



## CARACTERIZAÇÃO E UTILIZAÇÃO DE CINZA DE CASCA DE ARROZ COMO ADSORVENTE ALTERNATIVO PARA REMOÇÃO DE BTEX EM EFLUENTE INDUSTRIAL, ATRAVÉS DO USO DE UM SISTEMA DE FILTRAÇÃO COM PRESSÃO POSITIVA

Jorge Augusto Berwanger Filho\*, Carlos Alberto Mendes Moraes, Luis Alcides Schiavo Miranda, Emanuele Caroline Araujo dos Santos

\* Universidade do Vale do Rio do Sinos (UNISINOS) – [jorge.ambiental@hotmail.com](mailto:jorge.ambiental@hotmail.com)

### SÚMULA

A produção de arroz no Brasil para a safra de 2011/2012 foi de 13,208 milhões de toneladas. Desta forma, estima-se que a geração de Cinza de Casca de Arroz (CCA) seja em torno de 668 milhões de toneladas. Portanto, alternativas para utilização deste resíduo agroindustrial vêm sendo estudadas, como por exemplo, a utilização de CCA como material adsorvente alternativo. O presente trabalho visa caracterizar a CCA, bem como verificar a sua eficiência para remoção de BTEX, quando utilizada como meio filtrante em um sistema de filtração com pressão positiva. As análises realizadas apontaram a  $\text{SiO}_2$  como elemento majoritário da amostra (79,328%), um resultado para Perda ao Fogo de 15,47%, o difratograma apontou a presença de halo de amorfismo entre os ângulos de 15 a 30 ( $^{\circ}2\theta$ ), demonstrando a reatividade da CCA e picos cristalinos de cristobalita. O resultado da eficiência para remoção de BTEX teve resultados superiores a 98%, demonstrando que a CCA possui o potencial para remoção de BTEX de efluentes industriais.

**Palavras-chave:** Cinza de casca de arroz, adsorvente, BTEX.

## CHARACTERIZATION AND USE OF RICE HUSK ASH AS AN ALTERNATIVE ADSORBENT FOR REMOVAL OF BTEX IN INDUSTRIAL EFFLUENT, THROUGH THE USE OF A FILTRATION SYSTEM WITH POSITIVE PRESSURE

### ABSTRACT

The rice production in Brazil for the harvest of 2011/2012 was 13.208 million tons, so it is estimated that the generation of rice husk ash (RHA) is around 668 million tonnes. Therefore, alternatives to the use of the agroindustrial residue have been studied, for example, the use of RHA as an alternative adsorbing material. This study aims to characterize the RHA and verify its efficiency for removing BTEX, when used as a filter media in a filtration system with positive pressure. The analyzes indicated the  $\text{SiO}_2$  as the major element of the sample (79.328 %), a result for Fire Loss of 15.47 %, the XRD pattern indicated the presence of halo formlessness angles between 15-30 ( $2\theta^{\circ}$ ), demonstrating the RHA reactivity and the crystalline peaks of cristobalite. The result of BTEX removal efficiency was above 98 % results, demonstrating that the RHA has the potential for removing BTEX of Industrial effluents.

**Keywords:** Rice husk ash, sorbent, BTEX.

## 1. INTRODUÇÃO

Segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA o Brasil é o nono produtor mundial de arroz e o maior produtor de arroz fora da Ásia. A safra brasileira de 2011/2012 gerando de 13.208 milhões de toneladas e está distribuída pelos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Mato Grosso (Mapa, 2013a, b).

A casca de Arroz (CA) representa em média 23% do total em massa de arroz colhido (FERNANDES, 2006) e, devido ao alto teor de sílica e baixos teores nutritivos se torna imprópria para o consumo animal (ALMEIDA, 2010). Considerando a produção para a safra 2011/2012 pode-se prever uma potencial produção de 3,08 milhões de toneladas de casca de arroz. A CA é considerada um resíduo de baixa biodegradabilidade, ficando inalterada por longos períodos de tempo (ALMEIDA, 2010). Atualmente a CA vem sendo utilizada em substituição à lenha, devido ao seu potencial energético. A Tabela 1 apresenta o poder calorífico da casca de arroz verificado em três diferentes pesquisas.

