



Remoção de alumínio por via biotecnológica

Removal of aluminum by means of biotechnological

L. F. Correia¹; D. F. Bispo¹; R. L. Pagano²; E. J. Santos²; A. S. Silva³; C. F. Silva¹

¹Departamento de Engenharia Química/Laboratório de Bioquímica Industrial, Universidade Federal de Sergipe, 49100-000, Aracaju - Se, Brasil

²Departamento de Engenharia Química/Laboratório de Química Industrial, Universidade Federal de Sergipe, 49100-000, Aracaju - Se, Brasil

³Departamento de Matemática, Universidade Federal de Sergipe, 49100-000, Aracaju - Se, Brasil

laisfreire1@hotmail.com;

(Recebido em 11 de agosto de 2015; aceito em 20 de outubro de 2015)

A água é considerada como a base para o desenvolvimento humano e dos demais seres-vivos. Para minimizar os efeitos gerados por agentes externos e ambientais as águas passam por uma série de tratamentos. De forma natural as águas possuem elementos físicos, químicos e biológicos que as caracterizam e indicam o tipo adequado de tratamento a ser feito. Dentre os agentes químicos está o alumínio (Al^{3+}), o qual além de ser encontrado de maneira natural, é também adicionado no processo de tratamento de água na etapa de coagulação como agente clarificante. O alumínio é considerado um dos principais contaminantes que precisa ser removido com maior efetividade devido as suas características bioacumulativas e estar relacionado a doenças neuro degenerativas, como o Alzheimer. A fim de minimizar a concentração do alumínio, o presente trabalho teve como objetivo remover o mesmo com o auxílio de microrganismos. Inicialmente foram determinados os pontos ideais de pH, concentração e o tipo de alumínio a ser testado, e em seguida foram feitos ensaios de seleção com bactérias previamente isoladas de manguezal e de planta de biodiesel. Uma redução de 30,67% do alumínio existente no meio foi evidenciada com a bactéria ANAE 02 isolada de manguezal.

Palavras-chave: Remoção, bactéria, alumínio.

Water is considered as the base for the development of humans and others life forms. In order to minimize the effects generated by external and environmental agents, water goes through a series of processes. In a natural way, water possesses physical, chemical and biological elements that characterizes it and indicates the proper treatment to be done. Among the chemical agents is the aluminum (Al^{3+}), which, even though it can be found in a natural way, is also added in the process of water treatment in the coagulation stage as clarifying agent. The aluminum is considered one of the main contaminants that need to be removed with better effectiveness due to it possessing bio cumulative characteristics and being related to the cause of neurodegenerative diseases, such as Alzheimer. In order to minimize the concentration of aluminum, the present work has as objective removing the aluminum with the use of microorganisms. For the present work, it was initially determined the ideal points of pH, concentration and the type of aluminum to be tested, and then the experiments of selection with previously isolated bacteria from mangroves and biodiesel plants were done. A reduction of 30,67% of the existing aluminum in the medium was evidenced with the bacteria ANAE 02 isolated from mangrove.

Keywords: Removal, bacteria, aluminum.

1. INTRODUÇÃO

A água é reconhecida como sendo um recurso natural indispensável, tanto na composição dos seres vivos, como no meio de conservação de várias espécies vegetais e animais. Da mesma forma possui incontáveis valores econômicos e socioculturais, sendo considerada uma riqueza do planeta [1].

A água doce é propícia para o consumo humano, antes de ser distribuída à população passa por um processo de tratamento, o qual inclui tecnologias que são classificadas como convencionais, que compreendem todas as etapas tradicionais (coagulação, floculação, decantação e filtração), e como não convencionais, que envolvem filtração direta ascendente e descendente, a dupla filtração e a filtração lenta [2].

Dentre os produtos mais eficientes usados na etapa de coagulação está o sulfato de alumínio $[Al_2(SO_4)_3]$, o qual é amplamente utilizado no tratamento de água potável promovendo a excelente coesão na formação dos flocos, aumentando assim a sua densidade que posteriormente serão decantados na etapa de sedimentação. Além disso, o sulfato de alumínio $[Al_2(SO_4)_3]$, apresenta fácil transporte e manejo, possui baixo custo e é de fácil obtenção [3,4].

