a valores de pH próximo de 6 afeta as isotermas de adsorção.

Para teste em coluna, o carvão ativado granulado de babaçu apresentou capacidade de remoção de 22,97 mgPb/g de carvão ativado para uma taxa de 6,29 m³/m²h.

PALAVRAS-CHAVE: metais, chumbo, meio líquido, água, adsorção, coluna, carvão ativado, babaçu.

INTRODUÇÃO

A determinação da presença de metais pesados no meio ambiente é de grande interesse devido à sua toxicidade e ameaça à vida humana e ambiental. A concentração de metais poluentes tem aumentado em áreas populosas e desenvolvidas devido à poluição atmosférica e atividades humanas. Em decorrência disto, aumenta o potencial para estas substâncias alcançarem a cadeia alimentar.

Em 1983 estimou-se a geração de 7,9 bilhões de galões de despejos com metais pesados nos Estados Unidos. O chumbo, cádmio e mercúrio são exemplos destes metais, classificados como metais poluentes prioritários pela U.S. Environmental Protection Agency (USEPA), (Reed e Jamil, 1995).

Concentrações destes poluentes em rios, solos de áreas de agricultura e lagos, foram observadas no Japão e em muitas outras regiões do mundo. Valores acima de 200 e 300 miligramas/kg de chumbo, zinco e cobre, foram encontrados em sólidos destinados à agricultura no Japão. Observa-se que as propriedades químicas destes metais são similares entre si, (Machida e colaboradores, 2005).

Os metais pesados ocorrem no ambiente aquático sob diversas formas:

- ✓ Em solução na forma iônica ou na forma de complexos solúveis orgânicos ou inorgânicos.
- ✓ Formando ou ficando aderidos às partículas coloidais minerais ou orgânicas.
- ✓ Ficando retidos no sedimento.
- ✓ Ou incorporados à biota, (Aguiar e colaboradores, 2002).



As principais fontes de contaminação do meio ambiente são as indústrias eletro-mecânica, as químicas e as eletroquímicas, os processos de mineração, de fabricação de baterias, e águas subterrâneas provenientes de locais contaminados. O chumbo metálico, seus sais e óxidos, também estão presentes em tintas e pigmentos, tubulações antigas e também sendo usado como aditivo de combustíveis. É um metal de especial interesse devido à sua toxicidade e presença difundida no meio ambiente, (*Bhattacharjee e colaboradores, 2003; Reed e Jamil, 1995*).

No Brasil, o chumbo também tem sido objeto de estudo. Como exemplo, tem-se a pesquisa de Faculdade de Ciências Farmacêuticas do Estado de São Paulo, onde se estudou a contaminação de água potável por tubulações antigas em 100 escolas municipais da cidade de São Paulo, no período de 2000 e 2001. Neste estudo foram analisadas duas amostras de águas obtidas em cada escola. A primeira amostragem pela manhã, no primeiro jato da torneira, recebeu a água que ficou parada nas tubulações do prédio, e a segunda amostragem recebeu a água após a torneira ter escoado com vazão máxima por dois minutos. Nas amostras do primeiro jato foram presenciados valores que ultrapassaram a concentração máxima permitida de chumbo em água potável¹. Das 100 escolas pesquisadas, 11 apresentavam concentração de chumbo superior a 10 µg de chumbo por litro de água sendo que em duas escolas havia mais de 50µg, (*Teixeira, 2003*).

A análise de pesquisadores da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) revelou que a água de chuva pode conter metais pesados, oriundos do material particulado em suspensão, "lavado" da atmosfera durante a ocorrência de chuvas, em regiões industrializadas ou urbanas. A pesquisadora Silvana Moreira e sua equipe monitoraram a região de Campinas em 3 pontos distintos da cidade. As amostras foram analisadas quanto às suas características físico-químicas e apresentaram pH neutro tendendo, ligeiramente, a ácido (entre 5 e 6), o que é esperado para chuvas em regiões tropicais. Na água de chuva, foram encontrados níquel, chumbo e cromo, (*John, 2005*).