Tabela 1 – Poder Calorífico da Casca de Arroz

Poder Calorífico da Casca de Arroz	
Autor	Valor (MJ/Kg)
Xu et al. (2012)	12,6
Cordeiro, G. (2006)	15
Karmakar et al. (2013)	12 a 18

Para efeitos comparativos quanto ao poder calorífico, o Sistema de Informações Energéticas – INFOENER (2013a, b), descreve que a lenha apresenta poder calorífico inferior médio de 17,57 MJ/kg e o carvão vegetal 30,8 MJ/kg.

A CCA representa em média 22% da massa da CA e é composta essencialmente por sílica e carbono. A coloração escura apresentam índices de carbono residual e impurezas maiores que as com coloração acinzentada e esbranquiçada, sendo o escurecimento um indicativo da ocorrência de uma queima incompleta (XU et al., 2012; ALI et al, 2011).

Considerando a safra brasileira de 2011/2012 a geração aproximada no Brasil de CCA foi em torno de 668 milhões de toneladas.

Os elevados teores de sílica a tornam um resíduo atraente. A variação do teor de sílica na amostra da cinza, bem como as características estruturais e mineralógicas, sofrem alterações durante o processo de queima da CA. Desta forma controles relacionados ao método de queima, temperatura de operação e permanência no forno são fundamentais para obtenção de CCA de interesse tecnológico e econômico.

Por outro lado, os hidrocarbonetos aromáticos, em especial o Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e os Xilenos (BTEX), são considerados poluentes orgânicos de grande relevância ambiental, apresentando efeitos toxicológicos, carcinogênicos e mutagênicos para seres humanos e animais. O Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA, através da Resolução n.º 430 (BRASIL, 2011), publicou padrões de lançamento para BTEX contidos em efluentes (até a data da publicação desta resolução não existia padrão de referência nacional para lançamento em corpos hídricos).

Sistemas de tratamento de efluentes ineficientes, cuja capacidade de tratabilidade não atende os valores legais máximos para o seu lançamento em corpos hídricos e as contaminações ambientais (junto aos reservatórios, tanques de armazenamento, vazamentos durante o transporte), ambos com a presença de hidrocarbonetos aromáticos, além de causarem grandes impactos ambientais negativos, são potenciais causadores de doenças aos seres humanos e animais.

Uma das técnicas mais utilizada para o tratamento de efluentes contaminados por BTEX ocorre através de sistema de filtração, por mecanismo de sorção, sendo o principal adsorvente o carvão ativado.

Para o tratamento de efluentes industriais, os mecanismos de sorção (em especial a adsorção) vêm em crescente ascensão e estão sendo amplamente utilizados, principalmente em função da baixa

complexidade de manuseio e operação, custos relativamente baixos e alta eficiência na remoção de uma grande variedade de poluentes (orgânicos e inorgânicos) dissolvidos em meio aquoso (FOO; HAMEED, 2009).

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi caracterizar uma cinza de casca de arroz, gerada a partir da transformação da biomassa (casca de arroz) em reator do tipo grelha e verificar a sua eficiência na remoção de hidrocarbonetos aromáticos, em especial os BTEX, de efluente industrial através da utilização de sistema de filtração com pressão positiva.

## 2. MÉTODOS

A metodologia proposta neste trabalho consistiu em três etapas básicas: (i) a coleta e a caracterização físico química de Cinza de Casca de Arroz (CCA); (ii) obtenção do efluente industrial e a realização da etapa experimental do trabalho; (iii) análise e discussão dos resultados.

A primeira etapa contou com os respectivos ensaios: (a) Distribuição Granulométrica; (b) Perda ao Fogo; (c) Caracterização quali quantitativa por Fluorescência de Raio X; (d) Difração de Raio X; (e) Microscopia Eletrônica de Varredura.

A segunda etapa foi realizada com o sistema de filtração positiva desenvolvido por Haack (2011), sendo as análises químicas das amostras do efluente bruto e após a sua passagem pelo sistema proposto analisados por cromatografia gasosa.

A síntese da terceira etapa constante neste artigo.