Quando o sulfato de alumínio $[Al_2(SO_4)_3]$ é adicionado à água ocorrem reações de hidrólise antes da formação do precipitado amorfo [5]. Essas reações liberam prótons (H^+), consumindo substâncias que conferem alcalinidade inerente à água [4,2]. Nessa etapa do tratamento ocorre a remoção da matéria orgânica coloidal, de substâncias tóxicas de origem orgânica e inorgânica e outras passíveis de conferir odor e sabor à água, microrganismos em geral e os precursores da formação de trihalometanos [6].

Contudo, apesar do bom resultado físico-químico obtido no tratamento de águas com o sulfato de alumínio $[Al_2(SO_4)_3]$, é possível identificar resíduos do metal na água tratada. De acordo com a Portaria do Ministério da Saúde resolução nº 2914 de 12 de dezembro de 2011 a quantidade máxima de alumínio permitida na água potável é de 0,2 mg/L [7].

Como o alumínio é um elemento não biodegradável e também possui características bioacumulativas, o mesmo, quando ingerido ou absorvido, torna-se tóxico aos seres vivos. Estudos demonstram que o Al se acumula em diversos tecidos tais como o cérebro, fígado e rim, causando um efeito tóxico. O efeito bioacumulativo em humanos leva a aceleração de processos degenerativos, produzindo uma progressão clínica nos sinais neurológicos, incluindo déficits na memória e alterações elétricas neurais. Efeitos esses relacionados à Doença de Alzheimer, mal de Parkinson e esclerose múltipla, em casos mais raros é encontrada em pacientes com insuficiência renal. Além disso, em caso mais crítico pode provocar doença óssea e câncer de pulmão e cérebro [8,9].

2. MATERIAL E MÉTODOS

PREPARO DO INÓCULO

As cepas testadas quanto a capacidade de diminuir a quantidade de alumínio livre no meio fazem parte do banco de microrganismos do Laboratório de Bioquímica Industrial do Departamento de Engenharia Química da UFS. As linhagens utilizadas no presente trabalho foram isoladas de manguezal e de uma planta de biodiesel.

Uma alçada de cada cepa a ser testada foi inoculada em Erlenmeyer de 125 mL contendo 50 mL do meio caldo nutriente (Himedia®) previamente esterilizado em autoclave a $121^{\circ}C$ por 15 minutos. O meio inoculado foi incubado em shaker a 100 rpm durante 24h.

ESCOLHA DO TIPO DE ALUMÍNIO PARA REMOÇÃO

O microrganismo utilizado nesse teste foi inoculado em dois Erlenmeyer de 125 mL, um contendo 50 mL de meio caldo nutriente com 0,43 g/L de sulfato de alumínio $[Al_2(SO_4)_3]$ e outro contendo 50 mL de meio caldo nutriente com 0,43 g/L de sulfato duplo de alumínio e potássio $[AlK(SO_4)_2 \cdot 12H_2O]$ [10].

SELEÇÃO DAS CEPAS

Cada cepa foi testada em triplicata quanto a capacidade de reduzir a concentração de alumínio no meio. Em um Erlenmeyer de 125 mL contendo 50 mL do meio caldo nutriente e 0,43g/L de sulfato de alumínio foi previamente esterilizado em autoclave a 121°C por 15 minutos e posteriormente inoculado com 5 mL do inóculo. Um Erlenmeyer foi preparado da mesma forma, no entanto, não foi inoculado com o microrganismo a ser testado, servindo como controle. As amostras inoculadas foram incubadas em shaker a 100 rpm durante 24h. Após, o fermentado foi centrifugado a 3.000 rpm durante 10 minutos para a remoção das células e o sobrenadante foi analisado quanto a concentração de alumínio restante.

DETERMINAÇÃO DE ALUMÍNIO

DETERMINAÇÃO DO pH DA EXTRAÇÃO DO ALUMÍNIO

Em um balão contendo 25 mL do sobrenadante obtido após o processo de centrifugação do fermentado foi adicionado ácido sulfúrico 0,02N até atingir o pH 3,1 e a outro balão contendo a mesma quantidade do sobrenadante foi acidificado com ácido sulfúrico 0,02N até atingir o pH 4,4. Em ambos os balões foram adicionados 1,0 mL de ácido sulfúrico 0,02N, 1,0 ml de ácido ascórbico, 10 ml do reagente tampão e 5 ml da solução de trabalho do corante. Após, o volume dos balões foi completado para 50 ml utilizando água destilada e em seguida os mesmos foram agitados e deixados em repouso durante 10 minutos. Após, as amostras foram analisadas em espectrofotômetro marca HACH modelo DR 3900. As amostras foram realizadas em triplicata e o desvio padrão dos pHs obtidos foi calculado.