Na região do Vale da Ribeira/PR, estudos revelaram que, apesar da mineradora que existia no local não estar mais exercendo suas atividades desde 1996, a população ainda sofre efeitos da convivência com fontes de contaminação, em especial, do chumbo. As emissões de metais para a atmosfera durante décadas de funcionamento da mineradora e deposição de particulados ocasionando a contaminação de solos apresentam-se como a provável causa da contaminação da população. Aparentemente, devido ao pH da água local ser maior do que oito, os teores de Pb na água estão abaixo de 10µg, mas os sedimentos do rio estão com valores da ordem de 175 mg/L, (*Figueiredo, 2005*).

As crianças são partes da população mais preocupante quanto à contaminação por chumbo, pois elas apresentam uma absorção intestinal de chumbo maior que a dos adultos e os efeitos tóxicos são mais importantes nelas, devido ao período de desenvolvimento cerebral. Além disto, a relação de consumo por quilo de massa é maior do que nos adultos. As crianças mais pobres estão mais sujeitas à intoxicação, devido ao local de residência ser perto de indústrias ou de vias de alto tráfego e à desnutrição, como fator agravante. Níveis moderados de chumbo afetam a memória de longo prazo e a função cognitiva. Crianças que apresentam mais de 10 ppm de chumbo nos cabelos têm maior dificuldade no aprendizado do que as crianças com taxas menores. Além da diminuição do Quociente de Inteligência (QI), podendo levar a dificuldades escolares, o aumento de chumbo no sangue pode causar hiper-atividade, (*Environmental Protection Agency - EPA, 2005; Associação Brasileira de Medicina - ABMC, 2005*).

Segundo a Environmental Protection Agency- EPA, não há cura para danos ocasionados por chumbo, mas há tratamento e o mais importante está na prevenção ou redução à exposição. A remoção da pessoa do ambiente contaminado ajuda a diminuir os níveis de chumbo no sangue. Quanto maior a exposição, maior a probabilidade de danos à saúde. Em alguns casos, os médicos indicam, para diminuir o teor de Pb no sangue, a queloterapia, que é um tratamento, não uma cura.

No presente estudo avalia-se a possibilidade de remoção do chumbo de água, utilizando carvão ativado granulado, obtido pela indústria nacional que usou babaçu como matéria-prima e processo físico de ativação. Os testes serão conduzidos inicialmente em banho finito e, posteriormente, em colunas de leito fixo, com fluxo descendente, utilizando solução sintética de chumbo.

¹ A legislação brasileira, segundo a Portaria 518 de 25 de março de 2004, apresenta um valor máximo permitido de 0,01 mg/L (10 µg/L) de chumbo por litro de água potável.



MATERIAIS E MÉTODOS

Neste estudo a remoção de chumbo presente em uma solução sintética de nitrato de chumbo foi investigada, usando carvão ativado granulado de origem vegetal, produzido a partir de babaçu² e aplicando princípios de adsorção. Utilizou-se a técnica de adsorção em banho finito e em coluna. As características deste material podem ser observadas na tabela (1) a seguir:

<i>Características</i>	<i>Carvão Ativado Granulado</i>
Cinzas (ASTM D2854-83), (%)	7,1
Densidade Aparente (ASTM D2854-83), (g/cm ³)	0,47
Número de Iodo (ASTM D4607-86), (mgI ₂ /gCA)	1039
pH (extrato aquoso a 10 %)	10
Tamanho Nominal (mesh)	12x40
Tamanho efetivo (mm)	0,59
Coeficiente de Uniformidade	1,75
Diâmetro Médio da Partícula (mm)	1,01
Dureza (ASTM 3802-79(1983)).	95

Tabela (1): Características do Carvão Ativado Granulado

O carvão ativado utilizado é um produto comercial disponível no Brasil, utilizado em tratamento de água potável. O fabricante nacional³ utilizou como matéria-prima casca de coco de babaçu, originária da região nordeste do Brasil, e o processo físico de ativação. Como se trata de um carvão ativado granulado, para os testes em coluna utilizou-se o material no seu tamanho comercial (12x40 mesh). Já para os testes em banho finito, o material foi preparado por moagem em moinho de bolas até que, no mínimo, 90 % do seu peso tivesse passado pela malha 325 (ASTM). Também se submeteu a amostra à secagem prévia em estufa a 145-150 graus Celsius por 2 horas.

