

Síntese e aplicação do material mesoporoso do tipo Nb-MCM com líquido iônico utilizando sílica derivada das cinzas da casca de arroz em elastômeros

Synthesis and application of mesoporous material of the Nb-MCM type with ionic liquid using silica derived from rice husk ash in elastomers

Síntesis y aplicación de material mesoporoso tipo Nb-MCM con líquido iónico utilizando sílice derivada de ceniza de cascarilla de arroz en elastómeros

Recebido: 04/04/2022 | Revisado: 11/04/2022 | Aceito: 14/04/2022 | Publicado: 19/04/2022

Adriele Sabrina Todero

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7484-2919>
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Brasil
E-mail: adrieletodero@hotmail.com

Fabiana de Oliveira Pereira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5128-4355>
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Brasil
E-mail: fabiana.opereira10@gmail.com

Ricardo Jorge Macieski

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6349-7259>
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Brasil
E-mail: ricardojmacieski@gmail.com

Diana Exenberger Finkler

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5489-4455>
Marina Tecnologia Ltda, Brasil
E-mail: diana.finkler@gmail.com

Diego Petkowicz

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0256-8666>
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Brasil
E-mail: diego_petkowicz@yahoo.com.br

Rogério Marcos Dal Lago

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7366-5562>
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Brasil
E-mail: dallago@uricer.edu.br

Marcelo Luís Mignoni

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4241-7747>
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Brasil
E-mail: mignoni@uricer.edu.br

Resumo

A visibilidade de reaproveitamento de materiais, subprodutos e coprodutos vem ganhando cada vez mais espaço em pesquisas acadêmicas, utilização industrial e inovação, com isso, o propósito do presente estudo são as possibilidades de utilização da solução de silicato de sódio proveniente da cinza da casca de arroz (CCA). Além disso, adicionou-se Líquido Iônico (LI) e diferentes relações de silício e nióbio para buscar melhorias nas propriedades físico-químicas dos elastômeros. Por meio de Difração de Raios X (DRX) comprovou-se a obtenção do material mesoporoso do tipo MCM-48 pura e quando empregada variadas relações molares de Si/Nb, Nb-MCM-48. Ao aplicar em elastômeros, concluiu-se por meio de torque máximo e mínimo; tempo ótimo e *scorch*, que o acréscimo de LI e também da Nb-MCM causaram efeitos nos seus desempenhos, como aceleração do tempo de *scorch* e melhorias nas propriedades mecânicas.

Palavras-chave: Casca de arroz; Nióbio; Líquido Iônico; Elastômeros.

Abstract

The visibility of material reuse, subproducts and coproducts has been gaining more and more space in academical researches, industrial uses and innovation, therefore, the present study purpose are the possibilities of use of the sodium silicate solution from rice husk ash (RHA). In addition, Ionic Liquid (LI) and different ratios of silicon and niobium were added to seek improvements in the physicochemical properties of the elastomers. By means of X-Ray Diffraction (XRD) it was proved the obtaining of pure MCM-48 mesoporous material and, when employed varied molar ratios of Si/Nb, Nb-MCM-48. When applying in elastomers, concluded through maximum and minimum

torque, great time and *scorch*, that the IL add and the MCM too caused effects in the performances, as *scorch* time acceleration and mechanical properties improvement.

Keywords: Rice ash; Niobium; Ionic Liquid; Elastomers.

Resumen

La visibilidad de la reutilización de materiales, subproductos y coproductos ha ido ganando cada vez más espacio en la investigación académica, el uso industrial y la innovación, con ello, el propósito del presente estudio son las posibilidades de aprovechamiento de la solución de silicato de sodio a partir de la ceniza de la corteza de arroz (CCA). Además, se adicionó Líquido Iónico (LI) y diferentes proporciones de silicio y niobio para buscar mejoras en las propiedades fisicoquímicas de los elastómeros. Mediante Difracción de Rayos X (XRD) se comprobó la obtención de material mesoporoso MCM-48 puro y, al emplearse relaciones molares variadas de Si/Nb, Nb-MCM-48. Cuando se aplicaba a los elastómeros, se concluía mediante par máximo y mínimo; tiempo óptimo y *chamuscado*, que la adición de LI y también de MCM provocó efectos en sus desempeños, tales como aceleración del tiempo de *chamuscado* y mejoras en las propiedades mecánicas.

