

ODORIZADOR AUTOMOTIVO COMPOSTO DE SÍLICA GEL SINTETIZADA A PARTIR DE CINZAS DE CASCA DE ARROZ

Isabela Patrícia da Silva Galves¹; Otaviano de Oliveira Quevedo²; Luiz Fernando Rodrigues Junior³

RESUMO

Todos os anos, milhares de toneladas de casca de arroz são produzidas no Brasil. A casca de arroz tem como destino de descarte final as lavouras, fundos de rios, açudes e lagos, sendo prejudicial para a fauna e flora. Devido a isso, faz-se necessário o seu reaproveitamento, sendo o principal item a queima da mesma para geração de energia. Após a incineração da casca de arroz ainda restará uma grande quantidade de resíduos na forma de cinzas, cerca de 180 kg por tonelada de casca de arroz. Esse resíduo é rico em sílica, podendo ser utilizado em diversas aplicações, como correção de pH de solos, cargas em cimentos *Portland*, cargas em compósitos poliméricos, obtenção de sílica pura e sílica gel. Este estudo teve como objetivo produzir um odorizador automotivo composto de sílica gel sintetizada a partir de cinzas de casaca de arroz. A metodologia utilizada foi a exploratória descritiva com a análise bibliográfica de artigos científicos focados no assunto, e paralelo foi realizada a análise dos resultados através da caracterização por Difração por Raios-X (DRX) e espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR). Os resultados mostraram que a sílica gel extraída adsorveu de maneira satisfatória a essência usada, permitindo o uso como odorizador para automóveis.

Palavras-chave: reaproveitamento, produto, automóveis.

Eixo Temático: Tecnologia, Inovação e Desenvolvimento Sustentável (TIDS)

1 INTRODUÇÃO

O arroz é um dos alimentos mais consumidos no Brasil. Em 2017, a estimativa de plantio foi de 1,96 milhões de hectares, com uma produção de 11,6 milhões de toneladas de arroz. O Rio Grande do Sul, maior produtor do país, com 71,4% de participação no total nacional, estimou-se uma produção de 8,3 milhões de toneladas (IBGE, 2017). Para a safra de 2018, a produção do país foi estimada em 12,03 milhões de toneladas (CONAB, 2018).

Segundo Hoffmann et al. (2010), 20% da massa total da produção é casca. A casca de arroz é um material fibroso composto principalmente por celulose, lignina e sílica, e devido a sua baixa densidade, ocupa áreas enormes para descarte. Esse material geralmente é depositado a céu aberto em beiras de estradas e lavouras, pois

¹ Autor/Apresentador – Universidade Franciscana. E-mail: isabela.galves@ufn.edu.br

² Autor – Universidade Franciscana. E-mail: otaviano.quevedo@ufn.edu.br

³ Orientador – Universidade Franciscana. E-mail: luiz.fernando@ufn.edu.br

se espalhada nas lavouras, gera uma camada que facilita a proliferação de fungos devido à umidade acumulada embaixo da mesma, além de não permitir uma correta oxigenação do solo. E quando depositado em leitos de rios, lagos e açudes, acabam induzindo a um assoreamento devido ao acúmulo excessivo de sedimentos (DELLA; KHUN; HOTZA, 2005; SOBROSA, 2014). A casca de arroz pode ser utilizada como fonte de energia, por meio do seu uso como combustível, tendo como resíduos, cinzas ricas em sílica. As cinzas de casca de arroz (CCA) possuem diversas aplicações, entre elas a utilização como carga em polímeros, substituinte da sílica em concretos, suporte para catalisadores metálicos, adsorventes na indústria aurífera, síntese de zeolitas e carbetos de silício, produção de diferentes silicatos e síntese de sílica pura e sílica gel (FOLETTTO et al.; 2005).