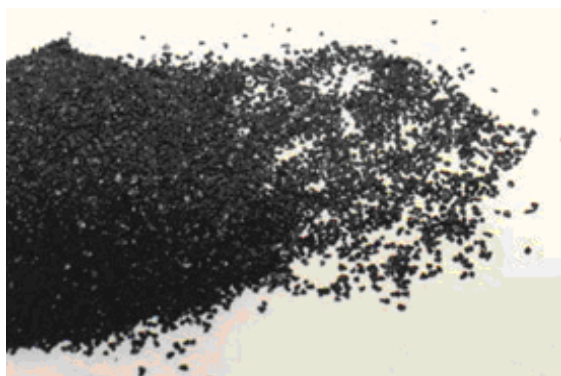


Figura 1 – Carvão ativado granulado



Figura 2 - Carvão ativado granulado (Microscopia Eletrônica)

Na avaliação em banho finito usaram-se isotermas de adsorção, que é um método simples e prático de avaliar o uso de carvão ativado para uma determinada aplicação. Uma isoterma de fase líquida mostra a distribuição do adsorvato (aquele que é adsorvido) entre a fase adsorvente e a fase da solução no equilíbrio. A isoterma de Freundlich é a mais comumente usada para descrever características de adsorção de carvão ativado em fase líquida (como água e efluentes), (Metcalf e Eddy, 2003).

² Babaçu é uma planta pertencente à família das palmáceas, cientificamente chamada de *Orbignya martiana*, encontrada em área da floresta equatorial. De acordo com a EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - (1984), a floresta de babaçu se localiza em 7 estados brasileiros (Maranhão, Tocantins, Piauí, Goiás, Minas Gerais, Mato Grosso e Espírito Santo)

³ Indústrias Químicas Carbomafra S/A, doou a amostra utilizada, www.carbomafra.com.br.



Geralmente uma linha reta pode ser obtida pelo uso de equação empírica de Freundlich, observada na equação 1, que relata a quantidade de adsorvato na solução em relação àquela na fase adsorvida:

$$x/m = k c_e^{1/n} \quad (\text{Equação 1}),$$

Sendo: **k** e **n** constantes empíricas de Freundlich, **x** = quantidade do adsorvato adsorvido, **m** = massa do adsorvente, **x/m** = concentração na fase adsorvente, que é a quantidade de adsorvato adsorvido por unidade de massa do adsorvente, **c_e** = concentração de equilíbrio do adsorvato na solução após a adsorção. Pelo uso de logaritmo pode-se obter uma linha reta da qual o coeficiente angular é **1/n** e **log k** é a interseção desta reta com o eixo y, (Cheremisinoff e Cheremisinoff, 1993; Metcalf e Eddy, 2003).

A isoterma de Langmuir é a primeira isoterma de adsorção desenvolvida teoricamente. Muitas outras equações foram propostas mais tarde onde os ajustes dos resultados experimentais foram baseados nesta equação ou estas equações foram desenvolvidas usando o conceito de Langmuir. Na verdade a equação de Langmuir ainda tem um importante papel nas teorias de adsorção física tanto quanto nas teorias de adsorção química. (Bansal e Goyal, 2005).

A isoterma de Langmuir é definida como mostrada na equação 2:

$$x/m = (a b c_e) / (1 + b c_e) \quad (\text{Equação 2})$$

Sendo **x** = quantidade do adsorvato adsorvido (mg), **m** = massa do adsorvente (g), **x/m** = concentração na fase adsorvente, **c_e** = concentração de equilíbrio do adsorvato na solução, **a** e **b** são constantes empíricas de Langmuir. Nesta isoterma tem-se a preferência da adsorção indicada pela constante **a**, sendo quanto maior o seu valor, maior a preferência de adsorção. A característica essencial da isoterma de Langmuir pode ser expressa pela constante adimensional chamada parâmetro de equilíbrio, a qual é definida como demonstrado através da equação 3:

$$R_L = 1/(1 + b c_o) \quad (\text{Equação 3})$$

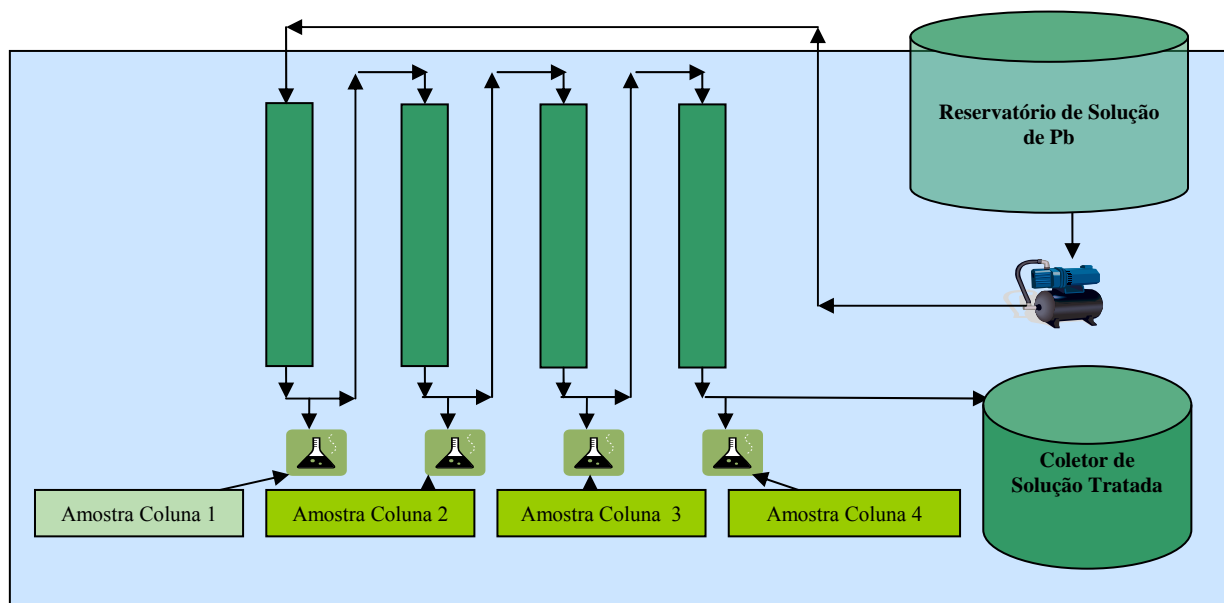
Sendo **c_o** a concentração inicial do metal (mg L⁻¹) e **b** é a constante de Langmuir. Os valores de **R_L** entre 0 e 1 indicam adsorção favorável na análise da isoterma de Langmuir, enquanto o valor de **n** apresenta a mesma função na isoterma de Freundlich quando apresenta valores entre 2 e 10 ou **1/n** de 0,5 a 0,1, (Coelho e colaboradores, 2005).

Para a aplicação dos modelos acima descritos, preparou-se uma solução sintética utilizando água deionizada e nitrato de chumbo II (grau analítico), obtendo-se uma solução com valores aproximados de 50 mg/L de chumbo. Para ajustes de pH utilizou-se ácido nítrico ou hidróxido de sódio (reagentes grau analítico), conforme necessário. Vários copos de Becker foram alinhados e a eles adicionados 200 mililitros de solução recentemente preparada e diferentes quantidades do adsorvente, variando de 0,01 a 0,50 g / 200 ml de solução a ser tratada. Os copos com a solução e carvão ativado moído foram acoplados em aparelho de agitação usando aproximadamente 100 rotações por minuto. Investigaram-se tempos de contatos variando de 10 a 90 minutos. Após a agitação as soluções foram filtradas por gravidade, usando papel de filtro qualitativo de uso comum. Os filtrados foram coletados e o chumbo determinado por absorção atômica, usando equipamento Varian 50 B – Atomic Absorption Spectrometer Spectra AA. Foram realizados testes em triplicata, com o pH da solução ajustado para 5. Observou-se que o pH da solução nesta concentração de chumbo e usando água deionizada, já ficou muito próximo de 5, pouco necessitando de ajustes. No decorrer do experimento, observou-se que o pH da solução final, ou seja, após o tratamento com o carvão ativado, apresentava-se alterado. Sendo assim, passou-se a controlar e manter o pH na faixa de 5 com a adição de ácido nítrico, a cada teste executado. Também se considerou a possibilidade de trabalhar com pH 2, condição similar àquela presente em indústrias de anodização ou de baterias, quando o pH do efluente está em torno de 2. Os testes foram realizados à temperatura de 22 graus Celsius.