Palabras clave: Cáscara de arroz; Niobio; Líquido Iónico; Elastómeros.

1. Introdução

No ranking mundial de produção de arroz, o Brasil ocupa o 9º lugar e o território Asiático ocupa as oito primeiras colocações. No que diz respeito ao Brasil, anualmente, são produzidos em média 10 milhões de toneladas de arroz em casca, sendo o Rio Grande do Sul responsável por mais de 70% dessa produção (Santos, 2020). Em média, 23% do arroz colhido corresponde a casca, gerando anualmente aproximadamente 2,3 milhões de toneladas de casca, que se torna um resíduo industrial após o arroz ser descascado. Por possuir elevado poder calorífico tem sido utilizada como combustível em termoelétricas para a produção de energia (Kieling *et al.*, 2020).

A queima da casca de arroz gera a cinza da casca de arroz (CCA) que pode corresponder a aproximadamente 25% da casca gerada (Nascimento *et al.*, 2015). A depender do tipo de processo de queima, podem ser gerados em dois tipos de cinza, a clara e escura. A cinza clara é obtida pela queima da casca em temperaturas entre 700 a 1000°C, já a cinza escura em temperaturas menores variando de 450 a 700°C (Nascimento *et al.*, 2015).

A cinza da casca do arroz é rica em dióxido de silício (sílica). Sua obtenção a partir da CCA pode ocorrer por meio de um tratamento químico, através de uma extração básica com uso do hidróxido de sódio, gerando uma solução alcalina de silicato de sódio (Na₂SiO₃) que passando por um tratamento térmico entre 600 e 800°C obtém-se a sílica precipitada (Alves *et al.*, 2018). A CCA possui em sua estrutura características de sílica amorfa, o que ocasiona reação pozolânicas com os aglomerantes usuais, com os minerais dos solos e outras reações que propicia o uso em biodiesel e em borrachas (Silva *et al.*, 2020). Esta por sua vez pode ser utilizada em substituição das fontes tradicionais de silício empregadas na síntese de materiais, nesta área podemos citar o tetraetilortosilicato (TEOS).

O silício é um dos responsáveis na formação de sílicas mesoporosas, conhecidas como Mobil Composition of Matter (MCM). Estas, por sua vez, podem ter elementos incorporados na sua estrutura, como o nióbio e diversos outros metais. O território brasileiro possui a maior reserva mundial do nióbio, elemento 41 da tabela periódica, com aproximadamente 98% da reserva total do metal, no entanto, devido à falta de investimentos em pesquisas utilizando este mineral, grande parte está sendo exportada (Cardoso, 2021). Dentre suas características, é um material refratário de importante emprego tecnológico, já que apresenta uma eficiente resistência à corrosão e boa condutividade elétrica. Suas aplicações na atualidade variam desde sua adição na produção de aços estruturais e aços para a área automotiva e até equipamentos para motores a jato e turbinas a gás (Silva, 2019). Além disso, o nióbio auxilia no melhoramento de vidros fosfatos, proporcionando aumento na dureza, densidade e módulo elástico (Bruziquesi *et al.*, 2019).

Para as sínteses de muitos materiais inorgânicos, como por exemplo zeólitas e materiais mesoporosos do tipo MCM é necessário o emprego um agente direcionador de estrutura (ADE), podendo ser moléculas orgânicas entre outros. Nos últimos anos a classe dos líquidos iônicos ganharam grande destaque na área acadêmica (Daronch *et al.*, 2021). Os líquidos iônicos

podem ser definidos usualmente como materiais formados exclusivamente por ânions e cátions que possuem ponto de fusão, e para muitos menor que a temperatura ambiente. Estas substâncias estão ganhando mais espaço devido suas propriedades, dentre elas, estabilidade térmica, estabilidade eletroquímica, viscosidade, condutividade iônica, solubilidade e outras, no entanto, ressalta-se que podem variar de acordo com a estrutura de cada um dos LI (Macedo, 2020).

