

PROCESSO CONTÍNUO DE ADSORÇÃO DE ALUMÍNIO EM COLUNA DE CARVÃO ATIVADO

L. R. Oliveira¹, M. A. Barros¹, M. R. Franco Júnior

- 1- Aluna de Pós- graduação em Engenharia Química (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Química - Universidade Federal de Uberlândia
Avenida João Naves de Ávila, 2121 – CEP: 38408-100, Bloco 1K, Campus Santa Mônica - Uberlândia -MG, Brasil
Email: letciarakel@gmail.com
Email: moilton@ufu.br

RESUMO: A poluição do ambiente aquático é uma questão séria e ponto central de debates no mundo todo, pois a água é um recurso vital e de extrema importância para o desenvolvimento industrial e econômico. Dentre a vasta gama de poluentes da água pode-se citar os metais pesados e metais como o alumínio, que interfere, significativamente, no ambiente aquático quando em excesso. A principal fonte de alumínio na água é devida ao residual encontrado após o tratamento com sais de alumínio. Este trabalho teve como objetivo principal a remoção de alumínio residual de uma corrente líquida tratada com sulfato de alumínio. Foi investigada a remoção desse íon metálico empregando um sistema contínuo de adsorção em carvão ativado em uma coluna de leito fixo para três diferentes tamanhos de partícula de adsorvente. Os resultados se mostraram satisfatórios e apresentaram uma boa opção de tratamento de efluentes contaminados com alumínio, sendo as granulometrias de 60 e 270 mesh que apresentaram os melhores resultados para uma vazão de 12,1 mL min⁻¹.

PALAVRAS-CHAVE: remoção de alumínio, adsorção, carvão ativado

ABSTRACT: The pollution of the aquatic environment is a serious issue and central to debates worldwide, since water is a vital and extremely important for the industrial and economic development resource. Among the wide range of water pollutants are heavy metals and metals such as aluminum, which significantly interferes with water when in excess. The main source of aluminum in the water is due to residual found after treatment with aluminum salts. This work was aimed at removing residual aluminum ion of a liquid stream treated with aluminum sulfate. Removal of this metal was investigated using a continuous system of activated carbon adsorption in a fixed bed column for three different particle sizes of adsorbent. The results were satisfactory and could be a good option for treatment of effluents contaminated with aluminum, and the particle sizes of 60 and 270 mesh showed the best results for the flow rate of 12.1 mL min⁻¹.

KEYWORDS: removal of aluminum, adsorption, activated carbon

1. INTRODUÇÃO

As alterações climáticas, o desenvolvimento das indústrias, o crescente conhecimento científico e a alteração dos padrões da sociedade suscitam, nos dias de hoje, a emergência de novos desafios no que

se refere à qualidade da água destinada ao consumo humano (Rosalino, 2011).

A poluição do ambiente aquático é uma questão séria e ponto central de debates no mundo todo, pois a água é um recurso vital e de extrema importância também para o desenvolvimento industrial e econômico.



Nas últimas décadas, a principal preocupação envolvendo o tratamento da água para consumo humano deixou de ser apenas com questões que envolvem microrganismos patológicos capazes de comprometer a qualidade da água e causar doenças, passando, com o conhecimento dos efeitos da exposição na saúde humana a substâncias químicas, a englobar também a qualidade química da água no que diz respeito a toxicidade de substâncias inorgânicas como os metais.

Dentre a vasta gama de poluentes inorgânicos da água encontram-se os metais pesados e metais como o alumínio, que, apesar de não ser classificado como metal pesado, interfere significativamente no ambiente aquático quando em excesso. Esse elemento metálico é encontrado naturalmente na água, porém, em concentrações muito baixas, sendo ainda a principal fonte de contaminação da água as ações antropogênicas. De acordo com Ricordel (2001), pesquisas e dados recentes mostram que os níveis de metais têm crescido acentuadamente em águas subterrâneas e superficiais, devido ao lançamento indiscriminado de efluentes oriundos da atividade industrial.

Na água destinada ao abastecimento público é comum a existência de um residual de alumínio, liberado para o meio ambiente, principalmente, por processos naturais, como a dissolução de rochas em meio ácido, acrescido também, pela utilização recorrente de coagulantes à base de sais de alumínio (Almeida *et al.*, 2013) no tratamento.