Já para os testes em coluna, empregou-se água de rede pública, na qual foi adicionado nitrato de chumbo grau analítico até a concentração de 46,6 mg/Litro. Foram utilizadas colunas transparentes com diâmetro interno de 45 mm e 335 mm de comprimento, em suporte vertical. Os fundos das colunas foram fechados e foi utilizada tela de inox de 60 mesh para reter o carvão ativado, sendo providas saídas em cada coluna. Conexões foram providenciadas no topo e no fundo para admissão e descarga da solução. A regulação da vazão foi realizada para o valor de 100 mililitros / minuto, o que corresponde a uma taxa de 6,29 m³/m²h. Quatro colunas iguais foram alinhadas em série, com pontos de amostragens independentes, à saída de cada coluna e na entrada da primeira coluna também.



Figura 3 - Montagem das Colunas em Série com Tomada de Amostras.



Pesou-se o carvão ativado (280,71 g), em base seca, transferiu-se para Erlenmeyer de 1L e adicionou-se água destilada, o suficiente para cobrir o material, fervendo por 2 horas para remover o ar ocluso. Transferiu-se o carvão ativado granulado desaerado para a primeira coluna, em pequenos incrementos, mantendo um fio de água durante a transferência. Quando necessário, as bolhas de ar remanescente no material foram removidas pela retrolavagem da coluna com 10 a 25 % de expansão do leito por 3 a 5 minutos. O mesmo procedimento foi realizado para a coluna 2, coluna 3 e coluna 4. Percolou-se a solução pelas colunas carregadas com carvão ativado granulado, por fluxo descendente, mantendo-se o nível do líquido acima do leito. As amostras da solução da entrada e da saída de cada coluna foram coletadas periodicamente e analisadas. A frequência de amostragem foi estimada considerando-se a duração esperada do teste. Com base na isoterma obtida com o teste de banho finito, estimou-se o tempo de saturação do leito de carvão ativado.

RESULTADOS OBTIDOS COM BANHO FINITO

Os resultados obtidos no estudo cinético em banho finito para solução com pH 5 indicaram que o tempo de contato de 10 minutos já se mostra suficiente, havendo pouca variação para tempos maiores. Utilizaram-se os modelos de Freundlich e Langmuir, inicialmente aplicando-se aos 10 pontos obtidos. Percebeu-se que há um comportamento distinto para os 5 primeiros pontos (os quais apresentavam pH abaixo de 5,9) e para os 5 últimos pontos (com pH residual acima de 6) e então se avaliou em dois grupos separadamente, denominados: Parcial A (5 primeiros pontos obtidos com as menores massas testadas) e Parcial B (5 últimos pontos obtidos com as maiores massas testadas). Esta divisão de pontos foi feita em função da variação do pH final da solução, pois a partir do sexto ponto o pH ficou acima de 6 (pH de precipitação de $\text{Pb}(\text{OH})_{2(s)}$). Já para os testes executados com pH 2 não houve remoção de chumbo, apresentando variações desprezíveis. Observa-se na tabela 2 os dados obtidos para os modelos de Freundlich e Langmuir.

Nota-se que no valor de pH próximo a 6 ocorre mudança na isoterma há uma inflexão, gerando dificuldades para a aceitação dos modelos propostos. Quando se avaliou o resultado em relação a todos os pontos testados, o modelo de Freundlich não apresentou linearidade (coeficiente de correlação linear R). Quando aplicado para valor de pH abaixo de 6, a correlação aumentou.