Dentre as aplicações, Borba (2019) aplicou os LI para encapsulamento e adição junto a um Zr-MOF, seguidos de testes em membrana. Em outro trabalho descrito na literatura, Polessio (2018) utilizou dos LI's imobilizados com intuito de separação de CO₂ do gás natural por meio de suportes porosos. Na síntese de material mesoporoso do tipo MCM, Pedott *et al* (2021) obteve o material Nb-MCM-48, utilizando o sólido iônico [C₁₆MI.Cl] como agente direcionador de estrutura, neste trabalho os autores também utilizaram como fonte de sílica as CCA.

Materiais mesoporosos do tipo MCM têm sido empregados de forma inovadora como carga em formulações de compostos de borracha, borracha termoplástica, plástico e fabricação de produtos (PI 1102638-3). A aplicação de material mesoporoso do tipo MCM-41 em elastômeros demonstrou afetar a cinética de vulcanização (Finkler, 2017). A sílica mesoporosa do tipo MCM, somada ao metal nióbio, quando empregada na formulação de compostos a base de borracha natural, pode ocasionar melhorias nas propriedades mecânicas, de tensão, alongamento e dureza, fazendo com que ocorra um melhor desempenho no material (Silva, 2019).

O trabalho tem como propósito sintetizar um material mesoporoso do tipo Nb-MCM-48 com diferentes relações molares Si/Nb a partir do uso de uma solução de silicato de sódio obtida da CCA, e posteriormente verificar a sua influência nas propriedades físico-químicas de elastômeros.

2. Metodologia

Para a preparação da prática, a metodologia empregada será apresentada na sequência. Sendo descritos os materiais e sequência de passos, além das caracterizações referentes as técnicas desenvolvidas.

2.1 Materiais

Na parte experimental foram utilizados os seguintes materiais: cinzas de casca de arroz (CCA) disponibilizadas pela empresa Marina Tecnologia Ltda, ácido clorídrico (Quimex), hidróxido de sódio (Vetec), hidróxido de amônio (NH₄OH), etanol absoluto (Synth), oxalato amoniacal de nióbio (NH₄[NbO(C₂O₄)₂(H₂O)₂]). O líquido iônico (LI), cloreto de 1-hexadecil-3-metilimidazólio [C₁₆.MI.Cl] usado como direcionador de estrutura, foi sintetizado em nosso próprio laboratório (Mignoni, 2012).

2.2 Obtenção da solução de silicato de sódio (Na₂SiO₃)

Para a extração da sílica presente nas cinzas da casca de arroz, inicialmente 30 gramas de CCA foram calcinadas na temperatura de 500°C por 16h, para a remoção de matérias orgânicas. Na sequência, o material resultante passou por uma lavagem ácida com 300 mL de uma solução ácida, preparada com água destilada e HCl 6M até obter pH = 1. Esta solução ficou em agitação magnética em temperatura de ebulição por 2 horas. Ao final, o material foi filtrado a vácuo e secagem em estufa (80°C). Após o material seco foi colocado em um balão, juntamente com 300 mL de solução NaOH 2M, e este, acoplado em sistema de aquecimento com recirculação de água e agitação magnética por 4 horas. Este sistema foi aquecido até a temperatura de 100 °C. Por fim, a solução foi filtrada e armazenada.

2.3 Síntese do material mesoporoso do tipo Nb-MCM-48

Primeiramente realizou-se a calcinação do oxalato amoniacal de nióbio (NH₄NbO(C₂O₄)₂), em mufla por 12 horas a

450°C com a finalidade de obter-se o óxido de nióbio que será utilizado nas reações posteriores.

A preparação do material mesoporoso do tipo Nb-MCM-48, iniciou-se diluindo 2,4 gramas de LI [C₁₆MI.Cl] em uma solução contendo 50 mL de água destilada e 50 mL de etanol. Após adicionou-se a esta solução 12 mL de NH₄OH. Na sequência, a mistura reacional ficou sob agitação magnética por 10 minutos. Neste momento, adiciona-se as quantidades diferenciadas de óxido de nióbio afim de se obter relações molares Si/Nb iguais a 1, 5, 20 e 50. Ao final, acrescenta-se 27 mL de da solução de silicato de sódio (Na₂SiO₃) e coloca-se em agitação magnética pelo período de 2 horas. Por fim, o material precipitado é centrifugado e lavado com água destilada até atingir pH ≥ 7, deixando secar por mais 24 horas e/ou até peso constante. Os materiais obtidos foram caracterizados por meio da técnica de difração de raio X (DRX).