CURVA DE CALIBRAÇÃO DO ALUMÍNIO

Os padrões de alumínio foram preparados em balões volumétricos de 50 mL com concentrações na faixa de 0 a 0,5 mg/L de sulfato de alumínio $[Al_2(SO_4)_3]$. Os padrões foram submetidos ao processo de extração do alumínio, conforme descrito no item anterior. Posteriormente, os padrões foram utilizados para realizar uma varredura em espectrofotômetro, abrangendo os comprimentos de onda entre 400 e 750 nm para verificar qual o melhor comprimento de onda para a determinação do alumínio nas amostras em análise.

DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE ALUMÍNIO

As amostras fermentadas foram centrifugadas e o sobrenadante foi analisado quanto a quantidade de alumínio. A determinação de alumínio nos meios seguiu a metodologia descrita por FUNASA (2008) [10]. As amostras, o controle e o branco foram submetidos à leitura a 535 nm em espectrofotômetro HACH modelo DR 3900, e a porcentagem de remoção de alumínio nas amostras foram calculadas de acordo com a Equação 1.

$$\% \text{ Remoção de } Al^{3+} = \frac{(C-A) \times 100}{C}$$

Onde:

C = (mg/L Al^{3+}) no controle

A = (mg/L Al^{3+}) na amostra

3. RESULTADO E DISCUSSÃO

De acordo com FUNASA (2008) [10] o sulfato duplo de alumínio e potássio é utilizado como fonte de alumínio para a realização de testes de redução desse metal. No entanto, nas estações de tratamento convencionalmente é utilizado o sulfato de alumínio. Devido a isso, as duas fontes de alumínio foram testadas. Os padrões analisados apresentaram variação de cor de acordo com a concentração de alumínio, variando de 0 a 0,5 mg/L de $[Al_2(SO_4)_3]$, partindo de um tom alaranjado claro para a amostra com menor concentração até um tom violeta para a maior quantidade de alumínio. O padrão de $[Al_2(SO_4)_3]$ apresentou maior absorbância no comprimento de onda de 535 nm, o qual foi utilizado para a análise dos ensaios de remoção de

alumínio (Figura 1). O sulfato de alumínio apresentou o mesmo valor de absorvância que o sulfato duplo de alumínio e potássio, podendo este ser analisado no mesmo comprimento de onda.

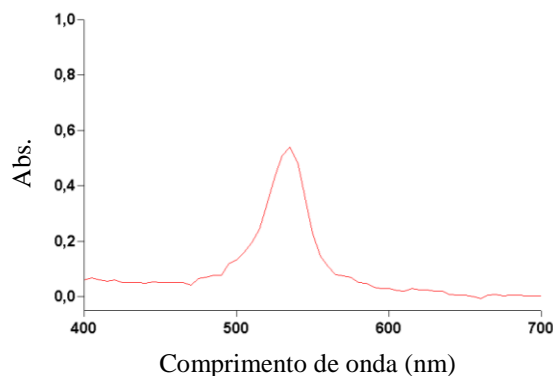


Figura 1 - Varredura da solução padrão de alumínio com concentração 0,5mg/L de $[Al_2(SO_4)_3]$

A Tabela 1 representa os valores encontrados para a remoção utilizando as duas fontes de alumínio, onde a bactéria ANLO 02 apresentou resultados mais consideráveis quando utilizado o sulfato de alumínio com redução média de 40% na concentração, já o sulfato duplo de alumínio e potássio apresentou baixa eficiência, com máxima redução de 15% em média. A partir desses dados foi possível constatar que o sulfato de alumínio usado tradicionalmente em estações de tratamento de água pode ser removido com três vezes mais eficiência quando comparado ao sulfato duplo de alumínio e potássio.

