



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
meio ambiente,
política & economia

USO DA CINZA DE CASCA DE ARROZ NA REMOÇÃO DE CROMO HEXAVALENTE

Thaís Schmitz – thaisschmitz@hotmail.com
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Luci Kelin de Menezes Quines – kelinquines@yahoo.com.br
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Ana Katiuce Fellenberg – anakatiucefellenberg@gmail.com
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Isabel Cristina Tessaro – isabel@enq.ufrgs.br
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Nilson Romeu Marcilio – nilson@enq.ufrgs.br
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Resumo: A crescente demanda das indústrias em tratar seus efluentes aliada à busca por adsorventes de baixo custo justificam a proposta deste estudo que objetiva avaliar o efeito da cinza de casca de arroz (CCA) como adsorvente de cromo hexavalente em solução aquosa. A CCA aplicada neste estudo foi obtida de uma empresa de beneficiamento e industrialização de arroz, localizada no Rio Grande do Sul, que utiliza a casca de arroz no processo de queima para aproveitamento energético. As amostras de cinzas foram submetidas ao processo de moagem e caracterizadas quanto à área superficial e diâmetro de poro por BET e BJH, à composição química por Fluorescência de Raio X (FRX) e à morfologia pela Micrografia Eletrônica de Varredura (MEV). Os ensaios de adsorção de Cr(VI) pela cinza foram realizados em batelada com a finalidade de investigar o efeito do tempo de contato (5, 10, 15, 30 e 45 minutos) e da concentração inicial de Cr(VI) na solução (10, 25, 50 e 100 mg/L). Nos ensaios de adsorção observou-se que os percentuais de remoção de Cr(VI) pela CCA variaram de 17 a 59 % demonstrando a potencialidade de aplicação deste material como adsorvente de Cr(VI). A capacidade máxima de adsorção foi de $1,33 \text{ mg.g}^{-1}$ para a solução de $100,0 \text{ mg.L}^{-1}$ e dosagem de adsorvente de 10 g.L^{-1} . Os resultados deste estudo demonstram que a cinza de casca de arroz apresenta potencial para ser aplicada como um adsorvente eficiente para remoção de Cr (VI).

Palavras-chave: cinza de casca de arroz, adsorção, cromo hexavalente

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
meio ambiente,
política & economia

USE OF RICE HUSK ASH IN THE REMOVAL OF HEXAVALENT CHROMIUM

Abstract: *The increasing demand of the industries to treat their effluents together with the search for low cost adsorbents justify the proposal of this study that aims to evaluate the effect of the rice husk ash (CCA) as adsorbent of hexavalent chromium in aqueous solution. The CCA applied in this study was obtained from a rice processing and industrialization company located in Rio Grande do Sul, which uses the rice husk in the process of burning for energy use. The ash samples were submitted to the milling process and characterized by surface area and pore diameter by BET and BJH, the chemical composition by X-Ray Fluorescence (FRX) and the Scanning Electron Microscopy (SEM) morphology. Cr (VI) adsorption tests were conducted by ash in order to investigate the effect of the contact time (5, 10, 15, 30 and 45 minutes) and the initial Cr (VI) concentration in the solution (10, 25, 50 and 100 mg / L). In the adsorption experiments it was observed that the percentages of Cr (VI) removal by CCA varied from 17 to 59%, demonstrating the potential of this material as Cr (VI) adsorbent. The maximum adsorption capacity was 1.33 mg.g⁻¹ for the solution of 100.0 mg.L⁻¹ and adsorbent dosage of 10 g.L⁻¹. The results of this study demonstrate that rice hull ash has the potential to be applied as an efficient adsorbent for removal of Cr (VI).*

Keywords: *rice husk ash, adsorption, hexavalent chromium*

1. INTRODUÇÃO

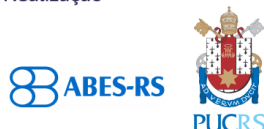
A presença de metais pesados no solo e em águas superficiais e subterrâneas representa uma preocupação global, devido aos possíveis efeitos adversos ao meio ambiente e à saúde humana relacionado à alta toxicidade e não biodegradabilidade destes componentes, mesmo em concentrações baixas (CHOONG *et al.*, 2007).