2.4 Compostos de borracha

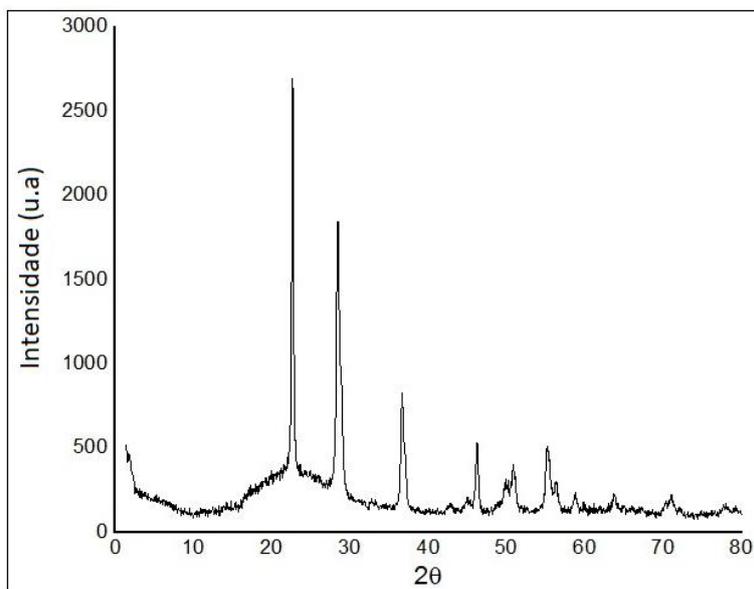
Os compostos de borracha foram desenvolvidos pela Marina Tecnologia, denominados como goma pura e composto puro. A goma pura é um material formado praticamente, apenas de elastômero (borracha natural) e os ingredientes necessários para vulcanizar. O material de nome composto (CP) refere-se a um elastômero comercial com adição de outros materiais (Caetano, 2022).

Os compósitos resultantes tiveram suas propriedades reométricas analisadas por meio de quatro parâmetros diferentes. tempo de *scorch* (TS2), tempo ótimo (T90), torque máximo (MH) e torque mínimo (ML). Ao que se refere ao tempo de *scorch* (TS2) pode ser definido como o tempo de segurança necessário para aquecer o material a uma temperatura estabelecida, reduzindo a viscosidade e aumentando a fluidez, de maneira que o composto complete toda a cavidade do molde, antes da formação de ligações cruzadas. O tempo ótimo (T90) é o tempo necessário para atingir 90% das ligações cruzadas (Wolf, 2020). O torque máximo (MH) indica coerentemente o módulo do vulcanizado, além de estar correlacionado a dureza final do composto. Por fim o torque mínimo (ML) expõe de forma ponderada à viscosidade do composto em uma temperatura determinada (Souza *et al.*, 2018).

3. Resultados e Discussão

A Figura 1 apresenta o resultado obtido na análise de difração de raios X para o óxido de nióbio obtido a partir do oxalato de nióbio.

Figura 1. Difração de raios X do óxido de Nióbio obtido.