### 2.1. VARIÁVEIS DO EXPERIMENTO

- *Variáveis de Controle*

Utilização de 1.000 ml de efluente bruto, sendo coletadas amostras do efluente bruto e do efluente após passar pelo sistema de filtração em diferentes níveis (volumes), sendo eles: Bruto, Inicial, em 200 ml, em 300 ml, em 400 ml, em 500 ml e em 700 ml. Ressalta-se que para volumes superiores (até os 1.000 ml) não foi possível realizada a coleta pois ocorre a retenção de efluente a cinza seca, de forma que se fosse tentar coletar em volumes superiores afetaria a variável fixa vazão.

- *Variáveis fixas*

Durante todo o experimento foi utilizada 45 g de CCA para cada 1 L de efluente Industrial Bruto. A pressão utilizada no Sistema de Filtração foi de 4,5 kg.f/cm<sup>2</sup> e o controle de vazão (cerca de uma gota por segundo) realizado manualmente na válvula de restrição do sistema.

- *Variáveis não controladas*

O procedimento experimental teve como variável não controlada a temperatura e umidade.

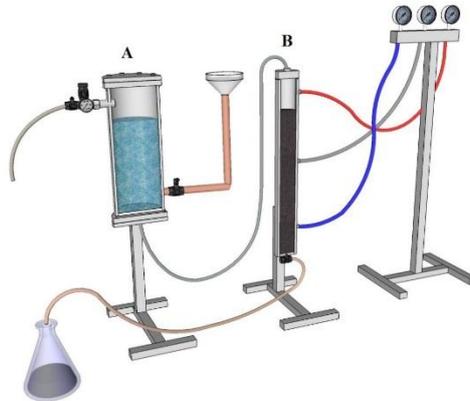
- *Variável resposta*

Como variável resposta, tem-se, em três níveis de controle (triplicata), a eficiência de remoção para o Benzeno, o Telueno, o Etilbenzeno, o meta-Xilenos, o para-Xileno e o orto-Xileno para os volumes estabelecidos como controle.

### 2.2. SISTEMA DE FILTRAÇÃO POR PRESSÃO POSITIVA

O sistema de filtração com pressão positiva utilizado neste estudo foi desenvolvido por Haack (2011) – Figura 1.

Figura 1 – Desenho esquemático em corte do sistema de filtração positiva



O cilindro de maior diâmetro (A) é o local onde o efluente contaminado por BTEX é colocado e pressurizado a 4,5 kg.f/cm<sup>2</sup>. O cilindro de menor diâmetro (B) é onde 45 gramas do meio filtrante (CCA) está disposto.

Para o controle da vazão no sistema existe na saída do cilindro de maior diâmetro um regulador manual de vazão disposto na parte inferior do cilindro de menor diâmetro.

A regulagem da vazão foi feita manualmente, sendo determinada o gotejamento, em torno de 1 gota por segundo), para realização do experimento.

### 2.3. CINZA DE CASCA DE ARROZ E EFLUENTE INDUSTRIAL

A cinza de casca de arroz (CCA) - Figura 2 - foi coletada em agosto de 2013 em uma indústria localizada no Rio Grande do Sul que utilizada o potencial energético da biomassa (casca de arroz) na geração de energia térmica para parte de seus processos operacionais. O processo de queima nesta empresa ocorre por reator do tipo grelha a uma temperatura de queima entre 600 e 700°C

Figura 2 – Cinza de Casca de Arroz utilizada no trabalho



A amostragem composta da CCA foi realizada de acordo com a ABNT NBR 10.007, em uma pilha homogênea, cuja geração ocorreu no mesmo dia da coleta, evitando desta forma possíveis interferentes e/ou contaminantes na caracterização química da amostra devido ao arraste de material particulado pela ação dos ventos.

Já o efluente Industrial foi coletado em fevereiro de 2014. A coleta ocorreu no tanque de armazenamento de efluente da empresa. A amostra foi preservada e acondicionada em bombona com capacidade para 20 L. A mesma ficou armazenada, até a passagem do mesmo no sistema de filtração, em câmara fria visando preservar as características do efluente para BTEX.



Ressalta-se que a amostragem do efluente não ocorreu de acordo com a ABNT 10.007, pois a amostra superior do tanque tinha óleo sobrenadante (em fase livre), não desejada neste trabalho.