Tabela 1 - Determinação do comparativo do percentual de redução entre o sulfato duplo de alumínio e potássio e o sulfato de alumínio

Ensaio	Amostra	pH	Leitura (mg/L Al^{3+})	Redução (%)
ANLO 02 (sulfato duplo de alumínio e potássio $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$)	B	4,45	-	-
	A ₁	4,42 ± 0,05	0,03 ± 0,19	15,28 ± 3,30
	Al (controle)	4,42	0,035	-
ANLO 02 sulfato de alumínio $[Al_2(SO_4)_3]$	B	4,45	-	-
	A ₂	4,42 ± 0,02	0,05 ± 6,96x10 ⁻³	40,29 ± 4,95
	Al (controle)	4,42	0,091	-

Dentre os fatores que influenciam na remoção do alumínio está o pH do meio na fase de análise e determinação do metal. De acordo com Jacintho *et al.* (1988) [11], a complexação do alumínio com os precursores da turbidez ocorre em torno de pH 3,0, já o pH indicado para a leitura de absorvância é 6,0. Costa Neto *et al.* (2009) [12], complementa ainda sobre a formação de complexos aquosos hexahidratados que são hidrolisados com o aumento do pH de 4,0 para 6,0, produzindo outros complexos a base de hidróxido de alumínio (AlOH). O resultado dessa variação de pH está apresentado na Tabela 2, onde os valores demonstraram uma maior precisão nos resultados obtidos com o pH 4,4, os quais apresentam menor valor do desvio padrão. Dessa forma, todos os sobrenadantes oriundos da fermentação foram corrigidos para pH 4,4 na etapa de extração e posteriormente seguiram para análise em espectrofotômetro.

Tabela 2 - Resultados da concentração de alumínio (mg/L Al³⁺) usando diferentes pHs de extração

Ensaio	Amostras	pH	Leitura (mg/L Al ³⁺)
pH (3,1)	B	3,13	-
	A ₁	3,12 ± 0,02	0,18 ± 0,07
	Al ₁ (controle)	3,12	0,118
pH (4,4)	B	4,37	-
	A ₂	4,43 ± 0,01	0,09 ± 0,01
	Al ₂ (controle)	4,37	0,069

Os melhores resultados em pH 4,4 podem ser justificados devido ao Eriocromo Cianina R se complexar com maior facilidade em pH em torno de 6, já que após a acidificação da amostra ocorre o tamponamento do meio devido a adição do tampão acetato [11].

A Tabela 3 apresenta os resultados de porcentagem de redução da concentração de alumínio para cada linhagem bacteriana testada, onde é possível evidenciar que os melhores valores foram demonstrados pelas cepas ANAE 02, ANCA 04 e ANSO 02. Para as cepas ANAG 01, ANRAS 01, ANLO 01, 1B e 2B não foi detectada a capacidade de reduzir a concentração de alumínio no meio, sendo que essas amostras apresentaram alta turvação. A turvação das amostras prejudica a leitura no espectrofotômetro já que esta ocorre pela incidência e absorção de luz, portanto as amostras mais turvas tendem a absorver uma maior quantidade de luz, dificultando a passagem do feixe luminoso e prejudicando assim o resultado.

Tabela 3: Resultados da porcentagem de redução de alumínio obtidos pelas linhagens isoladas de manguezal e de uma planta de biodiesel

Origem	Amostra	Redução(%)
Manguezal	ANCA 04	27,38
	ANAE 02	30,67
	ANSO 02	26,15
	ANAG 01	*
	ANRAS 01	*
	ANLO 01	*
	ANRAS 02	18,10
	ANAE 02	10,05
	ANCA 04	19,35
	ANLO 02	9,30
	ANCA 02	3,19
	ANCA 03	4,08
Biodiesel	8A	11,11
	5B	19,30
	1B	*
	2A	7
	2B	*

* redução não efetiva nas condições testadas

O uso de processos biotecnológicos que empregam microrganismos para a remoção de metais tem representado a busca de muitos pesquisadores. Diego *et al.* (2013) [13], apresenta um estudo onde é proposto a redução de zinco e cobre utilizando a bactéria *Streptomyces lunalinharesii* como biosorvente. Nessa técnica foram avaliados os mesmos aspectos, tendo o

pH como ponto principal. Diante dos resultados obtidos, o cobre apresentou redução de 45% em pH 5 e o zinco com redução de 37% em pH 4.