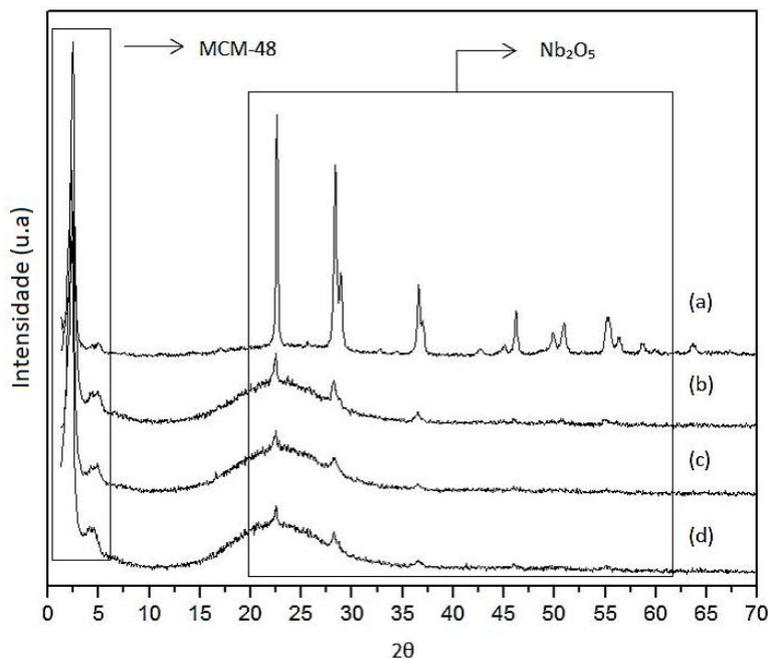


Fonte: Autores.

Observando a Figura 1 é possível visualizar picos referentes a fase cristalina do material. Estes quando comparados com dados descritos em literatura, comprova-se a formação da fase T, que é uma estrutura ortorrômbica, característica do Nb₂O₅ quando submetido a processos de calcinação entre 450 e 700°C (Romero & Panta, 2016).

Os resultados obtidos de DRX para a síntese dos materiais mesoporosos do tipo Nb-MCM, com diferentes relações molares Si/Nb estão apresentados na Figura 2.

Figura 2. Difração de raios X da síntese do material mesoporoso do tipo Nb-MCM-48 com diferentes relações molares de Si/Nb: (a) 1, (b) 5, (c) 20 e (d) 50.

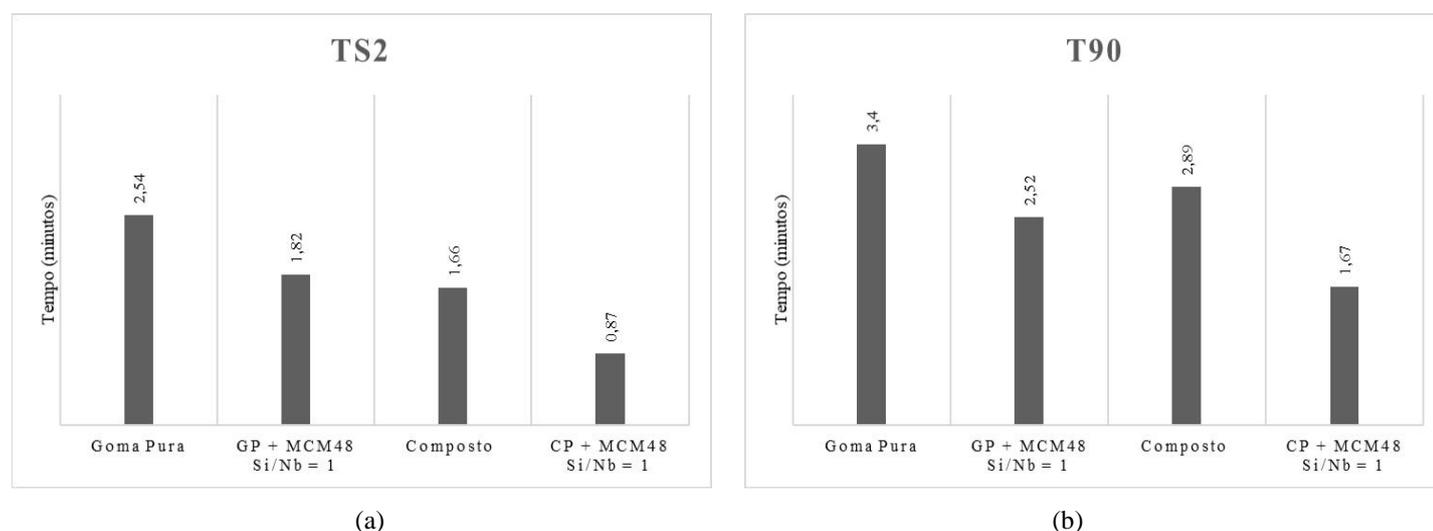


Fonte: Autores.