A denominação "sílica" é proveniente da abreviação para dióxido de silício, seja na forma cristalina, amorfa, e hidratada, ou na forma hidroxilada, também designada como silanol, siloxanol ou silicol. toda sílica que é produzida em organismos vivos, tais como plantas (arroz, cana-de-açúcar, cactos, algas) e animais (exoesqueletos) denomina-se sílica biogênica ou opala biogênica (GOMES; FURTADO; SOUZA, 2018). O controle da temperatura de queima da casca de arroz a fim de eliminar resíduos orgânicos é fator importante para a obtenção final do tipo de sílica. A combustão da casca de arroz em temperaturas controladas entre 450 °C e 700 °C, com patamar de duração entre 3 ou 4 horas, gerará sílica amorfa. Já a queima da casca de arroz em temperaturas entre 800 °C e 1000 °C, com duração de 1 a 2 horas, dará origem à sílica cristalina de quartzo. Segundo Lima (2009), a sílica gel é um polímero inorgânico e amorfo e as suas primeiras citações datam de 1861. Ela é formada pela condensação dos tetraedros do silicato, usando o oxigênio como ligante entre o silício, dando origem aos grupos siloxanos (Si-O-Si). A síntese da sílica gel é realizada através da reação entre o silicato de sódio (Na_2SiO_3) e o ácido sulfúrico (H_2SO_4). Assim que misturados formam um hidrosol, que se contrai lentamente até a formação de um hidrogel, uma estrutura sólida.

A reatividade da sílica gel é proveniente dos grupos silanóis (Si-OH) que cobrem toda a superfície. Esses grupos possuem comportamento ácido, devido à sua desigual distribuição de densidade eletrônica, e eles são responsáveis pela reatividade da superfície da sílica gel. A sílica gel é classificada em aquagel, xerogel

e aerogel. Aquagel é quando seus poros estão preenchidos por água, xerogel é quando a água evapora dos poros, e na aerogel, o solvente é removido por extração supercrítica. A sílica gel é o dessecante mais usual na indústria farmacêutica. A sua utilização como desidratante preserva a integridade dos produtos, uma vez que os mantêm protegidos da ação nociva da umidade residual, evitando a oxidação e a proliferação de fungos. A umidade é adsorvida em seus poros e devido a isso, a sílica gel mesmo saturada em sua capacidade de adsorção, ela mantém-se seca externamente, não transmitindo a umidade para o produto (FIORE, 2001).

A sílica gel possui capacidade de adsorção de água de até 40% de sua massa. E devido à presença de grupos silanóis e siloxanos na superfície, a sílica gel tem capacidade de adsorção tanto de água quanto álcool, devido à afinidade eletrônica (NG et al., 2001). É possível reutilizar a sílica gel após tratamento térmico de até 200 °C durante 1 ou 2 horas, entretanto, não se deve ultrapassar 200°C, pois há perda dos grupos hidroxilas (NG et al., 2001; CHRISTY, 2011). Real, Alcala e Criado (1996), Weber (2001), Della et al. (2006), Carmona et al. (2009), Fernandes, Sabino e Rosseto (2014), Simundi (2017), Nassar, Ahmed e Abo-Raya (2019) obtiveram sílica reativa a partir da casca de arroz. A sílica após a síntese com hidróxido de sódio forma o silicato de sódio, que ao ser neutralizado com ácido sulfúrico dá origem à sílica gel (KAMATH; PROCTOR, 1998, MOHAMMED et al., 2017). Foletto et al. (2006) propuseram a produção de silicato de sódio solúvel a partir de cinzas de casca de arroz usando dois processos: um de sistema aberto sob pressão atmosférica e outro sob sistema fechado com pressão controlada, ambos com temperatura variando entre 100 °C e 200 °C. Em ambos os sistemas houve produção silicato de sódio solúvel, e ainda se constatou que os fatores principais de reação são a temperatura e o tempo, sendo que a razão molar NaOH/SiO₂ praticamente não interfere na formação silicato de sódio.

Kalapath, Proctor e Scultz (2000) obtiveram sílica gel a partir de cinzas de cascas de arroz através de duas formas, uma com lixiviação ácida das cinzas para retirada de substratos minerais e outra sem lavagem inicial. Os resultados mostraram que a lavagem inicial das cinzas de casca de arroz produziu sílica gel com uma porcentagem maior de dióxido de silício e com contaminantes minerais, como o cálcio, por exemplo, em quantidades mínimas presentes nas amostras. Rungrodnimitchai,