## 2.4. CARACTERIZAÇÃO DA CCA

Para a realização do ensaio de Distribuição Granulométrica, adotou-se a metodologia CEMP 081-*Determinação da distribuição granulométrica e módulo de finura* (ABIFA, 2003). Para tal, utilizou-se um agitador de peneiras pequeno tipo magnético, marca Bertel Ltda., localizado no Laboratório de Materiais de Construção, na Universidade do Vale do Rio dos Sinos, por um período de quinze minutos. A parcela de massa retida em cada peneira foi transferida para um Becker de 100 mL e quantificada em balança semi-analítica, marca Bel Engineering, no Laboratório de Caracterização e Valorização de Materiais, na Universidade do Vale do Rio dos Sinos. O ensaio foi realizado em duplicata. E o resultado é a média das porcentagens encontradas em cada via.

Para o ensaio de Perda ao Fogo (PF), utilizou-se a norma CEMP 120 (ABIFA, 2003), na qual uma amostra de cerca de 1g foi submetida à estufa com temperatura de 105°C, por 4 horas, a fim de retirar a umidade da mesma. O material foi então encaminhado ao Forno Mufla, da marca Brasimet, em temperatura de 950°C até obter massa constante. O ensaio foi realizado em triplicata. O resultado dessa análise é a diferença do peso inicial e final.

Para Fluorescência de Raio X, utilizou-se o espectrômetro de fluorescência de Raio X por energia dispersiva, marca EDX 720 HS – Shimadzu do Brasil Comércio LTDA, existente no Laboratório de Caracterização e Valorização de Materiais, da UNISINOS.

Para o ensaio de Difração de Raio X, utilizou-se o Goniômetro (modelo: D500, marca Siemens) localizado junto ao laboratório de física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. A interpretação do difratograma para a identificação de fases e análises cristalográficas foi realizada com o auxílio do programa computacional PANalytical X'Pert HighScore Plus, versão 3.0.

Para análise microestrutural, por Microscopia Eletrônica de Varredura, utilizou-se o Microscópio eletrônico de Varredura da fabricante Zeiss, modelo EVO MA15 Zeiss, localizado no Instituto Tecnológico de Micropaleontologia (Itt Fossil), na Universidade do Vale do Rio dos Sinos.

## 2.5. QUANTIFICAÇÃO DE BTEX NO EFLUENTE BRUTO E PASSANTE

A quantificação da concentração de BTEX nas amostras de efluente bruto e no passante ao sistema de filtração positiva foi realizada em um Cromatógrafo Gasoso (CG) com Detector de Ionização de Chama (FID) da marca DANI, sendo Acoplado ao CG-FID, um equipamento Headspace Dinâmico Master DHS da mesma marca.

A coluna utilizada no GC-FID foi da marca DANI DN-WAX – código 9414.116.778 – com as seguintes características: 30 m de comprimento, 0,25 mm de diâmetro interno, 0,25 µm de espessura do filme, 40°C de limite inferior de temperatura e 250 °C de limite superior de temperatura.

As condições finais utilizadas no CG-FID foram: Gás de arraste é o Nitrogênio; taxa de fluxo 0.9 mL/min; temperatura do injetor: 200°C, temperatura do detector: FID, 280°C, Split ratio 1:50; temperatura inicial de 40°C, isoterma de 1 min, 4°C/min até 70 °C, isoterma de 2 min, 4°C/min, 82°C, 50°C/min, até 220°, para um volume injetado de amostra de 1 µL.

A identificação e quantificação das substâncias (BTEX), obtidas pelo DHS CG-FID, bem como o gerenciamento do DHS e do CG-FID foram realizadas com o software para o sistema computacional Windows Clarity™ versão 4.0.04.987.