4. CONCLUSÃO

A variação do pH na etapa de extração do alumínio influenciou diretamente os resultados obtidos, sendo também fortemente influenciado pela turbidez do meio.

Tendo como base o presente estudo é possível prever a efetividade em se remover o alumínio em mais de 30% quando usado o microrganismo ANAE02, mesmo que em pequenas proporções é provável obter resultados mais satisfatórios à medida que são feitas novas pesquisas na mesma vertente.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Olivo AM, Ishiki HM. Brasil frente à escassez de água. CH. 2014 Set/Dez:11(3): 41-48, doi: 10.5747/ch.2014.v11.n3.h170
2. Pereira MCS, Araújo MCSP, Oliveira R, Coura MA, Meira CMBS. Indicadores sentinelas na monitoração da qualidade da água de abastecimento da cidade de Areia PB. In: Associação Portuguesa de Engenharia Sanitária e Ambiental. 14º Simpósio Luso-brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental; 2010 Out 12-15; Porto, NUTS II.
3. Guo B, Yu H, Gao B, Rong H, Dong H, Ma D, Li R, Zhao S. Coagulation performance and floc characteristics of aluminum sulfate with cationic polyamidine as coagulant aid for kaolin-humic acid treatment. Eng. Aspects. 2015 Set. 481: 476–484, doi:10.1016/j.colsurfa.2015.06.017
4. Bongiovani MC, Konradt-Moraes LC, Bergamasco R, Lourenço BSS, Tavares CRG. Os benefícios da utilização de coagulantes naturais para a obtenção de água potável. Acta Sci. Agron. 2010. Mar;32 (2): 167-70, doi: 10.4025/actascitechnol.v32i2.8238.
5. Barbosa OF, Will IABS, Silva ACL. Aplicação do Processo Eletrolítico na Remoção de Matéria Orgânica e de Corantes de Efluentes Industriais. In: Associação Brasileira de Tecnologia Mineral. VI Southern Hemisphere Meeting on Mineral Technology; 2001 Mai/Jun 27-1, Rio de Janeiro. v. 3. p. 425-430.
6. Libânio M. Fundamentos de Qualidade e Tratamento de Água. São Paulo: Átomo; 2010.494 p.
7. Brasil. Ministério da Saúde. *Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade*. Portaria n. 2914 de 12 de dezembro de 2011.
8. Di Bernardo L. Rede Cooperativa de Pesquisas: Filtração Direta Aplicada a Pequenas Comunidades. Rio de Janeiro: ABES; 2003. 498 p.
9. Wasana HMS, Perera GDRK, Gunawardena OS, Bandara J. The impact of aluminum, fluoride, and aluminum-fluoride complexes in drinking water on chronic kidney disease. Environ Sci Pollut Res. 2015. Mar: 22:11001–11009, doi 10.1007/s11356-015-4324-y.
10. Funasa. Manual Prático de Análise de Água: Manual de Bolso. Distrito Federal: Funasa; 2009. 144 p.
11. Jacintho AO, Rufini IA, Antonio RF. Determinação Espectrofotométrica de Alumínio Solúvel em Águas Naturais Empregando Sistemas de Injeção em Fluxo. Quím. 1989. Jul: 12 (1): 5-9.
12. Costa Neto JJG, Cavalcante PRS, Barbieri R, Rojas MOAI, Siqueira LFS. V Ensaio de lixiviação para entendimento dos altos teores de metais: Fe e Al em matrizes diversas (turfa, solo de tanque de piscicultura e solo) do Rio Pericumã, Pinheiro-MA. In: Salvador NNB, Cinquetti HCS, Pires JSR, Melão MGG, Figueiredo RA, editores. VI Congresso de Meio Ambiente da AUGM; 2009 Out 5-8; São Carlos, SP. Anais de Eventos da UFSCar. v. 5.
13. Diego MV, Mauricio LT, Gabriela AHP. Fundamental aspects of copper and zinc removal from aqueous solutions using a *Streptomyces lunalinharesii* strain. Miner Eng. 2013 Jul: 48:44-50, doi:10.1016/j.mineng.2012.11.015.