Entre os metais pesados, o cromo (Cr) é um poluente ambiental bastante importante, pois é utilizado em várias indústrias e liberado para o meio ambiente através de águas residuais. Este metal apresenta diversas aplicações industriais como no curtimento de couro, eletrodeposição, fotografia, galvanização e pigmentação (UCUN *et al.*, 2002). Na natureza, o cromo existe principalmente nas formas trivalente Cr(III) e hexavalente Cr(VI), e o estado de oxidação depende fortemente do pH e das propriedades oxidativas do meio. Existe uma maior preocupação com o Cr (VI) porque sua toxicidade é 100 vezes maior do que a do Cr(III), e pode prejudicar seriamente a saúde das pessoas devido à sua carcinogenicidade, mutagenicidade e teratogenicidade (YIN & ELLIS, 2009; COSTA, 2003).

A liberação de cromo hexavalente pelo descarte de efluentes industriais, especialmente fábricas de curtume e galvanoplastia, é a principal causa de contaminação de águas e solo por Cr (VI), portanto, sua remoção de efluentes industriais torna-se essencial (ERDEM & ÖZVERDI, 2008; SWARNALATHA *et al.*, 2008). A legislação brasileira CONAMA nº 430/11 definiu 0,1 mg.L⁻¹ como a concentração máxima permitida de Cr (VI) nos efluentes (BRASIL, 2011).

Diferentes técnicas têm sido estudadas para remover Cr (VI) em solução aquosa, como redução para Cr (III) seguido de precipitação (GOLDER *et al.*, 2011), troca iônica (EDEBALI & PEHLIVAN, 2010), separação por membranas (RELIGA *et al.*, 2011) e tratamento eletroquímico (MOUEDHEN *et al.*, 2009). A adsorção representa potencial de aplicação devido à sua alta seletividade, baixo custo e operação simples. Quando materiais adsorventes alternativos são usados, especialmente resíduos, o processo torna-se ainda mais atraente, devido à possibilidade de aplicação e valorização de um subproduto, que geralmente é depositado de forma irregular no ambiente, para a remoção de metais de efluentes. Portanto, vários estudos têm focado no uso de materiais de baixo custo para remoção de cromo incluindo casca de pinus (GONÇALVES JUNIOR, 2012), polpa de cana (YANG, *et al.* 2009), cinzas de carvão (LIU *et al.*, 2016) e cascas de mamão (MEKONNEN *et al.*,

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
meio ambiente,
política & economia

2015). Dentre os resíduos que podem ser aplicados como materiais adsorventes de metais pesados, destaca-se a cinza da casca de arroz, por ser insolúvel em água, apresentar estabilidade química, ter alta resistência e possuir uma estrutura granular e porosa (NGAH & HANAFIAH, 2008).

Durante o crescimento do arroz, há a formação da casca de arroz como revestimento ou capa protetora dos grãos. Removidas durante o refino do arroz, estas cascas possuem baixo valor comercial, pois não possuem valor nutritivo e assim não são usadas na alimentação humana ou animal. Dessa forma, a casca de arroz é um subproduto abundante das indústrias de processamento de arroz e, como a maioria dos outros materiais de biomassa rural, é reconhecida como uma fonte potencial de geração de energia pela incineração. A queima da casca de arroz no ar resulta na formação de cinza de casca de arroz (CCA) (LIM *et al.*, 2012).

No Rio Grande do Sul, segundo a IRGA (Instituto Riograndense do Arroz), a safra 2016/2017 foi de 8,74 milhões de toneladas de arroz. Desse total de arroz colhido, 20 % correspondem à casca e 4 % correspondem à cinza (HOUSTON, 1972). Assim, aproximadamente 350 mil toneladas de cinzas de casca de arroz são geradas ao ano.

Dessa forma, de um lado temos um abundante resíduo agrícola que, sem perspectivas razoáveis de uso, transforma-se em um verdadeiro entrave ambiental e, por outro, recursos hídricos sendo impactados pelo descarte desenfreado de espécies indesejáveis, como é o caso de metais pesados. Por isso, o objetivo do presente estudo é investigar a viabilidade de usar o resíduo de cinza de casca de arroz para a remoção de Cr (IV) em solução.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Adsorvente

A cinza de casca de arroz (CCA) utilizada neste estudo foi obtida de empresa de beneficiamento e industrialização de arroz, localizada no Rio Grande do Sul, a partir da queima da casca de arroz, em caldeira com grelha, a uma temperatura média de 900 °C, para aproveitamento energético. A CCA foi moída e peneirada em peneira de malha de 80 mesh e foi utilizada sem qualquer tratamento químico ou térmico.