Pontos Considerados	Modelo Freundlich, $x/m = k c_e^{1/n}$				Modelo Langmuir, $x/m = (ab c_e) / (1 + b c_e)$			
	pH	k	1/n	R	a (mg/g)	b (L/mg)	R	R _L
Todos os Pontos	5 a 7,35	14,74	0,645	0,7797	-	-	-	-
Parcial A	≤6	9.10 ⁻³	3,447	0,9484	-	-	-	-
Parcial B	≥6	17,71	0,22	0,9849	30,3	0,129	0,98873	0,17
Pontos com pH constante	≤6	2,31x10 ⁻³	3,5954	0,94161	-	-	-	-

Tabela 2 – Resumo das isotermas

Observa-se que o modelo de Langmuir não é aplicável para estas condições de teste, mas pelo exercício de aplicação apresentado, há indicação de que o modelo poderia vir a ser utilizado para valores de pH acima de 6. Recomendam-se estudos complementares de aplicabilidade dos modelos em relação a diferentes faixas de pH.

RESULTADOS OBTIDOS COM TESTES EM COLUNA

Para o cálculo da capacidade de adsorção, utilizaram-se os dados obtidos com a primeira coluna. Plotou-se o volume de líquido passado pela coluna 1 nas abscissas e a correspondente concentração do efluente no eixo das ordenadas. Integrou-se a área entre as curvas de afluente e o ponto final de interesse, pela utilização do programa *Origin 4.0 – Data Analysis and Technical Graphics (Stirling Technologies, Inc)*, para determinar a quantidade de constituinte adsorvido. A capacidade adsorvida resultou 22,97 mg Pb/g de carvão ativado.

Dando sequência ao teste para obtenção da zona de transferência de massa, a solução continuou a ser passada pelas 4 colunas, medindo-se o volume percolado. Seguem, na figura 4, os volumes tratados em cada coluna.

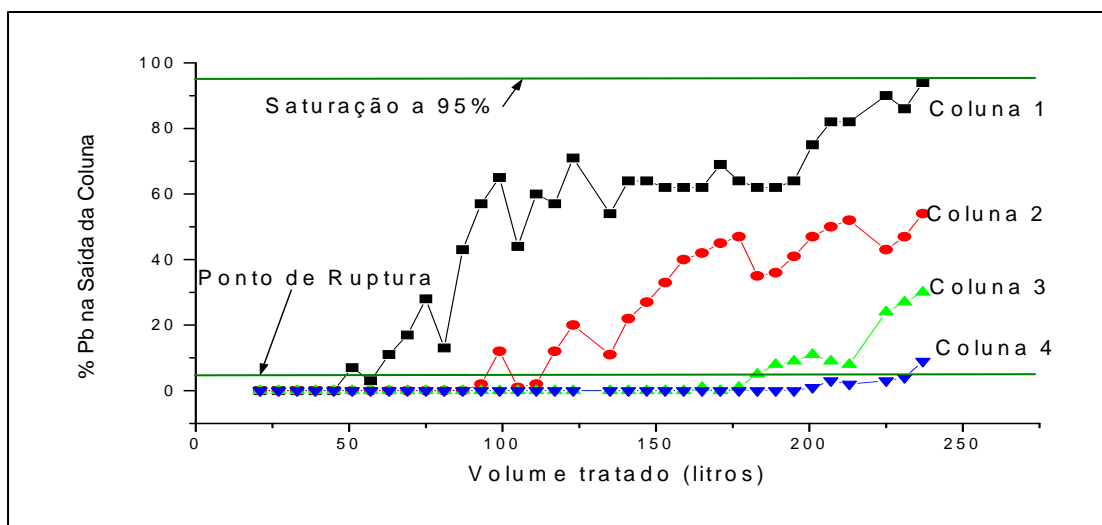


Figura 4 - Volume tratado pelas colunas 1 a 4

Considerou-se o ponto de ruptura para o valor aproximado de 95 % de remoção, ou seja, com a concentração de saída de aproximadamente 5 % de Pb remanescente no efluente. O valor entre o ponto de ruptura e o ponto de saturação indica a zona de transferência de massa (ZTM). Observando a dimensão da zona de transferência de massa, temos o carvão ativado granulado saturado no início dela, enquanto que o carvão ativado granulado no final desta está parcialmente adsorvido. É nesta área em que a adsorção ocorre, sendo importante determinar o seu tamanho para que no projeto da coluna se possa aproveitar ao máximo a capacidade de adsorção do material adsorvente.



$$HZTM = L \cdot (V_s - V_r) / \{V_s - [0,5 \cdot (V_s - V_r)]\} \quad (\text{Equação 4})$$

Sendo:

- HZTM = altura da zona de transferência de massa, metro.
- L = comprimento da coluna de adsorção, metro.
- V_s = volume percolado pela coluna até a saturação, L ou m^3 .
- V_r = volume percolado pela coluna até o ponto de ruptura, L ou m^3 .

