



## OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE LIXIVIAÇÃO ALCALINA DE CINZAS DE CASCA DE ARROZ PARA OBTENÇÃO DE SILICATO DE SÓDIO

DOI: 10.19177/rgsa.v9e012020846-858



SIMPÓSIO MUNDIAL DE  
SUSTENTABILIDADE

Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental

**Raiane da Cruz<sup>1</sup>**  
**Thiago Fernandes de Aquino<sup>2</sup>**  
**Sabrina Teixeira Estevam<sup>3</sup>**  
**Tainá Domingos da Silva<sup>4</sup>**

### RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo a otimização do processo de lixiviação alcalina de cinzas de casca de arroz (CCA) com solução de hidróxido de sódio (NaOH), para obtenção de um maior rendimento de extração de silício ( $\text{SiO}_2$ ), aproveitando um resíduo industrial de difícil descarte para síntese de novos produtos. O procedimento ocorreu em sistema fechado sob condições hidrotermais com auxílio de um reator vaso de pressão com agitação constante, com variações de temperatura (100, 150 e 180 °C), concentração de NaOH (1, 2, 3 e 4 M), pressão (1, 3 e 8 bar) e tempo (1, 3, 6 e 24 h). A lixiviação resulta em uma solução de silicato de sódio, como produto principal, e um subproduto (carvão ativado). Os rendimentos de extração de  $\text{SiO}_2$  variaram entre 29,65 e 73,26%, obtendo silicatos com densidades (1,28 a 1,46 g/mL),

<sup>1</sup> Centro Tecnológico Satc (CTSATC), Associação Beneficente da Indústria Carbonífera de Santa Catarina (SATC). raiane.cruz@satc.edu.br

<sup>2</sup> Centro Tecnológico Satc (CTSATC), Associação Beneficente da Indústria Carbonífera de Santa Catarina (SATC). thiago.aquino@satc.edu.br

<sup>3</sup> Centro Tecnológico Satc (CTSATC), Associação Beneficente da Indústria Carbonífera de Santa Catarina (SATC). sabrina.estevam@satc.edu.br

<sup>4</sup> Centro Tecnológico Satc (CTSATC), Associação Beneficente da Indústria Carbonífera de Santa Catarina (SATC). taina.silva@satc.edu.br

pH (12,24 a 13,55) e módulo de sílica (1,07 a 3,87), resultados estes similares aos obtidos em silicatos comerciais. O carvão resultante também foi caracterizado por fluorescência de raios X (FRX) e ainda serão realizadas análises de propriedades de poros e área superficial (BET). Estes resultados sugerem que os produtos obtidos através da CCA são promissores para as mais diversas aplicações.

**Palavras-chave:** Cinzas de casca de arroz. Silicato de sódio. Carvão ativado.

## **OPTIMIZATION OF THE ALKALINE LEACHING PROCESS OF RICE HUSK ASH TO OBTAIN SODIUM SILICATE**

### **ABSTRACT**

The objective of this work was to optimize the alkaline leaching process of rice husk ash (RHA) with sodium hydroxide solution (NaOH), to obtain a higher yield of silicon extraction ( $\text{SiO}_2$ ), taking advantage of an industrial residue difficult to discard for the synthesis of new products. The procedure occurred in a closed system under hydrothermal conditions using a pressure vessel reactor in constant agitation, with temperature variations (100, 150 and 180 ° C), NaOH concentration (1, 2, 3 and 4 M), pressure (1, 3 and 8 bar) and time (1, 3, 6 and 24 h). Leaching results in a sodium silicate solution as the main product and a by-product (activated carbon). The extraction yields of  $\text{SiO}_2$  varied between 29.65 and 73.26%, obtaining silicates with densities (1.28 to 1.46 g/mL), pH (12.24 to 13.55) and silica module (1.07 to 3.87). These results are similar to those obtained in commercial silicates. The carbon resulting was also characterized by X-ray fluorescence (FRX) and pore properties and surface area (BET) will still be analysed. These results suggest that the products obtained through RHA are promising for the most diverse applications.