No Brasil, a principal fonte de alumínio na água de consumo humano é proveniente do uso de sulfato de alumínio como coagulante no tratamento da água. De acordo com a Resolução CONAMA nº357/2005, o limite máximo de alumínio dissolvido em águas de classes I, II é de $0,1 \text{ mg L}^{-1}$, e para classe III é de $0,2 \text{ mg L}^{-1}$. Sendo também de $0,2 \text{ mg L}^{-1}$ o limite máximo permitido para o lançamento de efluentes contendo alumínio em corpos receptores.

O tratamento clássico de efluentes contendo íons de metais potencialmente

tóxicos envolve processos físico-químicos como a precipitação química, podendo ser feita, por exemplo, pela adição de uma base (geralmente hidróxido de cálcio) ao efluente, de modo que haja a formação de espécies metálicas insolúveis sob a forma de hidróxidos e/ou óxidos. Processos subsequentes de sedimentação e filtração são então realizados, para que, posteriormente, a água tratada possa ser recuperada. Contudo, essas técnicas tradicionais são inadequadas para a descontaminação de grandes volumes de efluentes contendo íons de metais potencialmente tóxicos em baixas concentrações, devido a baixa eficiência operacional e aos elevados custos de extração resultante deste processo (Carvalho e Bueno, 2007; Nerbitt e Davis, 1994).

Frente a todos esses problemas causados pela presença do alumínio e outros metais na água, além da baixa eficiência dos tratamentos clássicos, novas tecnologias de tratamento mais apropriadas estão sendo estudadas e propostas no sentido da remoção de metais, como o alumínio, da água bruta e tratada. Uma tecnologia bastante conhecida e já utilizada é a adsorção em carvão ativado, que, entre os métodos clássicos de tratamento de efluentes, apresenta vantagens como a baixa geração de resíduos, fácil recuperação dos metais e a possibilidade de reutilização do adsorvente.

A adsorção em carvão ativado é bastante utilizada para remoção de cor, odor e sabor da água, mas seu uso vem sendo aprimorado na remoção de compostos inorgânicos também. O uso do carvão ativado como adsorvente na remoção de compostos inorgânicos se aplica desde a indústria metalúrgica, na química analítica e tratamento de água e efluentes, além de ser aplicado na indústria de bebidas e alimentos.

Dessa forma, o objetivo deste estudo foi verificar a potencialidade de remoção de alumínio residual de água previamente tratada com sais de alumínio, empregando-se um processo contínuo para adsorção em uma coluna de leito fixo recheada com carvão ativado em escala de bancada. Foi avaliada a



capacidade de retenção de alumínio, presente em meio aquoso, pelo carvão ativado, comparando três faixas granulométricas, bem como a influência da vazão de fluido pela coluna.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os estudos de adsorção foram realizados em colunas com 1,6 cm de diâmetro e 20 cm de comprimento. Foi utilizada uma massa do carvão em pó igual a 6,0 gramas para as três granulometrias de adsorvente.

Como adsorvente foi utilizado o carvão ativado em pó fabricado por Cromato Produtos Químicos LTDA, sem nenhum tipo de tratamento prévio. Foi feito o peneiramento de 500 gramas de carvão ativado em pó em três granulometrias distintas. O carvão foi peneirado utilizando um sistema de peneiras com vibrador da marca Retsch® modelo AS 300, sendo obtidas as granulometrias de 60, 100 e 270 mesh.

O efluente contendo alumínio a ser tratado foi produzido no próprio laboratório reproduzindo um efluente real de uma empresa de produtos de limpeza. Os valores de seus constituintes foram determinados por um estudo prévio do efluente que era gerado na produção dessa indústria após passar por tratamento convencional na ETE. Neste estudo, foi determinada a faixa de pH 7,5 - 8,5, na qual o alumínio se encontra solúvel na forma complexada como $Al(OH)_4^-$. O efluente utilizado simulou o efluente já tratado que seria lançado na rede com concentração residual de 5 mg L^{-1} de alumínio, proveniente do tratamento com sulfato de alumínio na etapa de coagulação. Foi preparado 40 L da mistura composta de água, shampoo automotivo, betaína, areia, ácido sulfônico.