2.2. Caracterização da cinza de casca de arroz (CCA)

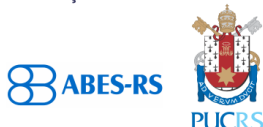
A composição química da CCA foi determinada pela técnica de o ensaio de Fluorescência de Raios X (FRX), segundo método registrado ASTM D 4326 2003, sob pastilha fundida em equipamento WD-FRX modelo RIX 3100, marca Rigaku Dengui. Para determinação da área específica e diâmetro médio de poros, foram realizados os métodos BET e BJH, no analisador de área superficial NOVA, da marca QuantaChrome Instruments,

A morfologia da CCA foi obtida pela técnica de microscopia eletrônica de varredura (MEV), utilizou-se o equipamento da marca Zeiss, modelo AURIGA. A amostra foi disposta em suporte de alumínio, com fita adesiva de carbono, sendo feita a metalização com uma película de ouro. As imagens foram geradas por elétrons secundários com voltagens de 20 Kv.

2.3. Ensaio de adsorção

Uma solução padrão contendo 100 mg.L⁻¹ de cromo hexavalente foi preparada dissolvendo dicromato de potássio (K₂Cr₂O₇) em água destilada. A solução padrão foi diluída com água destilada para se obter soluções de Cr (VI) nas concentrações de 10, 25, 50 e 100 mg.L⁻¹. O pH das soluções padrões de cromo foi ajustado para 2,00, utilizando-se ácido sulfúrico (H₂SO₄). Todas as soluções e reagente utilizados foram preparados de acordo com o método SMEWW 3500-Cr B (APHA, 2000).

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375



Os ensaios de adsorção foram realizados em duplicata utilizando erlenmeyers de 250 mL contendo 100 mL de solução de cromo (10, 25, 50 e 100 mg.L⁻¹) e 1 g de CCA, concentração de 10 g.L⁻¹ de material adsorvente em relação a solução. Os sistemas foram dispostos em shaker (CT-712 RN – Cientec, BR) e foram mantidos sob agitação de 175 rpm, a 25 °C, durante os tempos de contato de 5, 10, 15, 30 e 45 minutos. Depois de transcorrido cada tempo de contato, as amostras foram filtradas à vácuo. O filtrado foi coletado para análise de quantificação de cromo hexavalente. Foram avaliadas as variáveis tempo de contato entre o adsorvente e o adsorvato e concentração inicial do adsorvato.

As concentrações inicial e final de íons Cr (VI) foram determinadas por espectroscopia na região do UV-vis no comprimento de onda de 540 nm, através do método colorimétrico, com o uso da solução indicadora de 1,5-difenilcarbazida em meio ácido, conforme o método SMEWW 3500-Cr B (APHA, 2000).

A eficiência de remoção (R) e capacidade de adsorção (q) de Cr (VI) pela cinza de casca de arroz foram calculadas a partir das Equações (1) e (2), respectivamente.

$$R = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100 \quad (1)$$

$$q = \frac{C_0 - C_t}{m} \times 100 \quad (2)$$

Em que C₀ e C_t são a concentração inicial e concentração no tempo t de adsorbato na solução (mg.L⁻¹) e m é massa do material adsorvente (g).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Caracterização da cinza de casca de arroz (CCA)

Os valores encontrados nas análises de BET e BJH em relação à área superficial específica e ao diâmetro médio dos poros da CCA foram de 34,08 m².g e 40,88 Å, respectivamente. De acordo com a classificação da IUPAC, os poros da CCA estudada são caracterizados como mesoporos (20–500 Å). Dessa forma, a superfície da CCA tem predominância de mesoporos, permitindo uma fácil difusão da espécie a ser adsorvida.

A composição química da cinza de casca de arroz foi determinada pela análise de Fluorescência de Raios X, conforme resultados apresentados na Tabela 1.

Tabela 1- Composição química da CCA determinada por FRX.