**Key words:** Rice husk ash. Sodium silicate. Activated carbon.

## **1 INTRODUÇÃO**

A diminuição da geração de resíduos industriais e agrícolas aproveitando-os como fontes alternativas de produtos de baixo custo e alta qualidade é o objetivo principal de indústrias que buscam modernização aliada a responsabilidades socioambientais.

Atualmente, o arroz é o produto mais consumido mundialmente e gera como subproduto a casca que possui um razoável valor energético, a casca de arroz (CA) é utilizada como fonte de energia renovável e a sua queima gera uma cinza de difícil degradação e alto teor de sílica (DELLA, 2005).

Alguns processos para a obtenção da sílica a partir da cinza de casca de arroz (CCA) estão sendo estudados e aplicados, como: fusão, vaporização e lixiviação alcalina. A lixiviação alcalina é o processo mais utilizado industrialmente por ser economicamente viável e eficiente, obtendo como produto uma sílica pura de alta reatividade e caráter amorfo. Esta lixiviação resulta em dois materiais distintos, uma solução de silicato de sódio e um material residual caracterizado como carvão, ambos materiais podem ser utilizados em ramos industriais diversos (FERREIRA, 2013).

O presente estudo tem como objetivo obter silicatos de sódio similares aos silicatos comerciais otimizando variáveis como tempo, concentração de reagentes e temperatura de lixiviação, para a obtenção de um alto rendimento de extração e, conseqüentemente, um produto apropriado para uso industrial.

## 1.1 Cinzas de casca de arroz



A CA é removida durante o refino dos grãos e possui baixo valor comercial devido à presença de silício e fibras que não possuem valor nutritivo e, portanto, não aproveitadas na alimentação humana e animal. Por possuir biodegradação lenta e permanecer quase inalteradas por um longo período de tempo, acarretam em grandes problemas ambientais (DELLA, 2005; FERREIRA, 2005; FEITOSA; GIACON, 2014).

Devido ao seu razoável valor energético de 12-18 MJ/Kg, a CA é utilizada como fonte de energia renovável pelas próprias indústrias de beneficiamento. A utilização da CA empregada na geração de energia gera uma cinza de difícil degradação e com teor alto de silício em torno de 90 a 98% e pequenas quantidades de outros elementos inorgânicos, o que acaba agregando valor para as indústrias, principalmente na obtenção de sílica pura (DELLA; KUHN; HOTZA, 2005; BICKEL; RENNER; GOMES, 2016).

A sílica obtida pode apresentar estrutura amorfa ou cristalina, que depende de fatores como: método de extração em que a CCA é submetida, temperatura e tempo em que CA é queimada. Além disso o reaquecimento da mesma influencia diretamente no teor de cinzas e, conseqüentemente em uma cristalização da sílica,

que acaba se tornando pouco reativa e de baixa área superficial, o que ocasiona em uma diminuição do seu rendimento (DELLA, 2005; FERNANDES, 2006).

## 1.2 Silicato de sódio

Os silicatos  $[\text{SiO}_4]^{-4}$  possuem como unidade fundamental da sua estrutura o tetraedro, que consiste em pequenos cátions de silício ( $\text{Si}^{4+}$ ) em uma coordenação tetraédrica com quatro oxigênios (FERNANDES, 2006). O silicato de sódio ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) é um silicato alcalino solúvel, com uma combinação de dióxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ), óxido de sódio ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) e água ( $\text{H}_2\text{O}$ ), sendo essa a combinação mais comum (FERREIRA, 2005). Para os silicatos de sódio a razão  $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ , denominada módulo de sílica, podem ser atribuídas fórmulas que variam de 1,6 até 4,9. Industrialmente utiliza-se 3,2  $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$  de módulo.

As soluções de silicato de sódio podem ser identificadas a partir de duas das seguintes variáveis: densidade, concentração de álcalis, viscosidade e o módulo de sílica (DELLA, 2005; FERNANDES, 2006; FERREIRA, 2013). As principais aplicações para os silicatos solúveis, principalmente o silicato de sódio são em detergentes e sabões, adesivos e colas, como defloculantes e na obtenção da sílica pura através de precipitação resultando numa sílica sólido-gel a partir do módulo de sílica igual a 3,3 (FERREIRA, 2005; FERNANDES, 2006).