Para o cálculo da eficiência do sistema de filtração por pressão positiva foi utilizado a Equação 1



$$\text{Remoção (\%)} = \frac{100(C_0 - C_e)}{C_0}$$

**Equação 1**

Onde:

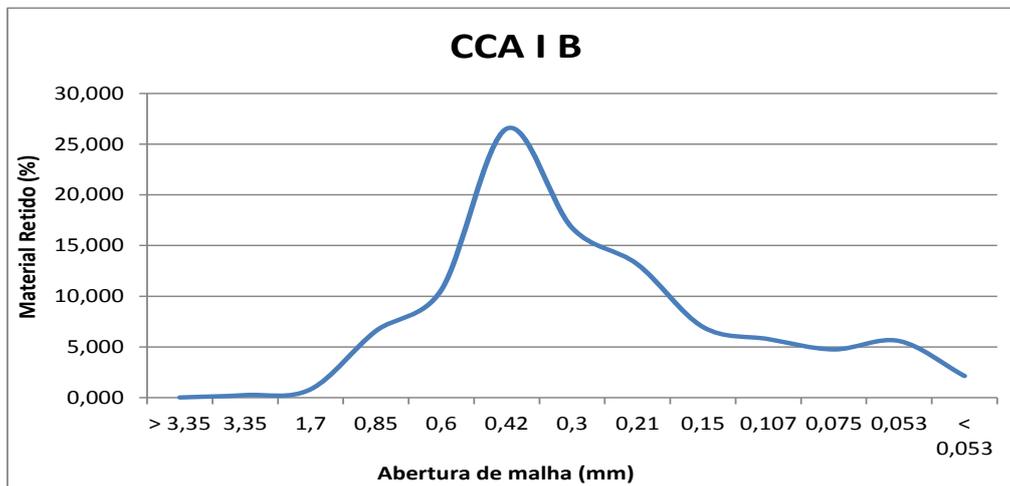
$C_0$  = concentração inicial do BTEX em equilíbrio na solução (mg.L-1);

$C_e$  = concentração final do BTEX em equilíbrio na solução tratada (mg.L-1);

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resultado da análise da Distribuição Granulométrica (DG) da CCA - Figura 3 – demonstra que a fração retida na peneira 0,6 representou 10,63% da massa, enquanto a retida na peneira 0,42 representou 26,53% da massa da amostra, e a fração retida na peneira 0,3 representou 16,74% da amostra analisada. Observa-se que nas peneiras 3,35; 1,7; 0,85 ficaram retidos, respectivamente, 0,26%, 0,83% e 6,59 %, representando desta forma as possíveis frações indesejáveis, como cascas não queimadas.

Figura 3 – Distribuição Granulométrica



O resultado da DG demonstra que a distribuição não é uniforme, indo ao encontro da imagem da amostra de CCA, observada na Figura 2, uma vez que é possível verificar granulometrias distintas, geradas em função do possível não aproveitamento integral do potencial energético da biomassa (casca de arroz).

Já os resultados da análise por fluorescência de Raio X e Perda ao fogo são expressos na

Tabela 2 e na Tabela3.

Tabela 2 - Fluorescência de Raio X: Análise qualitativa

Descrição da amostra	Elementos Identificados		
	Majoritários (>50%)	Minoritários ( 5% > x > 50%)	Traços (< 5%)
CCA	Silício (Si)	Potássio (K), Cálcio (Ca), Enxofre (S), Fósforo (P)	Magnésio (Mn), Ferro (Fe), Zinco (Zn), Bromo (Br)



Tabela 3 - Fluorescência de Raio X: Análise quantitativa e Perda ao Fogo

Amostra de CCA	
Elemento	Quantidade (%)
SiO <sub>2</sub>	79,328
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	nd
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,106
K <sub>2</sub> O	1,885
CaO	0,652
Cl	0,406
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2,455
MgO	0,04
SO <sub>3</sub>	2,156
TiO <sub>2</sub>	nd
ZnO	0,072
MnO	0,036
PF	15,47