O tanque com o efluente foi agitado constantemente pela utilização de um agitador magnético da marca Tecnal modelo TE - 0852. Foi utilizada uma bomba dosadora de marca Mega Flux que possibilitou o controle da passagem do efluente contendo alumínio

pela coluna com vazões volumétricas de $12,1$ e $36,1\text{ mL min}^{-1}$.

Alíquotas do efluente após passar pela coluna foram recolhidas em intervalos de tempo de uma hora e analisadas em seguida. A quantificação do metal em solução foi feita por espectrofotometria UV em um espectrofotômetro da marca Spectrum Série SP 2100 modelo SP 2000 UV, utilizando-se curva analítica de calibração preparada a partir de diluições de uma solução de Al contendo 10 mg L^{-1} e ajuda de um kit da Alfakit para detecção de alumínio baseado no método colorimétrico descrito no *Standard Methods*.

Os testes foram realizados à temperatura ambiente ($\sim 25\text{ }^\circ\text{C}$), sendo medido, antes e após a passagem pela coluna, o pH através de pHmetro digital portátil Gehaka modelo PG 1400, a condutividade usando condutivímetro da marca Intrutherm modelo CD 850, a turbidez pelo turbidímetro Policontrol modelo AP 2000. Na Figura 1 é apresentado o esquema experimental montado no laboratório da UEPq-Segismundo.

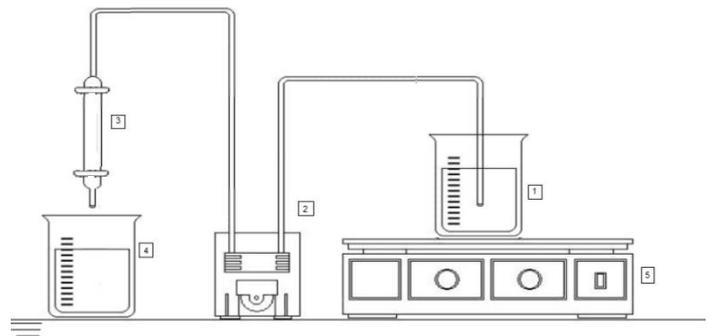


Figura 1. Esquema representativo do sistema experimental. 1-Tanque com o efluente, 2-Bomba dosadora, 3-Coluna de leito fixo de carvão ativado, 4-Recipiente coletor de efluente tratado, 5-Agitador magnético.

As colunas operaram em vários experimentos para as diferentes granulometrias

do carvão ativado e para duas vazões distintas de fluido, cabe ressaltar que apesar de se realizar experimentos longos, até de 14 horas, notou-se que as referidas não chegaram a atingir a saturação em todos os casos. Isso influenciou negativamente, pois não possibilitou a determinação de parâmetros de eficiência de transferência de massa no leito como Zona de Transferência de Massa, Quantidades útil e total de remoção.

Foram calculadas os percentuais de remoção de alumínio através da Equação 1 e sintetizados gráficos comparativos das curvas de ruptura para as corridas em que se variou a faixa granulométrica do carvão ativado e a vazão mantendo a massa em 6 gramas de carvão.

$$\% R = \left| \frac{C_t^{Al} - C_{t-v}^{Al}}{C_{t=0}^{Al}} \right| \cdot 100 \quad (1)$$

Onde, $C_{t=0}^{Al}$ é a concentração inicial de alumínio e C_t^{Al} é a concentração de alumínio medida no tempo t .

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados indicaram que a coluna de leito fixo com carvão ativado apresentou uma boa eficiência de retenção de alumínio, através da capacidade adsortiva do carvão.

Na Figura 2 são apresentadas as curvas de ruptura em função do tempo de operação da coluna para as granulometrias de 60, 100 e 270 mesh e vazão de 12,1 mL min⁻¹.

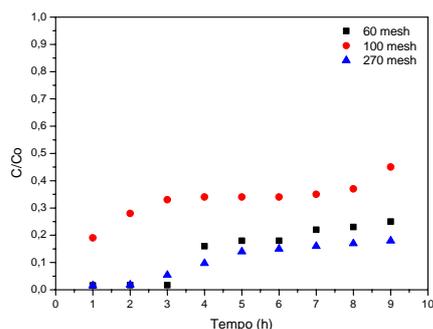


Figura 2. Curvas de ruptura para alumínio para granulometrias de 60, 100 e 270 mesh e vazão 12,1 mL min⁻¹.