Industrialmente o silicato de sódio é obtido através dos seguintes métodos: fusão de sílica com carbonato de sódio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) à 1300 °C, fusão de sílica com sulfato de sódio ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) à 1300 °C, vapor d'água em uma mistura aquecida de areia e cloreto de sódio ( $\text{NaCl}$ ) e em soluções de hidróxido de sódio ( $\text{NaOH}$ ), através do aquecimento em autoclaves de materiais siliciosos, à alta temperatura e pressão, processo chamado de lixiviação alcalina. O último método é o mais aplicado no Brasil (FERREIRA, 2005).

## 1.3 Carvão ativado

O carvão ativado tem como origem a oxidação de diversas biomassas, essas por sua vez possuem alto teor de carbono que podem ser ativados. O carvão ativado possui características que são dependentes da matéria-prima utilizada na sua

fabricação, as condições de ativação, entre outros (LIU et al., 2012). As principais características que o carvão possui são: área superficial, propriedades eletroforéticas e acidez superficial, estrutura dos poros e capacidade de adsorção. Para a capacidade de adsorção são necessários avaliar parâmetros como área superficial e tamanho dos poros que são de suma importância para uma adsorção eficiente (ALOKO; ADEBAYO 2007; RAHMAN; BARI, 2011).

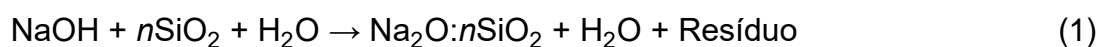
É industrialmente utilizado em tratamentos de água, como adsorvente de compostos orgânicos e inorgânicos, na captura de CO<sub>2</sub>, eliminação de mau odor e coloração, decoloração, em sínteses orgânicas, e outros (FERNANDES, 2010).

#### 1.4 Lixiviação alcalina

A lixiviação alcalina ocorre através da mistura de uma solução alcalina e materiais siliciosos em condições de alta temperatura variando entre 90 a 180 °C e pressão de 1 a 8 atm, a fim de separar o silício em forma de solução. Isso ocorre porque a sílica é altamente solúvel em pH > 10 e insolúvel em pH < 10 (KALAPATHY; PROCTOR; SHULTZ, 2000).

Para a produção do silicato alcalino, como o silicato de sódio a partir da CCA, a porcentagem de carbono pode chegar até 30%, porém apresenta-se inerte, não oferecendo nenhum dano ao decorrer da reação (KALAPATHY; PROCTOR; SHULTZ, 2002).

A principal reação química no processo de lixiviação alcalina é apresentada pela Reação (1):



Onde os valores para  $n$  variam entre 1,6 e 3,8.

Quanto menor for o valor de  $n$  na razão, mais alcalina será a solução obtida (FERREIRA, 2013).

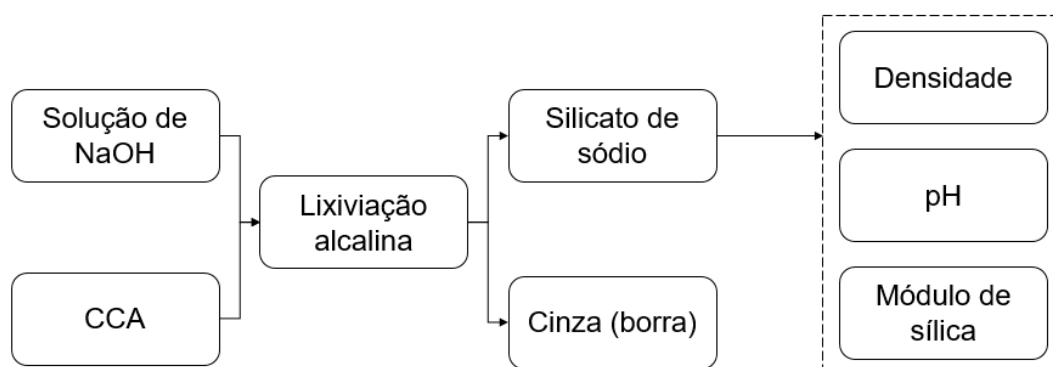
## 2 METODOLOGIA

A CCA foi disponibilizada por uma empresa de beneficiamento de arroz da região, as amostras de CCA foram previamente moídas com auxílio de um moinho de

bolas por um período de 10 minutos. Foram realizadas análises de fluorescência de raios X (FRX) e difração de raios X (DRX) para a caracterização da CCA. O hidróxido de sódio utilizado é de caráter analítico da marca Dinâmica Química Contemporânea LTDA.