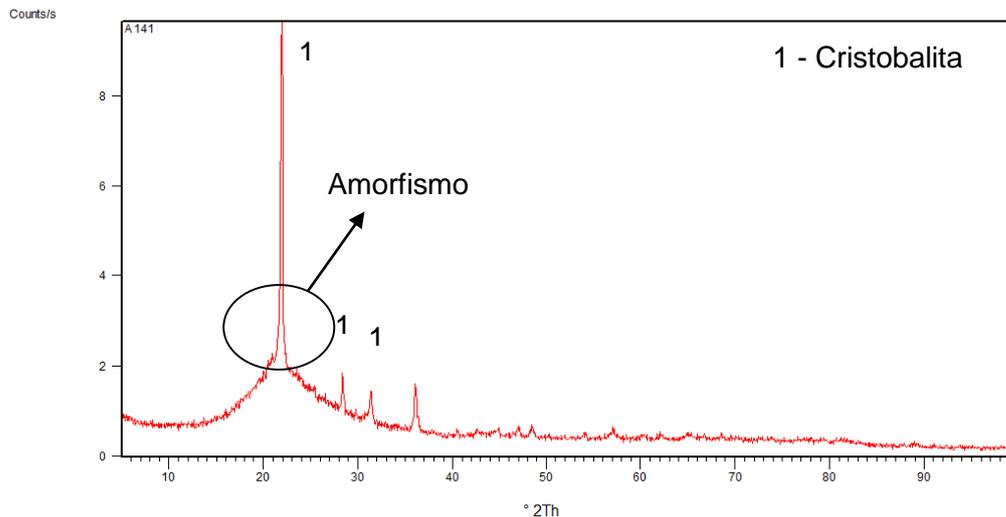
O resultado do ensaio de Fluorescência de Raio X vai ao encontro do referencial teórico, sendo a sílica (SiO<sub>2</sub>) o elemento majoritário representando 79,328% da amostra. Outro dado a ser observado é o resultado para Perda ao Fogo de 15,47%, mais uma vez que o potencial de queima da biomassa não foi exaurido.

Kieling (2009) obteve valores para Perda ao Fogo de 10,41% e 7,7%, enquanto a quantidade de sílica presente na amostra foi de 88,32%, 90,72%, respectivamente.

Desta forma é possível inferir que quanto menor foi o resultado para a análise de Perda ao Fogo maior será a quantidade de sílica na amostra.

Referente ao ensaio de Difração de Raio X, Figura 4, é possível verificar a existência do halo de amorfismo entre os ângulos de 15 e 30 graus (°2Th) e, portanto, tendem a apresentar maior grau de reatividade.

Figura 4 – Difração de Raio X



Além do reatividade, foi identificado a presença de picos cristalinos correspondente à cristobalita (SiO<sub>2</sub>), padrão de difração 01-071-0785, conforme programa computacional PANalytical X'Pert HighScore Plus, versão 3.0.

Na Figura 5 é possível analisar a micrografia da CCA. Pouey (2006) e Kieling (2009), descrevem que as cinzas de casca de arroz apresentam basicamente duas estruturas, uma caracterizada por ser mais densa localizada na área externa, e uma mais porosa, localizada na área interna da CCA. Tais estruturas podem ser verificadas no micrograma apresentado na Figura 5.

Figura 5 – Micrograma da CCA



A estrutura interna porosa da CCA lhe confere uma maior superfície de contato para com o efluente bruto, sendo, portanto, uma importante característica a ser observada.

Desta forma, a análise morfológica das cinzas sugere que a queima não é uniforme, pois existe a ocorrência de partículas com granulometrias distintas, sendo geradas por gradientes de temperatura diferentes.

As concentrações contidas nos cromatogramas, bem como a eficiência do uso da CCA no Sistema de Filtração Positiva pode ser observado na Tabela 5.

Tabela 4 – Concentrações medidas e eficiência do Sistema de Filtração

	Concentração de BTEX (mg/L) - CCA 1B									
	Benzeno		Tolueno		Etilbenzeno		Xilenos			
	Concentração (mg/L)	Eficiência (%)	Concentração (mg/L)	Eficiência (%)	Concentração (mg/L)	Eficiência (%)	Concentração (mg/L)	Eficiência (%)	Concentração (mg/L)	Eficiência (%)
<b>Bruto</b>	0,066	0,0	0,027	0,00	0,001	0	0,046	0	0,039	0,0
<b>Inicial</b>	0,006	90,9	0,001	96,30	0	100	0	100	0	100,0
<b>200 ml</b>	0,004	93,9	0,001	96,30	0	100	0	100	0	100,0
<b>300 ml</b>	0,007	89,4	0,001	96,30	0	100	0	100	0,001	97,4
<b>400 ml</b>	0	100,0	0	100,00	0	100	0	100	0	100,0
<b>500 ml</b>	0	100,0	0	100,00	0	100	0	100	0	100,0
<b>700 ml</b>	0,001	98,5	0	100,00	0	100	0	100	0	100,0

De acordo com os dados apresentados para o Bruto é possível verificar que, apesar do efluente apresentar BTEX, as concentrações de cada poluente eram baixas. Por exemplo, a concentração medida de benzeno, para o efluente bruto, foi de 0,066 mg/L, sendo a taxa de eficiência de 90,9% após o primeiro contato com o adsorvente.