Foi observado que para a vazão de 12,1 mL min⁻¹, as melhores faixas granulométricas foram as de 60 e 270 mesh, apresentando remoções mais elevadas se comparada com a granulométrica de 100 mesh. As concentrações de alumínio, após a passagem pela coluna de leito fixo, para a granulometria 270 mesh, foram inicialmente muito baixas, o que evidencia a boa capacidade do carvão ativado na retenção do alumínio residual, devido à sua grande área superficial e porosidade elevada. Com o decorrer do processo, as concentrações foram se elevando indicando a tendência do adsorvente chegar ao estado de saturação. Comportamento semelhante foi observado para a faixa granulométrica de 60 mesh, porém com um comportamento mais uniforme. A granulometria de 100 mesh, se comparada à de 60 mesh, se apresentou pior contradizendo dados da literatura que indicam ser melhores as partículas de menores diâmetros devido ao aumento da área superficial.

Na Figura 3 são apresentadas as curvas de ruptura em função do tempo de operação da coluna para as granulometrias de 60, 100 e 270 mesh e vazão de 36,1 mL min⁻¹.

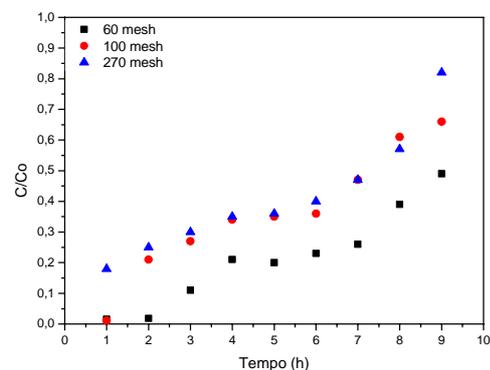


Figura 3. Curvas de ruptura para o alumínio para granulometrias de 60, 100 e 270 mesh e vazão 36,1 mL min⁻¹.

Com o aumento da vazão de 12,1 para 36,1 mL min⁻¹, foi observado na Figura 3, que



a granulometria que proporcionou a melhor remoção de alumínio residual foi a de 60 mesh. Esse fato pode ser explicado devido ao aumento da vazão não proporcionar tempo de contato suficiente entre as fases diminuindo assim a capacidade de adsorção do carvão ativado. Além disso, o aumento da vazão pode provocar problemas difusionais como a formação de canais preferenciais, principalmente quando a granulometria do carvão é menor, o que deve ter ocorrido para as granulometrias de 100 e 270 mesh.

Nas Tabelas 1 e 2 são apresentados os resultados obtidos para as duas vazões de operação das colunas de leito fixo para as granulometrias estudadas.

Tabela 1. Concentrações e percentuais de remoção de alumínio para as diferentes granulometrias de carvão ativado e vazão de 12,1 mL min⁻¹

	60 mesh		100 mesh		270 mesh	
	C	% R	C	% R	C	% R
	(mg L ⁻¹)		(mg L ⁻¹)		(mg L ⁻¹)	
1	0,08	98,4	0,99	81,0	0,08	98,5
2	0,085	98,3	1,5	71,3	0,093	98,2
3	0,088	98,2	1,75	66,5	0,28	94,5
4	0,82	83,4	1,77	66,1	0,53	90,5
5	0,91	82,0	1,77	66,1	0,74	85,7
6	0,93	81,6	1,79	65,7	0,79	84,5
7	1,13	77,7	1,85	64,6	0,85	83,4
8	1,18	76,7	1,97	62,3	0,88	82,8
9	1,28	74,7	2,35	55,0	0,91	82,2
10	1,3	74,3	2,6	50,3	1,35	73,6
11	1,31	73,1	2,65	49,3	1,89	63,1
12	2,73	46	4,63	11,5	--	--
M		80,5		59,1		78,0

Tabela 2. Concentrações e percentuais de remoção de alumínio para as diferentes granulometrias de carvão ativado e vazão de 36,1 mL min⁻¹