A partir dos métodos de extração estudados e utilizados por Mittal (1997) e Lima (2009), as lixiviações foram realizadas em sistema fechado com auxílio de um reator vaso de pressão, com variações de temperatura de 100, 150 e 180 °C e concentração de NaOH de 1, 2, 3 e 4 M e agitação constante de 150 rpm. As relações utilizadas foram 10,1 g de CCA para 100 mL de solução de NaOH, atendendo desta forma, a capacidade do reator disponível. O processo ocorre conforme apresentado na Figura 1.

Figura 1: Fluxograma do processo de lixiviação alcalina.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2019.

Após o processo de lixiviação, a solução foi filtrada à vácuo em temperatura ambiente, resultando em dois materiais distintos: o filtrado e o material retido. O filtrado é apresentado como uma solução de silicato de sódio, enquanto o material retido em sua maior parte é considerado como carbono ativado. As amostras de silicatos produzidas no presente trabalho estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1: Nomenclatura dos silicatos obtidos através das lixiviações alcalinas.

Nomenclatura	Concentração de NaOH (M)	Tempo (h)	Temperatura (°C)
C13100	1	3	100
C23100	2	3	100
C31100	3	1	100
C33100	3	3	100
C36100	3	6	100
C324100	3	24	100
C43100	4	3	100
C13150	1	3	150
C23150	2	3	150
C33150	3	3	150
C43150	4	3	150
C13180	1	3	180
C23180	2	3	180
C33180	3	3	180
C43180	4	3	180

Fonte: Elaborado pelos autores, 2019.

A solução de silicato de sódio foi caracterizada através de três variáveis: densidade por picnometria, módulo de sílica e pH. O material retido, por sua vez, foi caracterizado por FRX, com a finalidade de avaliar o rendimento de extração e percentuais de SiO<sub>2</sub> e Na<sub>2</sub>O determinando assim os percentuais encontrados no silicato, e pelo método BET para a determinação da área superficial.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

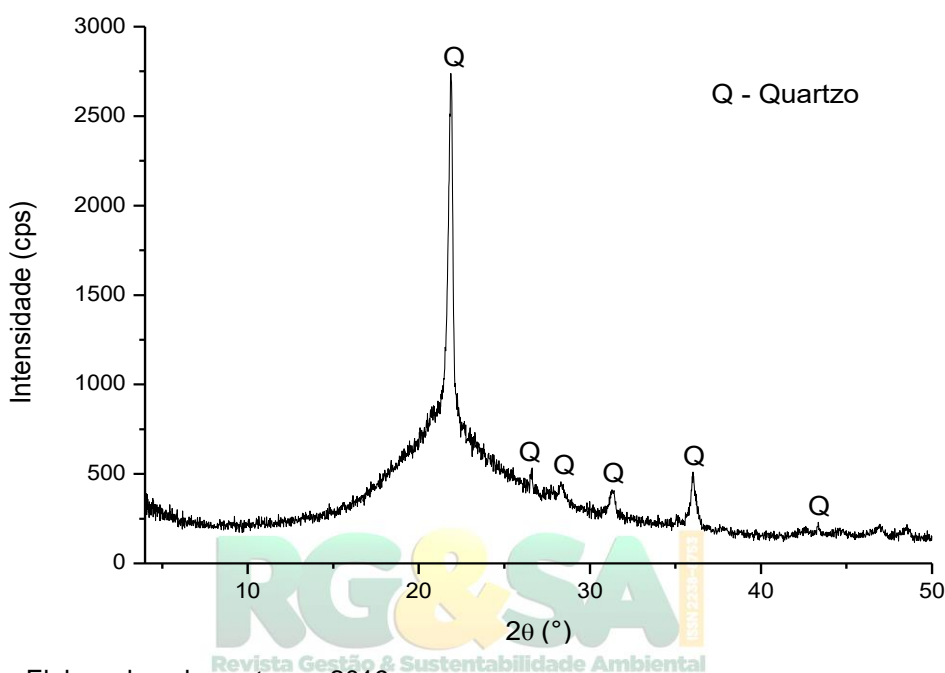
#### 3.1 Caracterização das cinzas de casca de arroz (CCA)