As coletas subsequentes demonstram a não saturação do adsorvente, pois a taxa de eficiência foi crescente. A coleta em 700 ml demonstrou uma pequena queda na taxa, contudo não é possível concluir se ocorreu a saturação do adsorvente, uma vez que seria necessário verificar se essa tendência permaneceria. Portanto, analisando os resultados não é possível verificar o índice de saturação deste sorvente (CCA).

De qualquer forma a CCA demonstrou-se uma boa opção para a remoção dos BTEX, sendo a eficiência chegando a 100% para o Tolueno, Etilbenzeno, e os xilenos presentes na amostra, enquanto para o benzeno a eficiência chegou a 98%.

#### 4. CONCLUSÃO

Após a caracterização da CCA e utilização da mesma como adsorvente alternativo é possível inferir que: (a) queima da CA não foi homogênea, conforme verificado na imagem da amostra, no resultado da Distribuição Granulométrica, possivelmente ocasionado por gradientes de temperatura diferentes no forno do tipo grelha; (b) Não foi utilizado todo o potencial de queima CA, uma vez que

havia matéria orgânica na amostra, sendo o resultado para Perda ao Fogo 15,47%; (c) através do micrograma foi possível verificar a estrutura porosa interna da CCA, a qual lhe confere uma maior superfície de contato para com o efluente, sendo uma importante característica da CCA visando o uso como adsorvente; (d) a CCA apresentou halo de amorfismo, portanto sendo considerada uma cinza reativa.

O sistema de pressão positiva, para as condições realizadas neste trabalho, demonstrou ser uma boa opção para o tratamento de efluentes industriais com a presença de BTEX, chegando a valores de eficiência superiores a 98%. De toda forma, ressalta-se que os testes foram realizados para uma baixa concentração destes poluentes, e sendo somente estes parâmetros analisados.

## REFERÊNCIAS

AHMED, Y. M. Z; EWAIS, E. M; ZAKI, Z. I. **Production of porous silica by the combustion of rice husk ash for tundish lining**. Elsevier. Journal of University of Science and Technology Beijing. Volume 15, Number 3, June 2008, Pag. 307;

ALI, Ibraheem Othman; HASSAN, Ali Mostafa; SHAABAN, Salah Mohamed; SOLIMAN, Karam Seifelnasser. **Synthesis and characterization of ZSM-5 zeolite from rice husk ash and their adsorption of Pb<sup>2+</sup> onto unmodified and surfactant-modified zeolite**. Elsevier. Separation and Purification Technology n°83. 2011. Pág. 38–44;

ALMEIDA, Rodrigues Suelen. **Pirólise rápida da casca de arroz: estudo de parâmetros e caracterização de produtos**. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais). Programa de Pós Graduação em Ciência dos Materiais. Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS. Porto Alegre. RS. 2010;

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 10.007: **Amostragem de Resíduos Sólidos**. Rio de Janeiro. 2004;

BASHA, E. A; HASHIM, R; MAHMUD, H. B; MUNTOHAR, A. S. **Stabilization of residual soil with rice husk ash and cement**. Elsevier. Construction and Building Materials 19. 2005. Pág. 448–453.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO. CEMP (Comissão de Estudos de Matérias Primas) n° 081: Materiais Granulares Usados para Fundição – **Determinação da Distribuição Granulométrica e Módulo de finura**. São Paulo: ABIFA, 2003;

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO. CEMP (Comissão de Estudos de Matérias Primas) n° 120: Materiais para Fundição – **Determinação da Perda ao Fogo**. São Paulo: ABIFA, 2003;

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA n.º 430 de 13 de maio de 2011. **Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes**. Disponível em < <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>> Acesso em: 19 mar. 2013;

CORDEIRO, Luciana de Nazaré Pinheiro. **Análise da variação do índice de amorfismo da cinza de casca de arroz sobre a atividade pozolânica**. Dissertação (mestrado em engenharia). Programa de Pós Graduação em Engenharia civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS. Porto Alegre. 2009;

DUART, Marcelo Adriano. **Estudo da Microestrutura do concreto com adição de cinza de casca de arroz residual sem beneficiamento**. Dissertação (mestrado em engenharia civil). Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Maria – UFSM. RS. 2008.