Aplicando à equação 4 os dados apresentados, obtém-se a altura da zona da transferência de massa, HZTM = 0,42 m.

A partir dos dados da figura 4, determinou-se o volume tratado de cada coluna até o valor do ponto de ruptura. Dividiu-se a massa do carvão ativado granulado de cada coluna pelo volume do líquido tratado até este ponto, obtendo-se os pontos para a curva de dosagem, conforme demonstrado na tabela 3.

	Coluna 1	Coluna 2	Coluna 3	Coluna 4
Volume Tratado (L)	55	112	180	230
C.Ativado/Volume (g/L)	5,09	2,50	1,56	1,22
Altura de Leito (m)	0,335	0,670	1,005	1,340

Tabela 3 - Dados obtidos para curva de dosagem

Com base nos dados da tabela 3, foi possível construir a figura 5, obtendo-se a curva de dosagem para o experimento.

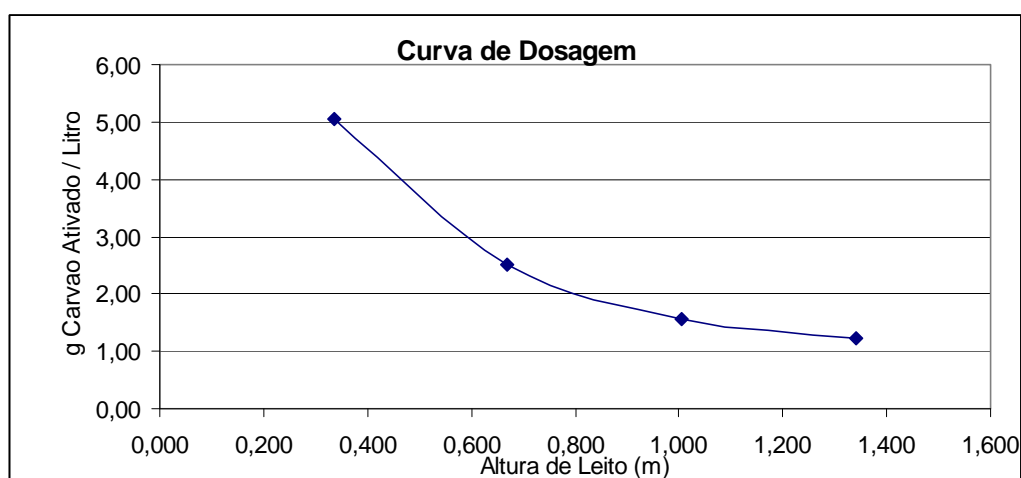


Figura 5 - Curva de Dosagem para Carvão Ativado Granulado de Babaçu

Observando-se os dados da coluna, que seria para uma coluna de um estágio, se pode sugerir um projeto em escala maior de duas colunas em série com profundidade de leito de 1,10 metro, pois a primeira coluna ficará mais saturada enquanto a segunda coluna receberá o líquido previamente tratado pela primeira. Na verdade, o projetista poderá conciliar as alternativas de ordem prática e os dados obtidos para a saturação da coluna. Entretanto, a velocidade linear deve ser observada para as condições dos testes realizados. Se a velocidade for menor, a zona de transferência de massa será mais curta e ao contrário, se a velocidade for maior, a zona de transferência de massa aumentará, podendo extrapolar a profundidade da coluna. Recomenda-se que a velocidade linear não ultrapasse 15 % do valor testado.