A umidade higroscópica da CCA analisada foi de 4,04%, estando dentro dos limites apresentados por Della (2005), que apresenta valores limites de umidade natural da cinza entre 1% e 4%. A partir da análise de FRX constatou-se como composto majoritário o SiO<sub>2</sub>, com 85,74%, o que mostra que o material é adequado para o processo de extração de silício na forma de silicato de sódio. Outros compostos também encontrados na amostra foram: óxido de potássio (K<sub>2</sub>O) e o pentóxido de difósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), com 1,15% e 1,12%, respectivamente, o que já seria esperado visto que estes óxidos geralmente estão presentes em fertilizantes.



Observando-se o difratograma apresentado na Figura 2, é possível verificar a presença de uma grande quantidade de material amorfo nas cinzas devido ao grande *background* observado. Além disso, verifica-se também a presença de cristais de quartzo e nenhuma outra fase cristalina.

Figura 1: Difratograma da cinza de casca de arroz (CCA).



Fonte: Elaborado pelos autores, 2019.

Para o processo de extração do silicato de sódio é interessante que a amostra apresente alto teor de silício e caráter amorfo, portanto a CCA analisada mostra-se condizente com as informações mencionadas em literatura. O quartzo caracterizado no difratograma, apenas confirma o alto teor de silício presente na amostra, visto que este mineral é composto de tetraedros de  $\text{SiO}_2$ .

### 3.2 Caracterização dos silicatos de sódio

As lixiviações realizadas a partir das variáveis de processo pré-estabelecidas apresentaram os rendimentos de extração de  $\text{SiO}_2$  da CCA e volume de silicato produzido apresentados na Tabela 2. O rendimento foi calculado a partir de relações iniciais encontradas na CCA e finais encontradas no material retido analisados por FRX.



Tabela 2: Rendimento de extração de SiO<sub>2</sub> da CCA.

<b>Amostras</b>	<b>Rendimento de extração (%)</b>	<b>Volume de solução (mL)</b>
C13100	29,65	91
C23100	68,57	95
C31100	68,34	95
C33100	72,13	95
C36100	70,57	96
C324100	72,97	98
C43100	71,75	92
C13150	34,31	93
C23150	66,82	96
C33150	72,96	98
C43150	73,26	99
C13180	37,89	94
C23180	64,17	95
C33180	70,74	99
C43180	73,16	100

Fonte: Elaborado pelos autores, 2019.

Conforme a Tabela 2 apresentada, observou-se que o rendimento de extração não é muito influenciado pela temperatura do processo, mas sim pela concentração de NaOH. Quanto maior a concentração de NaOH maior foi o rendimento de extração obtido, parâmetro este já comprovado por Ferreira (2013).

Assim os melhores rendimentos obtidos foram com as concentrações de 3 e 4 M. Como a diferença nos resultados de concentração não foi substancial, a partir de um menor consumo de reagente, pode-se indicar a concentração de 3 M como a mais apropriada. Nesse sentido, optou-se por realizar mais 3 testes nas condições de 3 M de concentração e 100 °C, variando o tempo de lixiviação em 1, 6 e 24 horas. Como observado, o tempo não exerceu grande influência no percentual de rendimento.

O volume de solução obtida variou entre 91 e 100 mL, demonstrando um ótimo rendimento do processo fechado e em condições hidrotermais. Após o processo de lixívia, se necessário, os percentuais de SiO<sub>2</sub> e Na<sub>2</sub>O podem aumentar através da evaporação da solução ou do aumento da relação massa de CCA/solução de NaOH como é citado por Fernandes (2006). Porém este procedimento não foi explorado no presente trabalho.