Os resultados apresentados na Figura 2, evidenciam a obtenção do sólido mesoporoso do tipo MCM-48, picos compreendidos entre 1-5 graus (2θ). Também verifica-se a presença do metal Nióbio, picos compreendidos entre 22,5 e 64 graus (2θ). Isso fica bem evidenciado quando compara-se a Figura 1 com a Figura 2. Ainda, observa-se que, quanto menor for a relação Si/Nb utilizada, implica em uma maior quantidade de Nb no material. Desta forma, evidencia-se nos diferentes difratogramas (a, b, c, e d) que conforme maior a quantidade de Nb, também maior é a intensidade relativa do mesmo, sendo a a relação molar Si/Nb = 1 a qual mais apresentou os picos característicos do metal. Estes apontamentos também foram citados em literatura (Pedott *et al.*, 2021).

O material introduzido aos elastômeros, composto puro e goma pura, foi o material mesoporoso do tipo MCM-48 com relação molar Si/Nb = 1. A Figura 3 apresenta os resultados para os testes de tempo de *scorch* (TS2) e tempo ótimo (T90).

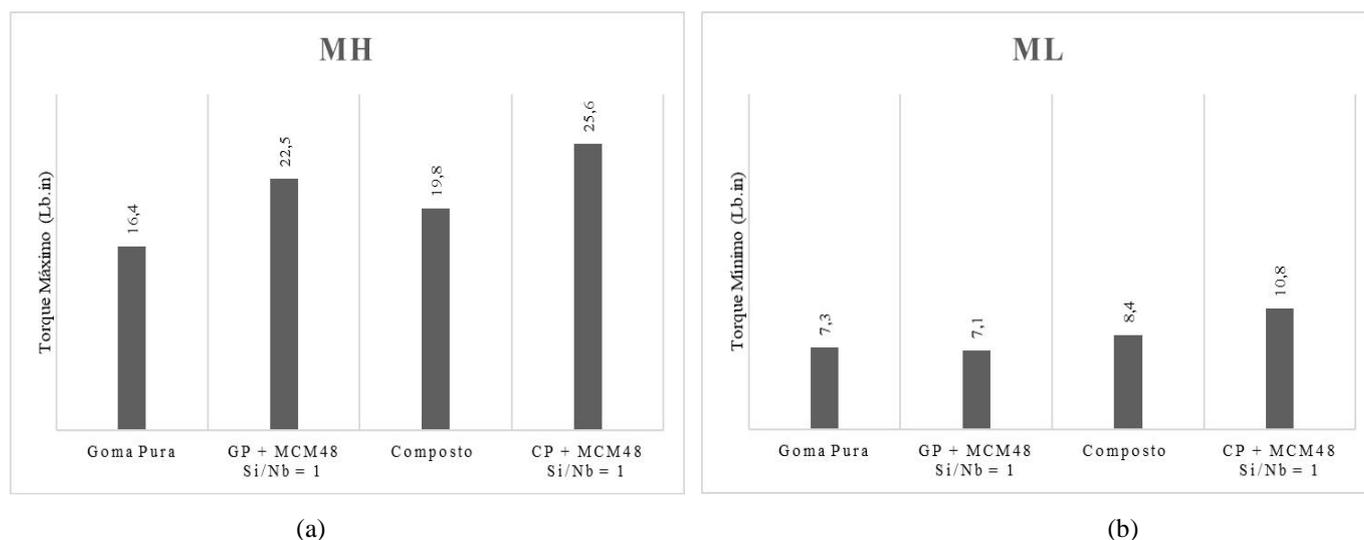
Figura 3. Testes de tempo em minutos (a) *scorch* (TS2) e (b) tempo ótimo (T90).



Fonte: Autores.

A Figura 3 (a) mostra que a adição de Nb-MCM-48 Si/Nb=1 acelerou o início da vulcanização, diminuindo o *scorch*, e o T90 (Figura 3b). Ao observar a Figura 4 (a) torque mínimo (ML) e (b) torque máximo (MH) é possível verificar que em ambos os casos de utilização dos materiais sintetizados, ocorreu alterações nas propriedades de cura. Na Figura 4 são apresentados os resultados obtidos referentes ao torque máximo e torque mínimo.

Figura 4. Testes de (a) torque máximo (MH) e (b) torque mínimo (ML).



Fonte: Autores.