Composição Química	Quantidade (%)
SiO ₂	89,09
P ₂ O ₅	3,11
CaO	2,47
K ₂ O	2,42
SO ₃	0,86
Al ₂ O ₃	0,62
Fe ₂ O ₃	0,59
MnO	0,54
MgO	0,29

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS

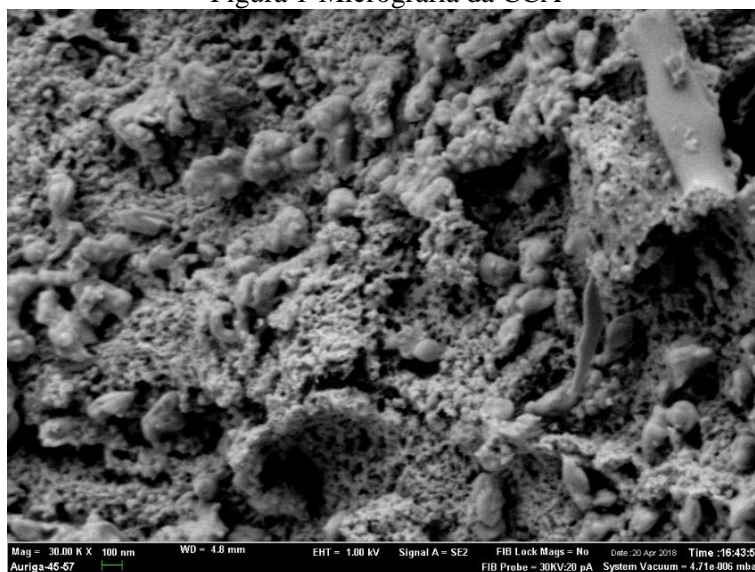


TEMA
meio ambiente,
política & economia

De acordo com os resultados obtidos por FRX, pode-se afirmar que o sólido contém como principal elemento o silício. A composição química da CCA varia em função do solo em que o arroz é plantado, dos tipos e teores de fertilizantes utilizados, das condições climáticas, bem como do tipo de arroz propriamente dito. A sílica é predominante na composição dessa cinza (89,09%), e o K, P e o S presentes são oriundos dos tipos de fertilizantes usados na plantação do arroz (HOUSTON, 1972).

Na Figura 1 é apresentada a imagem de microscopia eletrônica de varredura (MEV), com aproximação de 30.000 X, da CCA utilizada no presente estudo.

Figura 1-Micrografia da CCA

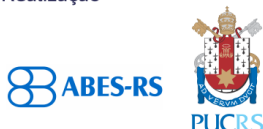


Analisando a imagem de MEV é possível observar que a CCA possui uma superfície porosa irregular, em acordo com os resultados de BET e BJH. Esta porosidade é possivelmente causada pela perda dos compostos orgânicos menos densos, pois após o processo de combustão da casca de arroz a celulose deste material é consumida da rede sílica-celulose original (KIM *et al.*, 2008; STROEVEN *et al.*, 2000).

3.2. Ensaio de adsorção

As cinéticas de remoção e de adsorção de Cr (VI) com variação nas concentrações das soluções de cromo hexavalente, 10, 25, 50 e 100 mg.L⁻¹, estão apresentadas nas Figura 2 e 3, respectivamente.

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375

Figura 2 - Cinética de remoção de Cr (VI) em função do tempo para diferentes concentrações da solução