Os filtrados produzidos foram analisados a fim de se verificar se suas características estariam de acordo com silicatos alcalinos reportados em literatura. Para isso analisou-se três variáveis a fim de comprovar a eficiência da extração sendo estas variáveis: pH, densidade e módulo de sílica (MS). Os resultados são

apresentados na Tabela 3.

Os resultados de pH de todos os silicatos encontram-se dentro da faixa de silicatos alcalinos comerciais e silicatos obtidos em literatura que ficam entre 12 e 14. As densidades variaram entre 31,75 e 45,53°Bé, a faixa de variação de densidade dos silicatos comerciais apresentam valores de 39 a 58°Bé, mostrando que alguns dos silicatos obtidos a partir de concentrações mais baixas de NaOH não apresentam valores satisfatórios. Segundo Della (2005), Fernandes (2006) e Ferreira (2013), o módulo de sílica (MS) deve variar entre 1,6 e 4,9, valores acima de 3,2 são considerados bons quando a finalidade é obter sílica pura através da precipitação.

Tabela 3: Resultados dos silicatos obtidos.

<b>Amostras</b>	<b>pH</b>	<b>Densidade (g/mL)</b>	<b>Densidade Baumé (°Bé)</b>	<b>MS</b>
C13100	12,51	1,28	31,75	3,44
C23100	13,35	1,40	41,82	2,28
C31100	13,26	1,38	39,98	1,44
C33100	13,43	1,46	45,53	1,45
C36100	13,05	1,39	41,01	1,07
C324100	13,12	1,38	40,15	1,08
C43100	13,46	1,44	44,46	1,09
C13150	12,09	1,29	32,77	3,51
C23150	13,32	1,34	36,55	2,16
C33150	13,47	1,37	39,14	1,45
C43150	13,52	1,41	42,12	1,06
C13180	12,24	1,29	32,77	3,87
C23180	13,22	1,33	35,87	2,16
C33180	13,49	1,38	40,38	1,45
C43180	13,55	1,40	41,56	1,08

Fonte: Elaborado pelos autores, 2019.

As principais aplicações para os silicatos solúveis, principalmente o silicato de sódio são em detergentes e sabões, adesivos e colas, como defloculantes e na obtenção da sílica pura através de precipitação resultando numa sílica sólido-gel a partir do módulo de sílica igual a 3,3 (FERREIRA, 2005; FERNANDES, 2006).

### 3.3 Caracterização dos carvões residuais

Os carvões resultantes nos processos de maior rendimento na lixiviação (C33100, C33150 e C33180) foram também analisados em relação as suas propriedades texturais, como apresentado na Tabela 4.

Tabela 4: Resultados texturais dos carvões residuais.

<b>Amostras</b>	<b>Diâmetro médio de poro (Å)</b>	<b>Volume total de poros (cm<sup>3</sup>/g)</b>	<b>Área superficial específica (m<sup>2</sup>/g)</b>
C33100	32,551	0,274	337,138
C33150	27,568	0,145	210,805
C33180	31,702	0,165	208,941

Fonte: Elaborado pelos autores, 2019.

Como pode ser observado na Tabela 4, os carvões sem nenhum tratamento ou processo de ativação apresentaram áreas superficiais características de materiais porosos, indicando assim que este resíduo pode ser utilizado como adsorvente. Processos de ativação podem ser realizados com a finalidade aumentar seletividade e área superficial específica, estes processos dependem muito da aplicação em que se pretende utilizar o material (ALOKO; ADEBAYO, 2007).