Ao analisar-se as propriedades reológicas representadas (Figuras 3 e 4) os aumentos na goma pura com adição de MCM-48 relação Si/Nb = 1 e composto puro na presença da MCM-48 relação Si/Nb = 1 apresentam resultados positivos, elevando os índices dos materiais quando sem MCM-48 Si/Nb = 1.

4. Considerações Finais

Este trabalho demonstrou a potencialidade de utilização de um material mesoporoso contendo nióbio na modificação de propriedades reológicas de elastômeros. A obtenção do material mesoporoso do tipo Nb-MCM-48 utilizando silício proveniente das cinzas das cascas de arroz foi realizada com sucesso. A introdução do metal nióbio in situ em diferentes relações molares Si/Nb na síntese dos materiais mesoporosos do tipo MCM-48 foi comprovada através das análises de DRX. Os parâmetros reológicos avaliados demonstraram que o material Nb-MCM-48 modificou as propriedades térmicas e mecânicas como viscosidade e fluidez, diminuiu o tempo de vulcanização e também aumentando os índices de torque mínimo e máximo.

Como sequencia deste trabalho os autores sugerem as análises mecânicas de tração/deformação dos elastômeros contendo o material mesoporosos Nb-MCM-48. Também análises térmicas de DSC e TGA seriam interessantes. Por fim a utilização destes materiais mesoporosos em outros materiais afim de aumentar a gama de aplicação dos mesmos.

Agradecimentos

À Capes, CNPq, FAPERGS, URI – Erechim e Marina Tecnologia.

Referências

- Alves, A. C. A. et al. (2018). Extração de Sílica Residual Proveniente da Casca de Arroz e Aplicação na Produção de Argamassa. *Revista eletrônica de Materiais e Processos*, 13(2), 127–36
- Bertolo, C. E. K., Tambara, R. F., Scarrone, L. D., Vieira, R. M. & Langwinski, A. S. (2021). Influência da dimensão da amostra na compactação de um solo da cidade de alegre. 13(3). In: *Anais do 13º Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão da UNIPAMPA: Pesquisa e Inovação*.
- Borba, K. M. N. (2019). *Preparação de materiais semicondutores empregando MCM-41 e MOF*. 155 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciência dos Materiais., Ufrgs
- Bruziquesi, C., Balena, J., Pereira, M., Silva, A., & Oliveira, L. (2019). Nióbio: um elemento químico estratégico para o brasil. *Química nova*. <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170442>