Phokhanusai e Sungkhaho (2009) usaram o aquecimento em forno micro-ondas para produzir sílica gel a partir das cinzas de casca de arroz. Os mesmos testaram a influência da potência da irradiação de micro-ondas (400, 600 e 800W) e molaridade do hidróxido de sódio (0,5, 1,0 e 2,0M) na formação final e propriedades da sílica gel. Os autores concluíram que o maior rendimento em massa (gramas) de sílica gel, além de melhores propriedades de adsorção, foram as amostras produzidas a 800W e usando hidróxido de sódio com molaridade de 1,0 M. O artigo 3º, inciso IV, da Lei nº 6.360, descreve perfumes como produtos de composição aromática obtida à base de substâncias naturais ou sintéticas, que, em concentrações e veículos apropriados, tenham como principal finalidade a odorização de pessoas ou ambientes, apresentados em forma líquida, gelificada, pastosa ou sólida (BRASIL, 1976). A Resolução nº 59 da ANVISA, descreve que o processo de odorização é ocasionado pela liberação de substâncias, perfumando objetos, superfícies e ambientes (BRASIL, 2010). E odorizadores de ar são produtos de consumo que emitem uma fragrância com a finalidade de perfumar um determinado ambiente. No mercado são encontrados nas mais diversas versões, sprays, géis, óleos, líquidos, sólidos e outros. A liberação de perfume pode ser de forma ativa ou passiva, de forma constante ou intermitente (STEINEMANN, 2017).

O objetivo deste estudo foi produzir sílica-gel a partir das cinzas de casca de arroz para aplicação como odorizador automotivo. Para atingir os objetivos, foram realizadas análises bibliográficas de autores conceituados no assunto, bem como a consulta de dados disponíveis nos meios eletrônicos, em sites de organizações especializadas no assunto. Os procedimentos experimentais foram realizados nos laboratórios do curso de Engenharia de Materiais da Universidade Franciscana. Após a análise dos resultados, foi possível verificar que houve adsorção de essência pela sílica gel, permitindo assim o uso como odorizador automotivo.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A sílica gel usada como matéria prima para o odorizador foi sintetizada a partir de cinzas de cascas de arroz obtidas da empresa Terra Nova, de Santa Catarina, a qual forneceu um laudo com as composições química das mesmas (Tabela 1).

Para comparação de propriedades, usou-se sílica gel comercial adquirido da Empresa Quimidrol. E para a produção do odorizador, foi usado óleo concentrado de canela, fornecido pelo Laboratório de Nanotecnologia da Universidade Franciscana.

Tabela 1. Composição química das cinzas de cascas de arroz da empresa Terra Nova, de Santa Catarina.

Componente	Teor %
Al ₂ O ₃	0,86
CaO	0,63
Fe ₂ O ₃	1,16
K ₂ O	3,09
MgO	0,68
P ₂ O ₅	4,79
SiO ₂	86,37
Orgânicos	2,10
MnO, Na ₂ O e TiO ₂	0,15

Fonte: Construção do Autor.

2.1 SÍNTESE DA SILICAGEL E ADSORÇÃO DA ESSÊNCIA

A síntese da sílica gel a partir de cinzas de casca de arroz começou com a trituração das mesmas em moinho de bolas por 15 minutos e posterior peneiramento em peneira #200. Após as cinzas foram lavadas em ácido clorídrico (HCl) 0,5M durante 30 minutos, a 60 °C, na proporção de 50g por litro de solução, seguido de lavagem com água a 80°C, filtragem a vácuo e secagem em estufa. Após a secagem, 30g de cinzas de casca de arroz foram adicionados em um litro de hidróxido de sódio (NaOH) 1,0M em um Erlenmayer coberto e fervido durante uma hora sob constante agitação. Na sequência, a solução foi filtrada a vácuo, com descarte do resíduo sólido, e o filtrado foi titulado com ácido sulfúrico (H₂SO₄) 1,0M lentamente e sob constante agitação, interrompido quando atingiu o pH 7. O gel formado foi envelhecido por 24 horas, após foi lavado com 400 mL de água deionizada para retirada de sais, sendo repetido esse processo por seis vezes, findando com a filtragem a vácuo. Por fim, metade da massa do gel foi colocado em uma bandeja e deixado para secar em estufa a 80°C durante 24 horas para formação do aerogel, e a outra foi colocada em um dessecador para a evaporação da água e formação do xerogel.