CONCLUSÕES

O carvão ativado de babaçu nos testes de banho finito removeu chumbo da solução sintética de nitrato de chumbo, com pH inicial 5. Entretanto, em solução sintética de nitrato de chumbo com pH 2 a remoção de chumbo não ocorreu. Observou-se forte influência do pH nos resultados, sendo a remoção de chumbo favorecida para pH com valores superiores a 6. A remoção ocorre por adsorção sobre a superfície do adsorvente, e a precipitação hidróxida a pH próximo de 6 interfere na aplicação dos modelos cinéticos de Freundlich e Langmuir, indicando condições restritivas para o seu uso. Para pH abaixo de 6 o modelo de Freundlich apresentou boa correlação linear, mas Langmuir não se apresentou adequado.

Nos testes em coluna usando solução sintética de nitrato de chumbo o carvão ativado granulado de babaçu mostrou-se eficiente na remoção de Pb, podendo ser utilizado para esta finalidade, tendo apresentado capacidade de remoção de 22,97 mgPb/g carvão ativado, com taxa de filtração de 6,29 m³/m²h.

RECOMENDAÇÕES

Na seqüência de estudos, recomenda-se realizar provas em coluna para o material utilizando variação da velocidade linear e concentrações diferentes daquela testada e estudos de regeneração do carvão ativado.

Recomendam-se estudos de aplicabilidade dos modelos cinéticos em função da variação da faixa de pH da solução e a investigação de um fator de precipitação que influencia a adsorção de Pb para a faixa de pH a valores próximos de 6.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGUIAR, M. R. M. P; NOVAES, A.C; GUARINO, A.W.S. – Química Nova- Volume 25 No 6b – São Paulo – Novembro/Dezembro 2002.
2. ASSEMA - Associação em Áreas de Assentamento no Estado do Maranhão – Pesquisado em 20/03/2007 - <http://www.assema.org.br/geral.php?id=Coco%20babaçu>
3. ASTM STANDARDS - Activated Carbon – 1987 -Annual Book of ASTM Standards.
4. BANSAL, ROOP CHAND; GOYAL, MEGNAKSHI– Activated Carbon Adsorption, Taylor e Francis Group – Boca Raton-Flórida – USA-2005.
5. BHATTACHARJEE, S ; CHAKRABARTY, S ; MAITY, S ; KAR, P; THAKUR, BHATTACHARYYA, G; - Removal of lead from contaminated water bodies using sea nodule as an adsorbent, Water Research 37 3954-3966,2003.
6. CHEREMISINOFF, NICOLAS P.; CHEREMISINOFF, PAUL N. – Process and Pollution Control Equipment – PTR Prentice Hall, Inc, New Jersey, 1993.
7. COELHO, C.F.; SOUZA,V.P; NASCIMENTO,M. – Adsorção de Metais Pesados em Zeólitas Sintetizada a parti de tratamento alcalino hidrotérmico de cinza de carvão – XIII Jornada de Iniciação Científica CETEM -2005.
8. EPA [Environmental Protection Agency](#) NLIC Inquiry Joanna,NLIC Information Specialist: Monday, May 16, 2005 4:01 PM.
9. FIGUEIREDO, BERNARDINO; Contaminação Ambiental e humana por chumbo no Vale do Ribeira (SP-PR)- Ciência , 10/11/2005-<http://www.comciencia.br> .
10. JOHN, Liana - Jornal Estado de São Paulo, 07/12/05-UNICAMP identifica metais pesados na água da chuva.
11. MACHIDA, MOTOI; AIKAWA, MASAMI; TATSUMOTO, HIDEKI; – Prediction of simultaneous adsorption of Cu(II) and Pb (II) onto activated carbon by conventional Langmuir type equations , Journal of Hazardous Materials B 120 271-275,2005.
12. METCALF E EDDY – Wastewater Treatment and Reuse – 4Ed – New York – Mc Graw Hill, 2003.
13. REED, B. E.; ROBERTSON, J.; JAMIL, M. – Regeneration of Granular Activated Carbon (GAC) Columns used for removal of lead, Journal of Environmental Engineering, pp653-661, September 1995.
14. TEIXEIRA, M.A. – Uma Agenda para o Babaçu - Revista Econômica do Nordeste, Fortaleza, v. 34, nº 4, out-dez.