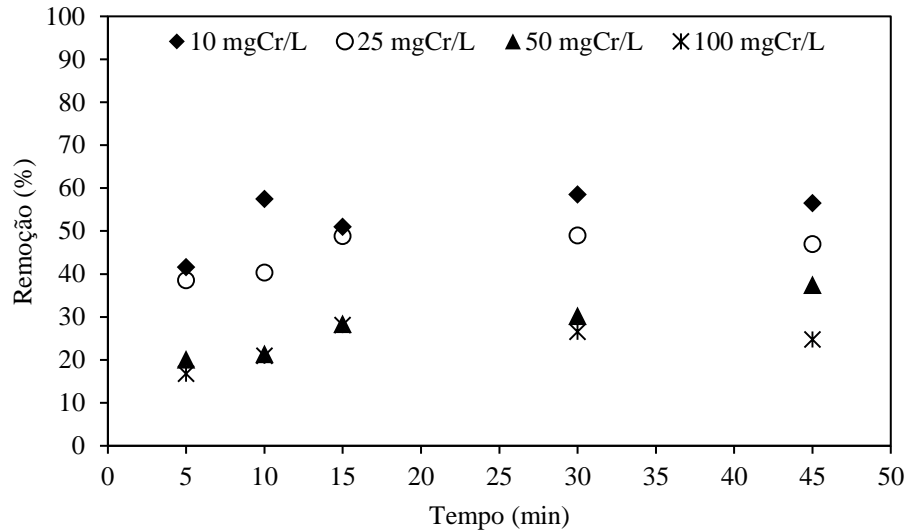
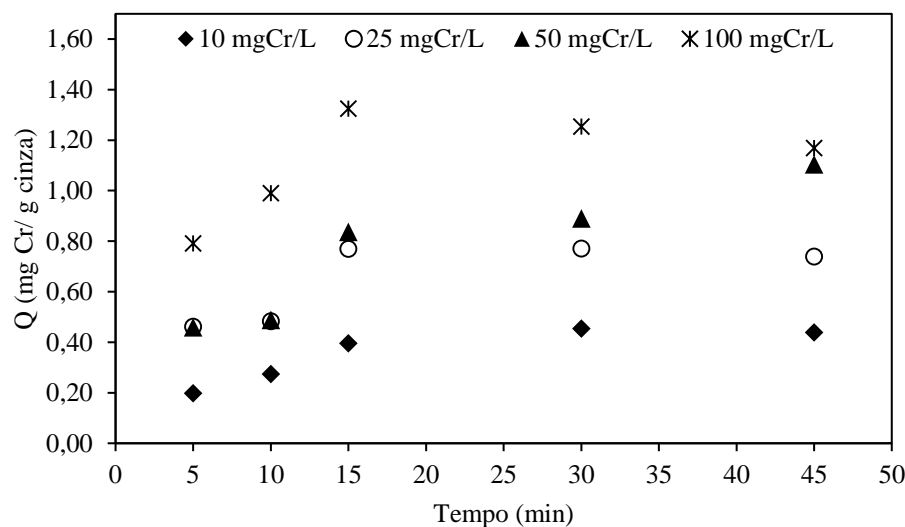


Figura 3 – Cinética da capacidade de adsorção de Cr (VI) para diferentes concentrações da solução



Observa-se na Figura 2, que a maior quantidade do íon metálico é removida nos primeiros 5 minutos, os resultados mostram remoções entre 17 e 42 %, apenas nesse tempo de contato. Assim verifica-se que o processo de adsorção ocorre em maior velocidade inicialmente, no entanto, a CCA continua removendo o metal a medida que o tempo de contato aumenta, porém, com uma velocidade menor, ocasionada pela baixa disponibilidade de sítios de adsorção, visto que muitos já estão ocupados, restando apenas regiões de mais difícil acesso (CHAVES *et al.*, 2009). Dessa forma, tem-se uma remoção inicial rápida e a necessidade de um tempo de contato maior (30 minutos) para que a adsorção ocorra com valores de remoção entre 27 e 59%.



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
meio ambiente,
política & economia

Pode-se verificar que a eficiência da remoção do Cr (VI) é afetada pela concentração do adsorbato no meio. O percentual de remoção do metal apresentou um decréscimo à medida que a concentração da solução de cromo hexavalente aumentou (Figura 2).

Estes resultados podem ser explicados pelo fato de que em baixas concentrações de Cr (VI) a razão entre a superfície de adsorção da cinza de casca de arroz e a disponibilidade total de Cr (VI) é elevada, portanto pode interagir com o adsorvente e, conseqüentemente, ser removido da solução (UCUN *et al.*, 2002). De acordo com Srivastava *et al.* (2006), em baixas concentrações, os íons tendem a interagir com todos os sítios de ligação disponíveis do adsorvente, resultando em maiores eficiências de remoção. Em concentrações mais elevadas, há uma tendência em saturar os complexos disponíveis para a adsorção, o que resulta em uma queda na eficiência de remoção do metal.

Os maiores percentuais de remoção de Cr (VI) foram observados para as soluções de metal a 10 e 25 mg.L⁻¹, no tempo de contato de 30 minutos, sendo estes 59% e 49%, respectivamente. Para a concentração de 100 mg.L⁻¹ o maior percentual de remoção foi de 28%, no tempo de 15 minutos. Após este período o percentual de remoção permanece constante e/ou diminui, pois o sistema adsorvente/solução tende a atingir o equilíbrio de concentração. No entanto, a remoção de Cr (VI) da solução de 50 mg.L⁻¹ aumenta à medida que o tempo de contato aumenta até uma remoção máxima de 38% em 45 minutos.