Para a produção da essência, adicionou-se 30 gotas de óleo de cravo, 100mL de água destilada e 100mL de álcool etílico 96% em um Erlenmayer coberto, sob agitação leve por 10 minutos.

Para a produção do odorizador, usou-se frascos de vidro de 50mL com tampa rosqueável, onde foram adicionados a sílica gel e a essência, na proporção de 0,09g/mL para a formato aerogel (comercial e CCA) e 1,35g/mL para o formato xerogel (CCA). Os frascos com as emulsões foram dispostos em uma mesa agitadora, Marca Tecnal, modelo TE 140, sob agitação a 95rpm durante 8 horas e descanso por 16 horas, até completar o ciclo de 72 horas. Após o tempo de adsorção, as amostras foram filtradas e secas em estufa a 60°C durante 24 horas, na sequencia foram realizadas as caracterizações.

2.2 CARACTERIZAÇÕES

A DRX foi realizada usando amostras de sílica xerogel, fragmentadas em almofariz de porcelana e peneiradas em peneira #270. O equipamento usado foi o difratômetro de marca D2 Phaser, da empresa Bruker, operando com radiação monocromática de cobre a 40 kV e 30 mA. Para determinação das fases, foram realizadas varreduras com velocidade angular de 0,02° por segundo e intervalo de medida entre os ângulos de Bragg (2θ) de 5° e 70°. Para interpretação qualitativa de espectro foi usado o software Difrac. Suíte.

Os ensaios de FTIR foram realizados refletância com sal de KBr, a resolução dos espectros obtidos foi de 2 cm⁻¹ e a faixa de observância foi de 400 cm⁻¹ a 4000 cm⁻¹. O ensaio foi realizado em equipamento da marca Perkin-Elmer, modelo Spectro One.

Para avaliação da adsorção do óleo pela sílica gel, foi realizado um teste sensorial olfativo. Foi realizado teste cego com 5 pessoas diferentes dentro e fora do grupo de pesquisa, comparando as amostras antes e após a impregnação do óleo, respondendo a pergunta se estavam sentindo ou não a emissão de odor pelas amostras.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Figura 1 é apresentado o difratograma de raios-X das cinzas de casca de arroz no estado em que foram recebidas. Como pode ser observado, existe a presença de picos em 2θ igual a 22°, 28,5°, 31,5° e 36°, que são característicos da

fase cristobalita do óxido de silício (ICDD: 039-1425). Essa é uma fase cristalina da sílica e que é formada quando as cinzas são calcinadas acima de 800°C (RODRIGUES, 2008).

A sílica gel, tanto a comercial (Figura 2A) quanto a sintetizada das cinzas de casca de arroz (Figura 3A), apresentaram espectros de DRX com fase amorfa com curva característica. Após a impregnação do óleo (Figura 2B, Figura 3B e Figura 3C), não houve alteração da estrutura destes materiais, permanecendo com o mesmo formato de difratograma e uma estrutura caracteristicamente amorfa (KAMATH; PROCTOR, 1998).

Figura 1. Espectro de DRX das cinzas de cascas de arroz quando recebidas.

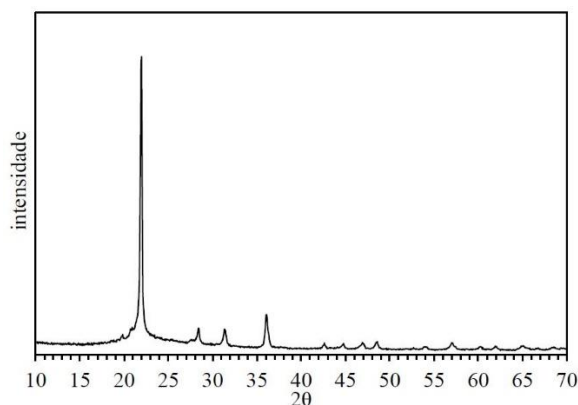


Figura 2. Espectro de DRX da sílica gel comercial (A) e da sílica gel comercial com essência (B).