- Bertolo, C. E. K, Tambara, R. F, Scarrone, L. D, Viegas, R. M, Langwinski, A. S, & Budny, J. (2021). Uso da cinza da casca de arroz para estabilização de solos arenosos. *Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão*, 13 (3). <https://periodicos.unipampa.edu.br/index.php/SIEPE/article/view/111079>
- Caetano, Mário J.L (2022). *Ciência e Tecnologia da Borracha*. ([SD]). Ciência e Tecnologia da Borracha. <https://www.ctborracha.com/>
- Cardoso, M. do R. (2021). *Análise da influência de adição de nióbio nas propriedades de matrizes cimentícias*. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- Daronch, N. A., Hillesheim, E. L., Menon, E. A., Silva, B. A. d., Aguiar, V. P. d., Lago, R. M. D., & Mignoni, M. L. (2021). Síntese e aplicação dos materiais mesoporosos do tipo MCM-41 e MCM-48 contendo metais (Ti ou Zn) em adsorção/fotocatálise do corante azul de metileno/ Synthesis and application mesoporous materials of MCM-41 and MCM-48 type containing metals (Ti or Zn) in adsorption/photocatalysis of methylene blue dye. *Brazilian Journal of Development*, 7(4), 37576–37590. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n4-294>
- Finkler, D. E. (2017). *Estudo das propriedades de composto elastomérico fluorado contendo mesoporoso como carga*. <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/193899?show=full>
- Kieling, A. G., Brehm, F. A., Kulakowski, M. P., & Moraes, C. A. M. (2020). Influência do Processo de Combustão nas Características das Cinzas de Cascas de Arroz. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 3(3), 2106–2116. <https://doi.org/10.34188/bjaerv3n3-122>
- Livage, J. (2016). *Inorganic Materials, Sol–Gel Synthesis of. Reference Module in Materials Science and Materials Engineering*. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-803581-8.03734-6>
- Lopes, E., Medina, A., Ribeiro, A., Brandalise, J., & Nunes, A. (2017). Caracterização elementar da casca de arroz e suas cinzas por métodos após decomposição ácida com sistema de refluxo. *Química Nova*. <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170119>
- Macedo, J. F. de. (2020). *Estudo eletroquímico dos efeitos de líquidos iônicos apróticos e próticos em eletrodos modificados*. <https://ri.ufs.br/jspui/handle/riufs/14894>
- Mignoni, M. L. (2012). *Zeólitas obtidas com líquidos iônicos como direcionadores de estrutura: síntese e reatividade*. <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/55505>
- Mori, V., Santos, R. L. C. dos, & Sobral, L. G. S. (2007). *Metallurgia do silício: processos de obtenção e impactos ambientais*. CETEM.
- Nascimento, G. C., Domingui, L., Mello, J. M. M., Dal Magro, J., Riella, H. G., & Fiori, M. A. (2015). Caracterização físico-química da cinza de casca de arroz oriunda do processo termelétrico do sul de Santa Catarina - Brasil. *Ciência e Natura*, 37(3). <https://doi.org/10.5902/2179460x15262>
- Pedott, V De Aguiar., Bordin, I., Elisa Demaman Oro, C., Jorge Macieski, R., Ivan Petkowicz, D., Exenberger Finkler, D., Marcos Dallago, R., Henrique Zimnoch dos Santos, J., & Mignoni, M. (2021). Síntese de material Nb/MCM-48 utilizando cinza de casca de arroz como fonte de sílica com diferentes razões molares SI/NB. *Revista Perspectiva*, 45 (171), 85–95. <https://doi.org/10.31512/persp.v.45.n.171.2021.159.p.85-95>
- Polesso, B. B. (2018). *Imobilização física de líquidos iônicos em suportes porosos para separação de CO₂ do gás natural*. <http://tede2.pucrs.br/tede2/handle/tede/8364>
- Resende, N. das G. de A. da M., Monte, M. B. de M., & Paiva, P. R. P. de. (2008). *Zeólitas naturais*. <http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/1143>
- Romero, R. P. P., Panta, P. C., De Araújo, A. O., & Bergmann, C. P. ([s.d.]). *Estudo da morfologia do pentóxido de nióbio*. https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/48/076/48076745.pdf
- Santos, R. F. D. *Safra de arroz 2020: Perspectivas Gerais de safra e preços*.
- Silva, A. J. da. (2019). *Uso da casca de arroz (oryza sativa L.) In natura e modificada como adsorventes para remoção do azul de metileno*. <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/xmlui/handle/riufcg/10401>
- Silva, Igor Paulinelly Araújo. (2019). *Influência da concentração de nióbio em aços para aplicação como ligante em metal duro*.
- Silva, J. O. da, Barros, S. V. A., Dantas, G. C. B., & Pimentel, P. M. (2020). Caracterização da cinza da casca de arroz visando aplicação na confecção de materiais alternativos para construção civil. *Revista de Ciências Ambientais*, 14(1), 17. <https://doi.org/10.18316/rca.v14i1.5296>
- Sousa, R. M. F. DE; Fernandes, L. E.; Guerra, W. (2013). Nióbio. *Química Nova na Escola*.
- Souza, M. O. de, & Finkler, D. E. (2011). *Zeólita e materiais mesoporosos organizados como carga para a formulação de compostos de borracha, borracha termoplástica, plástico e fabricação de produtos*. <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/165986?show=full>
- Souza, S. G. de, Herbst, G., Silveira, M. L. L., Kurek, A. P., & Sellin, N. (2018). Avaliação de diferentes formulações de compostos elastoméricos SBR/NR visando minimizar a pré-vulcanização. *Matéria (Rio de Janeiro)*, 23(4). <https://doi.org/10.1590/s1517-707620180004.0592>
- WOLF, Fernanda. (2022). *No Laboratório com a Autotravi - Parte 1. Reometria - O que é?* <https://www.autotravi.com/noticia/38->