Observa-se que à medida que se tem um aumento na concentração inicial dos íons metálicos em solução, maior é a capacidade de adsorção da biomassa, à qual passou de 0,45 mg.g⁻¹ para 1,33 mg.g⁻¹, com o aumento da concentração do metal de 10 mg.L⁻¹ para 100 mg.L⁻¹. De acordo com Srivastava *et al.* (2006), a concentração inicial fornece a força motriz necessária para superar as resistências à transferência de massa do soluto entre a fase sólida e a fase líquida. Dessa forma, concentrações mais elevadas proporcionaram maiores interações entre o metal e o adsorvente, o que resulta em valores mais elevados de capacidade de adsorção.

Fonseca *et al.* (2016) encontraram uma remoção máxima de 78 %, após uma hora de contato, em solução de 1 mg.L⁻¹ de Cr (VI) em pH 2, utilizando casca de arroz preparada a partir da calcinação em temperatura aproximada de 500 °C durante 1 hora e 30 minutos. Mendel *et al.* (2018) atingiu até 100 % de remoção em menos de 15 minutos em solução de 1 mg.L⁻¹ e pH 2, utilizando cinza de casca de arroz obtida da queima de casca de arroz em caldeira de uma indústria de beneficiamento de arroz do Rio Grande do Sul. Neste trabalho, obteve-se remoção de cerca de 60 % de Cr (VI) da solução de 10 mg.L⁻¹, em pH 2, com apenas 10 minutos de contato, mostrando o potencial da CCA estudada para ser aplicada como um adsorvente eficiente na remoção de Cr (VI).

4. CONCLUSÕES

A cinza de casca de arroz obtida da queima da casca de arroz em caldeira com grelha foi caracterizada por suas propriedades físicas, químicas e morfológicas. Verificou-se que a CCA apresenta uma estrutura porosa irregular, área superficial de 34,08 m².g e 89,09% de sílica.

Foram realizados estudos de cinética de adsorção de Cr (IV) pela cinza de casca de arroz. Em tempos curtos de contato já são observadas remoções significativas do metal, chegando a cerca de 60% de remoção em solução de 10 mg.L⁻¹, utilizando 10 mg.L⁻¹ de adsorvente em 10 minutos de contato. Assim, a utilização direta da CCA sem que sejam feitos pré-tratamentos, mostrou-se bastante eficiente e simples.

A partir dos resultados obtidos conclui-se que é possível utilizar a cinza de casca de arroz, obtida da queima em caldeiras, para a remoção de cromo hexavalente de solução aquosa. Dessa forma, a cinza da casca do arroz pode ser uma aliada de baixo custo nos processos de remoção de Cr (VI) em ambientes contaminados com elevadas concentrações do metal.

Realização

ABES-RS



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
meio ambiente,
política & economia

REFERÊNCIAS

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). **Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water**. 20th Ed. American Public Health Association, Washington, DC, 2000.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Resolução Nº 430 de 13/05/2011 (Federal) - Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução Nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. 2011.

COSTA, M. Potential hazards of hexavalent chromate in our drinking water. **Toxicology and Applied Pharmacology**, v. 188, n. 1, p.1-5, 2003

CHAVES, T. F. *et al.* Uso da cinza da casca do arroz (CCA) obtida da geração de energia térmica como adsorvente de Zn(II) em soluções aquosas. **Química Nova**, v. 32, n. 6, p. 1378-1383, 2009.

CHOONG, T.S.Y. *et al.* Arsenic toxicity. Health hazards and removal techniques from water: an overview. **Desalination**, v. 217, n. 1-3, p.139-166, 2007.

EDEBALI, S.; PEHLIVAN, E. Evaluation of Amberlite IRA96 and Dowex 1×8 ion-exchange resins for the removal of Cr(VI) from aqueous solution. **Chemical Engineering Journal**, v. 161, n. 1-2, p. 161-166, 2010.

ERDEM, M.; ÖZVERDI, A. Leaching behavior of chromium in chrome shaving generated in tanning process and its stabilization. **Journal of Hazardous Materials**, v. 156, n. 1-3, p. 51-55, 2008.

FONSECA, H. C. *et al.* Uso da cinza da casca de arroz na adsorção de cromo hexavalente. **Caderno de Ciências Agrárias**, Montes Claros, v.8, n.1, p. 16-21, 2016.