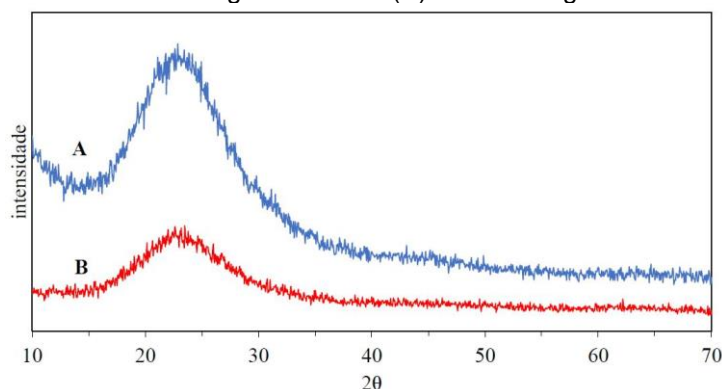
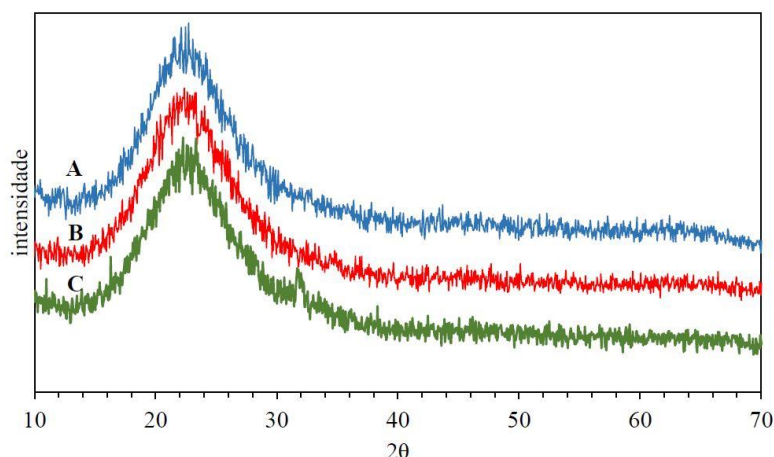


Figura 3. Espectro de DRX da sílica gel de cinzas de cascas de arroz (A), sílica gel de cinzas de cascas com essência (B) e sílica gel de cinzas de casca de arroz formato xerogel com essência (C).

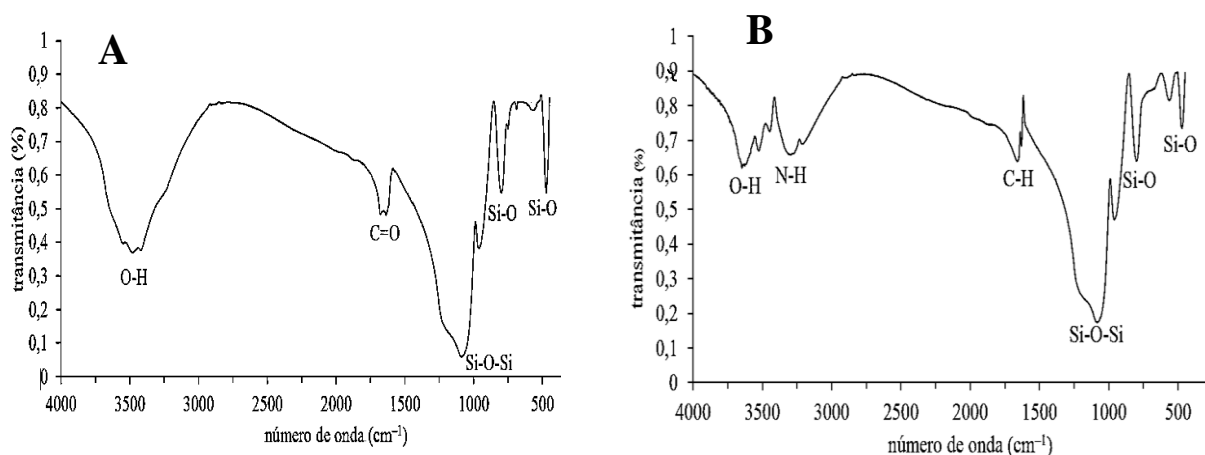


No gráfico da FTIR da sílica gel comercial (Figura 4A), são observados picos fortes em 3550, 1700, 1100, 750 e 500 cm^{-1} , que são característicos de hidroxilas (O-H), carboxilas (C=O), siloxanos (Si-O-Si), e ligações simples sílcio-oxigênio (Si-O) respectivamente.