## 4 CONCLUSÕES

- O processo de lixiviação mostrou-se extremamente eficaz para a obtenção de silicato de sódio com alto rendimento de extração de silício, apresentando características semelhantes a de silicatos comerciais.
- A otimização comprovou que a temperatura e o tempo não foram determinantes para um alto rendimento de extração, sendo este comandado pela concentração de NaOH utilizada, em que, quanto maior a concentração maior será o rendimento.
- Pode-se verificar também que a quantidade de silício disponível na CCA exercem grande influência nas concentrações de SiO<sub>2</sub> e Na<sub>2</sub>O presentes nos silicatos sendo estes fatores importantes para posterior precipitação da sílica. Este parâmetro implicará diretamente na aplicação que pretende se alcançar.
- As amostras de carvões residuais obtiveram área superficial superior a 200 m<sup>2</sup>/g sem passar por nenhum tratamento químico ou ativação, demonstrando ser um

material promissor para as mais variadas aplicações industriais, este processo de ativação será condizente com aplicação desejada.

- A partir dos resultados apresentados, pode-se confirmar a utilização da CCA como fonte de materiais com caráter competitivo comercialmente, aproveitando um resíduo industrial de difícil descarte em materiais com alto valor agregado industrialmente.

## REFERÊNCIAS

ALOKO, D. F.; ADEBAYO, G.A. Production and Characterization of Activated Carbon from Agricultural Waste (Rice-husk and Corn-cob), **Journal of Engineering and Applied Sciences**, vol. 2.

BICKEL, Luize Kehl; RENNERT, Rodrigo Eckert; GOMES, Gabriel Meneghetti Faé. **Tratamento das cinzas de casca de arroz para síntese de sílica amorfa e adsorvente para controle de NO<sub>x</sub> e SO<sub>2</sub> de gases de combustão**. 7º Fórum Internacional de Resíduos Sólidos, 2016, Porto Alegre - RS.

DELLA, Viviana Possamai. **Síntese e Caracterização do pigmento cerâmico hematita, obtida a partir da carepa de aço, encapsulada em sílica amorfa obtida a partir da casca de arroz**. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia dos Materiais). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis - SC, 2005.

DELLA, Viviana Possamai.; KUHN, Ingeborg.; HOTZA, Dachamir. Reciclagem de Resíduos Agroindustriais: Cinza de Casca de Arroz como Fonte Alternativa de Sílica. **Revista Cerâmica Industrial**.v.10, n.02, p. 22-25, 2005.

FEITOSA, B. de A.; GIACON, V.M. **Otimização do processo hidrotérmico de extração da sílica (SiO<sub>2</sub>) presente nas cinzas da casca do arroz (CCA)**. In: XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 2014, Florianópolis: COBEQ, 2014.

FERNANDES, Alberto de Andrade. **Síntese de zeólitas e wolastonita à partir da cinza da casca de arroz**. 108f. Tese (Doutorado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear-materiais). Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – Universidade de São Paulo, São Paulo - SP, 2006.

FERNANDES, K.D.A.N. **Uso de carvão ativado de endocarpo de coco no tratamento de água**. Revista da graduação da PUCRS, v. 03, n. 02, p. 1-17, 2010.

FERREIRA, Carlos Sérgio. **Desenvolvimento do processo de obtenção de filme polimérico a partir da cinza da casca de arroz**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis - SC, 2005.

FERREIRA. Michel Jean; **Obtenção de silicato de sódio por lixívia alcalina a partir da cinza da casca de arroz (cinza da casca de arroz) para uso como defloculante.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis - SC, 2013.

KALAPATHY U.; PROCTOR A.; SHULTZ J. A simple method for production of silica from rice hull ash. **Bioresource Technology**. v. 73, p. 257–262, 2000.

KALAPATHY U.; PROCTOR A.; SHULTZ J. An improved method for production of silica from rice hull ash. **Bioresource Technology**. v. 85, p. 285–289, 2002.

LIMA, Samanta Pinheiro de Buás. **Estudo da produção e aplicação em pastas cimentícias de sílica gel proveniente das cinzas da casca do arroz.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Amazonas, Manaus - AM, 2009.

MITTAL, Davinder. **Silica from Ash.** Resonance, v.002, n. 07, p. 64 -66, 1997.

RAHMAN, M. M.; BARI, Q.; YOUSUF, M.A. Treatment of Textile Wastewater with Activated Carbon Produced from rice husk. **Journal of Engineering Science**, Bangladesh,2011.