HAACK, Paulo Márcio. **Desenvolvimento de sistema pressurizado para avaliação da adsorção de efluente oleoso**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Mecânica). Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS. São Leopoldo. RS. 2011;

- FERNANDES, Alberto de Andrade. **Síntese de zeólitas e wolastonita a partir da cinza da casca de arroz**. Tese (doutorado em ciências na área de tecnologia nuclear-materiais). Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. Autarquia associada à Universidade de São Paulo. São Paulo. 2006;
- FOO, K. Y.; HAMEED, B. H. **Utilization of rice husk ash as novel adsorbent: A judicious recycling of the colloidal agricultural waste**. Elsevier. Advances in Colloid and Interface Science n.º 152 .2009. pág.39–47
- KIELING, Amanda Gonçalves. **Influência da segregação no desempenho de cinzas de casca de arroz como pozolanas e material adsorvente**. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil). Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS. São Leopoldo. RS. 2009;
- MARTÍNEZ, Juan Daniel; PINEDA, Tatiana; LÓPEZ, Pablo Juan; BETANCUR Mariluz. **Assessment of the rice husk lean-combustion in a bubbling fluidized bed for the production of amorphous silica-rich ash**. Elsevier. Energy n.º 36. 2011. Pag. 3846-3854.
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO - MAPA [2013a]. Disponível em < <http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/arroz>> Acesso em: 15 jan. 2013
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO - MAPA [2013b]. Disponível em <<http://www.agricultura.gov.br/comunicacao/noticias/2013/03/mapa-e-ana-discutem-melhorias-na-eficiencia-do-uso-da-agua-na-agricultura>> Acesso em: 5 mar. 2013;
- POUEY, Maria Fernandes Tereza. **Beneficiamento da cinza de casca de arroz residual com vistas à produção de cimento composto e/ou pozolânico**. Tese (Doutorado em engenharia civil). Programa de pós graduação em engenharia civil- PPGE. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Porto Alegre. RS 2006;
- RAMADHANSYAH, P. J; MAHYUN, A. W; SALWA, M. Z. B; ABU BAKAR, B. H; MEGAT JOHARI, M. A; WAN IBRAHIM, M. H. **Thermal Analysis and Pozzolanic Index of Rice Husk Ash at Different Grinding Time**. Elsevier. Procedia Engineering 50. 2012. Pág. 101 – 109;
- SISTEMA DE INFORMAÇÕES ENERGÉTICAS – INFOENER [2013a?]. Disponível em < [http://infoener.iee.usp.br/scripts/biomassa/br\\_lenha.asp](http://infoener.iee.usp.br/scripts/biomassa/br_lenha.asp)> Acesso em: 26 fev. 2013.
- SISTEMA DE INFORMAÇÕES ENERGÉTICAS – INFOENER [2013b?]. Disponível em [http://infoener.iee.usp.br/scripts/biomassa/br\\_carvao.asp](http://infoener.iee.usp.br/scripts/biomassa/br_carvao.asp) Acesso em: 26 fev. 2013.
- SRIVASTAVA, Vimal Chandra; MALL, Indra Deo; MISHRA, Indra Mani. **Characterization of mesoporous rice husk ash (RHA) and adsorption kinetics of metal ions from aqueous solution onto RHA**. Elsevier. Journal of Hazardous Materials B134. 2006. Pág. 257–267
- XU, Weiting; LO, Tommy Y; MEMON, Shazim Ali. **Microstructure and reactivity of rich husk ash**. Elsevier. Construction and Building Materials n,º29. 2012. Pág. 541–547
- ZAIN, M. F. M; ISLAM, M. N; MAHMUD, F; JAMIL, M. **Production of rice husk ash for use in concrete as a supplementary cementitious material**. Elsevier. Construction and Building Materials Vol. 25. 2011. Pag. 798–805.