Ao adicionar essência de canela à sílica gel comercial, observou-se um decréscimo no estiramento do grupo O-H em 3550 cm^{-1} (Figura 10(b)). Houve surgimento de picos característicos de hidroxilas livre (O-H) em 3680 cm^{-1} e 3584 cm^{-1} , de amina (N-H) em 3450 cm^{-1} , amina primária alifática (N-H) em 3300 cm^{-1} , álcool ligado intermolecular (O-H) em 3260 cm^{-1} , hidrocarboneto aromático (C-H) em 1600 cm^{-1} , além dos picos característicos de siloxanos e ligações simples sílcio-oxigênio (LOPES; FASCIO, 2004).

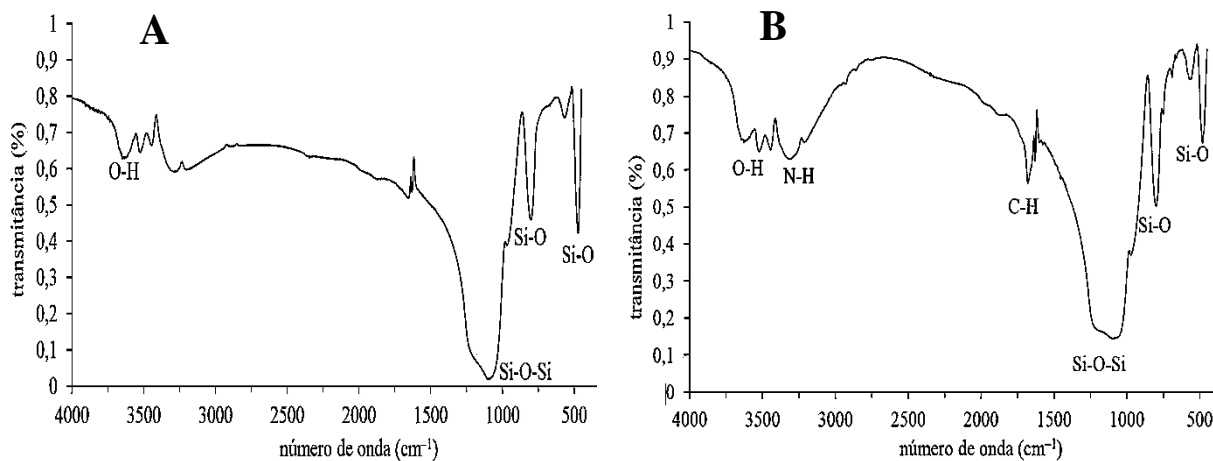
Quanto ao espectro de FTIR da sílica gel de cinzas de casca de arroz (Figura 5A), são observados picos fortes em 3550 cm^{-1} , 1100 cm^{-1} , 750 cm^{-1} e 500 cm^{-1} , que são respectivamente característicos de hidroxilas (O-H), siloxanos (Si-O-Si), e ligações simples sílcio-oxigênio (Si-O). Ao adicionar essência de canela à sílica gel de cinzas de casca de arroz (Figura 5B), observou-se o surgimento de picos característicos de hidroxilas livres(O-H) em 3680 cm^{-1} , de amina (N-H) em 3450 cm^{-1} , amina primária alifática (N-H) em 3300 cm^{-1} , hidrocarboneto aromático (C-H) em 1600 cm^{-1} , além dos picos característicos de siloxanos e ligações simples sílcio-oxigênio (LOPES; FASCIO, 2004).

Figura 4. Espectros de FTIR da sílica gel comercial (A) e sílica gel comercial com adsorção de essência de cravo (B).



Ao analisar os espectros de FTIR, nota-se que com a adição da essência aparecem os grupos de hidrocarbonetos aromáticos e de álcool, evidenciando a presença do perfume na amostra. Isso se deve ao óleo de cravo possuir em sua composição grupos como eugenol, linalol, cineol, safranól e cinamaldeído. Esse último é o responsável pelo odor e sabor pertinente da canela (KOKETSU et al., 1997).