	60 mesh		100 mesh		270 mesh	
	C	% R	C	% R	C	% R
	(mg L ⁻¹)		(mg L ⁻¹)		(mg L ⁻¹)	
1	0,084	98,4	0,06	98,9	0,95	81,5
2	0,091	98,2	1,11	78,1	1,29	74,9
3	0,58	88,5	1,41	72,2	1,56	69,6
4	1,05	79,2	1,75	65,6	1,89	63,2
5	1,06	79,0	1,8	64,5	1,82	64,6
6	1,35	73,2	1,85	63,6	2,07	59,7
7	1,35	73,3	2,43	52,2	2,45	52,3
8	1,98	60,8	3,15	37,6	2,95	42,6
9	2,51	50,3	3,41	32,5	4,19	18,5
10	2,97	41,2	3,68	27,1	--	--
11	--	--	4,27	16,1	--	--
M		74,5		56,0		58,5

Os resultados apresentados na Tabela 1 indicaram ser o carvão ativado de granulometria de 60 e 270 mesh os que apresentaram as maiores remoções médias (M) de alumínio residual. Em relação à Tabela 2, foi observado que, com o aumento da vazão, somente a granulometria de 60 mesh obteve melhor resultado na remoção média de alumínio residual.

A faixa granulométrica se mostrou importante no estudo da remoção do alumínio residual de um efluente. Granulometrias com partículas de menores diâmetros apresentam uma capacidade melhor de adsorção, no entanto isso não foi observado de forma precisa nesse estudo. É sabido que carvões ativados comerciais possuem área superficial elevada, no entanto a área superficial disponível para a adsorção depende da natureza do adsorvato e as interações com a

superfície do adsorvente. Além disso, o carvão tem elevada microporosidade e grau de grupos funcionais em sua superfície.

No entanto, segundo Cheremisinoff & Cheremisinoff (1993), para aumentar a velocidade de adsorção e diminuir o tempo de saturação, é recomendado que o carvão ativado granulado seja pulverizado tal que 95% seja passante por peneira de 325 mesh (0,037 mm). O aumento na área superficial em muitos casos é menor do que 1%, devido ao fato de que a maior parte da área superficial é favorecida pelas paredes dos poros mais do que pela superfície externa das partículas do carbono.

4. CONCLUSÃO

O uso do carvão ativado em processo de adsorção contínuo foi bastante satisfatório para a remoção de alumínio residual de águas tratadas com sais de alumínio. De um modo geral, uma vazão menor proporciona um maior tempo de contato entre o líquido e a superfície do adsorvente promovendo um processo mais efetivo de remoção do alumínio residual pelo carvão ativado.

Assim, foi possível concluir que menores vazões favorecem a adsorção, ao passo que vazões mais elevadas diminuem o tempo de contato e podem incentivar a formação de canais preferenciais.

5. REFERÊNCIAS

ALMEIDA J. S., ROCHA N. R. A. F, FRANCO JUNIOR M. R., Treating Domestic Greywater and Expectations to be Reused, *American Journal of Environmental Engineering* 2013, 3(4): p. 195-198.

CARVALHO W. A.; BUENO, C. I. C.; Remoção de chumbo (II) em sistemas contínuos por carvão ativado com vapor, *Quim. Nova* 2007, 30, 1911.

CHEREMISINOFF, N.P.; CHEREMISINOFF, P. N., *Process and Pollution Control Equipment* – PTR Prentice Hall, Inc, New Jersey, 1993.

NERBITT, C. C.; DAVIS, T. E. Em *Extraction and Processing for the Treatment and Minimization of Waste*; Nerbitt, C. C., ed.; The Mineral, Metals and Materials Society: San Francisco, 1994.

RICORDEL, S.; TAHA, S.; CISSE, I.; DORANGE, G.. Heavy metals removal by adsorption onto peanut husk carbon: characterization, kinetic study and modeling. *Separation and Purification Technology*, v. 24, p. 389-401, 2001.

ROSALINO M. R.R., Potenciais Efeitos da Presença de Alumínio na Água de Consumo Humano. 85 p., (Dissertação de mestrado), Universidade Nova de Lisboa - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Lisboa, 2011.