GOLDER, A. K. *et al.* Removal of hexavalent chromium by electrochemical reduction–precipitation: Investigation of process performance and reaction stoichiometry. **Separation and Purification Technology**, v. 76, n. 3, p. 345-350, 2011.

GONÇALVES JUNIOR, A. C. *et al.* Applicability of the Pinus bark (*Pinus elliottii*) for the adsorption of toxic heavy metals from aqueous solutions. **Acta Scientiarum Technology**, v. 34, n. 1, p. 79-87, 2012.

HOUSTON, D. F. **Rice: Chemistry and Technology**. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, 1972. 517p.

Instituto Riograndense do Arroz. IRGA. **Área e produção de arroz. Safra 2016/17**. Disponível em: <http://www.irga.rs.gov.br/upload/20170724112804produco_rs_historica.pdf> Acesso em: 04 abr.2018.

IUPAC (União Internacional de Química Pura e Aplicada). Reporting Physisorption data for gas/solid systems. v. 54, p. 2201-2218, 1982

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
meio ambiente,
política & economia

KIM, M. *et al.* Comparison of the adsorbent performance between rice hull ash and rice hull silica gel according to their structural differences. **Lwt - Food Science And Technology**, v. 41, n. 4, p.701-706, 2008.

LIM, J. S. *et al.* A review on utilisation of biomass from rice industry as a source of renewable energy. **Renewable & Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 5, p. 3084-3094, 2012.

LIU, Z. *et al.* Influence of coal fly ash particle size on structure and adsorption properties of forming adsorbents for Cr⁶⁺. **Journal Of Wuhan University Of Technology-mater**, v. 31, n. 1, p.58-63, 2016.

MEKONNEN, E. *et al.* Kinetic and Thermodynamic Studies of the Adsorption of Cr (VI) onto Some Selected Local Adsorbents. **South African Journal Of Chemistry**, v. 68, p. 45-52, 2015.

MENDEL, T. *et al.* Análise da toxicidade a partir da adsorção de cromo hexavalente com cinza de casca de arroz. In: ENCONTRO BRASILEIRO SOBRE ADSORÇÃO, 12, Gramado. **Anais**. São Leopoldo: Universidade do Vale do Rio dos Sinos, 2018.

MOUEDHEN, G. *et al.* Electrochemical removal of Cr (VI) from aqueous media using iron and aluminum as electrode materials: Towards a better understanding of the involved phenomena. **Journal Of Hazardous Materials**, v. 168, n. 2-3, p. 983-991, 2009.

NGAH, W. S. W.; HANAFIAH, M. A. K. M. Removal of heavy metal ions from wastewater by chemically modified plant wastes as adsorbents: A review. **Bioresource Technology**, v. 99, n. 10, p. 3935-3948, 2008.

RELIGA, P *et al.* A new approach to chromium concentration from salt mixture solution using nanofiltration. **Separation And Purification Technology**, v. 82, p.114-120, 2011.

SRIVASTAVA, V. C. *et al.* Adsorptive removal of phenol by bagasse fly ash and activated carbon: Equilibrium, kinetics and thermodynamics. **Colloids And Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 272, n. 1-2, p. 89-104, 2006.

STROEVEN, P. *et al.* Contributions to sustainable development of cementitious materials, in: Barbosa, N.P, Swamy, R.N. and Lynsdale, C. **Sustainable Construction Into the Next Millenium: Environmentally Friendly and Innovative Cement Based Materials**, João Pessoa, Brazil, p. 45-66, 2000.

SWARNALATHA, S. *et al.* Safe disposal of toxic chrome buffing dust generated from leather industries. **Journal of Hazardous Materials**, v. 150, n. 2, p. 290-299, 2008.

UCUN, H. *et al.* Biosorption of chromium (VI) from aqueous solution by cone biomass of *Pinus sylvestris*. **Bioresource Technology**, v. 85, n. 2, p.155-158, 2002.

YANG, Z. *et al.* Removal of Cr(III) and Cr (VI) from aqueous solution by adsorption on sugarcane pulp residue. **Journal of Central South University of Technology**, v. 16, n. 1, p.101-107, 2009.

YIN, S.; ELLIS, D. DFT studies of Cr (VI) complex adsorption on hydroxylated hematite surfaces. **Surface Science**, v. 603, n. 4, p.736-746, 2009.

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375