Figura5. Espectros de FTIR da sílica gel de cinzas de casca de arroz (A) e sílica gel de cinzas de casca de arroz com adsorção de essência de cravo (B).



O resultado do teste sensorial olfativo (Tabela 2) para liberação de odor mostrou que, passado os sete dias, o perfume marcante da essência de canela estava presente, tanto na sílica gel no formato gel (CCA) quanto na sílica gel no formato aerogel (comercial e CCA), demonstrando assim que não houve desintegração da adsorção da essência pelo substrato.

Tabela 2. Resultado do teste sensorial olfativo.

INDIVÍDUO	EMIÇÃO DE ODOR: SIM OU NÃO?			
	Sílica gel (comercial e CCA) pré impregnação	Sílica gel (Comercial e CCA) pós impregnação	Sílica gel (CCA) xerogel pré impregnação	Sílica gel (CCA) xerogel pós impregnação
1	Não	Sim	Não	Sim
2	Não	Sim	Não	Sim
3	Não	Sim	Não	Sim
4	Não	Sim	Não	Sim
5	Não	Sim	Não	Sim

4 CONCLUSÃO

O arroz é um dos alimentos mais consumido no mundo. O cereal está presente como parte da dieta básica dos brasileiros. A produção do grão aumenta a cada ano. A cada tonelada de arroz, 20% é casca, fazendo assim, com que produtores busquem alternativas para o descarte desse subproduto.

A casca de arroz é rica em dióxido de silício, e quando usada como fonte para geração de energia através da queima, gera cinzas com percentuais de sílica em torno de 90%. Isso faz com que as cinzas de casca de arroz possuam inúmeras aplicações, como adubo corretivo de solos ou como fonte de sílica pura por exemplo.

Este estudo buscou sintetizar sílica gel a partir de cinzas de cascas de arroz e utilizá-la como matéria prima para a produção de odorizadores automotivos. Os resultados de FTIR e teste sensorial olfativo mostraram que houve adsorção de essência pela sílica gel, elucidando assim que é possível a produção de odorizadores, dando mais uma finalidade para o subproduto advindo de uma cultura agrícola indispensável para o País e para o Mundo.

REFERÊNCIAS

- BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA – ANVISA. Resolução-RDC nº 59, de 17 de dezembro de 2010. **Ministério da Saúde**. Brasília, 2010.
- BRASIL. Lei nº 6.360, de 23 de setembro de 1976. **Dispõe sobre a vigilância sanitária a que ficam sujeitos os medicamentos, as drogas, os insumos farmacêuticos e correlatos, cosméticos, saneantes e outros produtos, e dá outras providências**. Brasília, 23 Set. 1976
- CALLISTER, JR.; W. D.; RETHWISCH, D. G. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. Tradução: Sérgio Murilo Stamile Soares; revisão técnica: José Roberto Moraes d’Almeida – [Reimpr.] – Rio de Janeiro: LTC, 2013. 817 p.

CARMONA, V. B. et al. Nanossílica a partir de casca de arroz: extração e caracterização. In: WORKSHOP DA REDE DE NANOTECNOLOGIA APLICADA AO AGRONEGÓCIO, 5, 2009. **Anais...** São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2009, p. 252-254.

CHRISTY, A. A. Effect of Hydrothermal Treatment on Adsorption Properties of Silica Gel. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v. 50, n. 9, p. 5543-5554, 2011.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Perspectivas para a agropecuária**: Volume 6 – Safra 2018/2019. Brasília: Conab, 2018. 104 p. ISSN: 2318-3241.

DELLA, V. P.; KUHN, I.; HOTZA, D. Reciclagem dos resíduos agroindustriais: cinza da casca de arroz como fonte alternativa de sílica. **Cerâmica Industrial**, São Carlos, v. 10, n. 2, p. 22-25, 2005.

DELLA, V. P.; JUNKES, J. A.; OLIVEIRA, A. P. N.; HOTZA, D. Estudo comparativo entre sílica obtida por lixívia ácida da casca de arroz e sílica obtida por tratamento térmico da cinza de casca de arroz. **Química Nova**, São Paulo, v. 29, n. 6, p. 1175-1179, 2006.

FERNANDES, L.; SABINO, M. G.; ROSSETO, H. L. Método de extração de sílica da casca do arroz. **Cerâmica**, São Carlos, v. 60, p. 160-163, 2014.

FIORE, C. L. Sílica gel para uso magistral. **Revista Técnica do Farmacêutico**, São Paulo, p. 14-16, Jul. 2013.

FOLETTTO, E. L. et al. Aplicabilidade das cinzas da casca do arroz. **Química Nova**, São Paulo, v. 28, n. 6, p. 1055-1060, 2005.

FOLETTTO, E. L. et al. Conversion of Rice Hull Ash into Soluble Sodium Silicate. **Materials Research**, v. 9, n. 3, p. 335-338, 2006.

GOMES, L. S.; FURTADO, A. C. R.; SOUZA, M. C. A Sílica e suas particularidades. **Virtual Química**, Niterói, v. 10, n. 4, 2018.

HOFFMANN, R. et al. **Aproveitamento da cinza produzida na combustão da casca de arroz: estado da arte**. Santa Maria: UFSM, 2010. 14 p.

KAMATH, S. R.; PROCTOR, A. Sílica Gel from Rice Hull Ash: Preparation and Characterization. **Cereal Chemistry**, v. 75, n. 4, p. 484-487, 1998.

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

KOKETSU, M. et al. Óleos essenciais de cascas e folhas de canela (*cinnamomum verum* presl) cultivada no Paraná. **Ciência e Tecnologia Alimentícia**, vol. 17, n. 3, p. 281-285, 1997.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola - LSPA**. Rio de Janeiro, Vol. 30, no 1, 2017, 81 p.

LIMA, S. P. B. **Estudo da produção e aplicação em pastas cimentícias de sílica gel proveniente das cinzas da casca de arroz**. 2009. 219 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2009.

- LOPESW. A.; FASCIO, M. Esquema para interpretação de espectros de substâncias orgânicas na região do infravermelho. **Química Nova**, v. 27, n. 4, p. 670-673, 2004
- MOHAMMED, R. H. et al. Revisiting the adsorption equilibrium equations of silica gel/water for adsorption cooling applications. **International Journal of Refrigeration**, 2017.
- NG, K. C. et al. Experimental investigation of the silica gel-water adsorption isotherm characteristics. **Applied Thermal Engineering**, v. 21, p. 1631-1642, 2001.
- NASSAR, M. Y.; AHMED, I. S.; ABO-RAYA, A. M. A facile and tunable approach for synthesis of pure silica nanostructures from rice husk for the removal of ciprofloxacin drug from polluted aqueous solutions. **Journal of Molecular Liquids**, 2019.
- REAL, C.; ALCALA, M. D.; CRIADO, J. M.; Preparation of silica from Rice husks. **Journal American Ceramic Society**, v. 79, p. 2012-2016, 1996.
- RODRIGUES, M. S. Caracterização de cinza residual da queima de casca de arroz para a produção de argamassa. 2008. 128p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2008.
- RUNGRODNIMITCHAI, S.; PHOKHANUSAI, W.; SUNGKHAHO, N. Preparation of Silica Gel from Rice Husk Ash Using Microwave Heating. **Journal of Metals, Materials and Minerals**, v. 19, n. 2, p. 45-50, 2009.
- SIMUNDI, F. S. M. **Extração de sílica e celulose a partir da casca de arroz**. 2017. 63 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia dos Materiais) - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS, 2017.
- SOBROSA, F. Z. **Desenvolvimento de materiais cerâmicos refratários com adição da sílica residual proveniente da queima da casca de arroz**. 2014. 130 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Pampa. Alegrete, 2014.
- STEINEMANN, A. Ten questions concerning air fresheners and indoor built environments. **Building and Environment**, v. 111, p. 279-284, 2017.
- WEBER, S. L. **Metodologia para obtenção de sílica de elevada reatividade para uso em concreto de alto desempenho a partir do processamento de cinza da casca de arroz**. 2001. 98 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.
- ZOU, Y.; YANG, T. Rice Husk, Rice Husk Ash and Their Applications. **Rice Bran and Rice Bran Oil**, 1ª ed., cap. 9, p. 207-246, 2019.