

DESENVOLVIMENTO DE GEOPOLÍMEROS PRODUZIDOS A PARTIR DE CINZAS DE CALDEIRA: APLICAÇÃO NA REMOÇÃO DE CONTAMINANTES PRESENTES EM ÁGUAS

GABRIELA CRISTINA PERUSIN FLORES^{1*}, PAULO PEREIRA¹, GEAN DELISE LEAL PASQUALI^{2,4}, CLARISSA FERREIRA PIN³, ADRIANA DERVANOSKI⁴

1 Introdução

O geopolímero é um material inorgânico que se origina da ativação alcalina de elementos que contém altos índices de sílica e alumina (SILVA; RACANELLI; SOUZA; QUARESMA; CORRÊA, 2023). Dentre os diversos materiais que apresentam esta característica, podem se citar algumas cinzas resultantes dos processos de queima de materiais em caldeiras. Uma delas é a cinza de bagaço de cana de açúcar sua aplicação tem sido estudada em diversos campos da engenharia, procurando substituir materiais naturais como a cal (LIMA; JACINTHO; FORTI; PIMENTEL, 2022). Com intuito de diminuir custos, alternativas econômicas mais acessíveis são procuradas pelos pesquisadores, tornando comum o uso de materiais como bagaço de cana de açúcar (CBCA), cinzas volantes, casca de arroz entre outros para a criação de novos adsorventes (MARTINS, 2022).

A cinza de bagaço de cana de açúcar (CBCA), por ser produzida em grande escala torna-se causadora de impactos ambientais, tem se destacado em estudos em diversas áreas como substituto de materiais naturais (LIMA; JACINTHO; FORTI; PIMENTEL, 2022). Os geopolímeros são vistos como materiais do futuro devido ao grande desempenho relacionado ao gasto de matérias-primas e pequeno impacto ambiental (ELICHE-QUESADA et al., 2020). Os materiais essenciais usados como adsorventes incluem materiais orgânicos e inorgânicos, sendo que as técnicas mais pesquisadas são utilizando as zeólitas, carvão ativado (MOREIRA, 2010) e mais recentemente os geopolímeros. A adsorção é uma das técnicas mais populares para se tratar efluentes, sendo aplicado especialmente na área industrial com intuito de

¹ Bolsista de Iniciação Científica*, discente do curso Engenharia Ambiental e Sanitária¹, UFFS, *campus Erechim*,

² Doutora em Engenharia Química, docente mestrado do PPGCTA - **Orientadora**.

³ Discente do Programa de mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental - PPGCTA

⁴ Docente do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, UFFS, *campus Erechim*

diminuir a toxicidade. Esse método emprega transferência de massa em que se utiliza sólidos com potencial de agrupar em sua superfície substâncias gasosas ou líquidas, habilitando a possibilidade que aconteça a separação de fases de um fluido (MAXWELL, 2021).

2 Objetivos

O presente projeto propõe buscar alternativas de uso da cinza de caldeira no desenvolvimento de geopolímero, que foi utilizado em processos de adsorção de contaminantes presentes em águas residuárias industriais.

3 Metodologia

Para o preparo do geopolímero foi utilizada a seguinte proporção para a mistura, 80% de cinza de bagaço de cana-de-açúcar (CBCA) para 20% de caulim, com adição de 0,05% de silicato de sódio como ligante (ativador alcalino). Após a formação da pasta a mesma foi seca em estufa por 24 horas a 100 °C, seguido então do tratamento térmico, onde foi levada ao forno mufla por cerca de 1 h a temperatura de 800 °C. Por fim, o material produzido foi peneirado utilizando-se uma peneira de 200 mesh. Para a realização dos ensaios foi utilizada a fração que passou pela peneira. A Tabela 1 apresenta as propriedades físicas da cinza do bagaço de cana-de-açúcar (CBCA).

O caulim tem alto grau de polimerização, possuindo uma estrutura cristalina com camadas de aluminossilicatos que se mantêm unidos por ligações de hidrogênio (PIN, 2023). A Tabela 2 apresenta a composição química do caulim e da cinza de bagaço cana-de-açúcar.

Tabela 2 - Propriedades químicas da CBCA e do caulim

Amostra	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	MnO (%)	MgO (%)	CaO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	TiO ₂ (%)	P ₂ O ₅ (%)	PF (%)
CBCA	60,60	5,76	13,87	0,45	1,97	1,40	0,22	2,90	4,14	1,26	-
Caulim	46,50	38,00	1,00	-	0,08	0,05	0,10	1,30	0,05	-	13,00

Fonte: (BRUSCHI et al., 2021 e PIN, 2023)

Sua caracterização química indicou teores de SiO₂ (60,60%), Al₂O₃ (5,76%) e Fe₂O₃ (13,87%) além de outros óxidos, como MnO, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, TiO₂ e P₂O₅. A

caracterização do geopolímero produzido foi realizada pelo Laboratório de Caracterização Tecnológica da USP (LCT – USP), onde foram feitas as análises de área específica do geopolímero através da isoterma de N₂ a 77 K em um Analisador de Superfície (QuantaChrome, Nova 1200e). Aplicando a equação proposta por BET (Brunauer et al., 1938) na isoterma de sorção obtida, a área (SBET) foi calculada. O volume total de poros (VTP) foi calculado por um método matemático desenvolvido por BJH (Barrett et al., 1951).

4 Resultados e Discussão

4.1 Caracterização Geopolímero

A Tabela 4 apresenta a caracterização física do geopolímero produzido a partir da cinza de bagaço de cana-de-açúcar e caulim. Onde foi possível verificar que no material desenvolvido tem-se um tamanho de partícula equivalente a 0,666 μm , e área superficial de 9,01 $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$ que pode ser considerada pequena se comparado a outros materiais adsorventes convencionais, como carvões ativados e zeólitas.

Tabela 4 - Caracterização física do geopolímero produzido a partir da CBCA e caulim

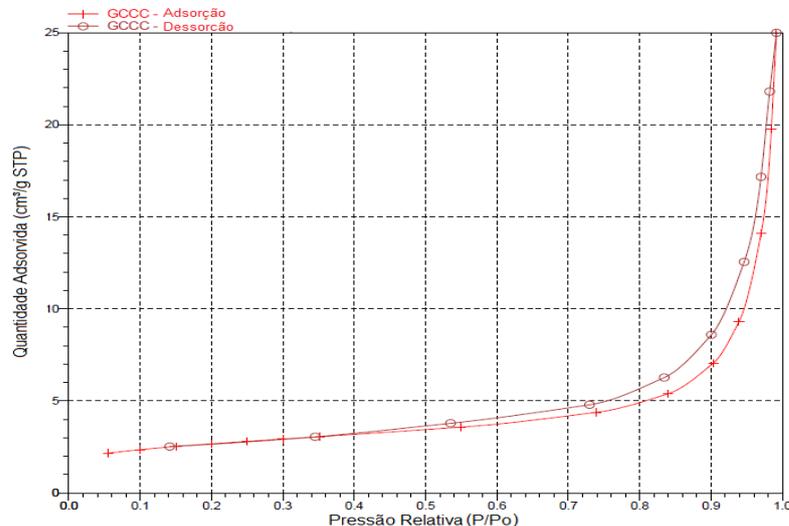
Dado	Valor
Superfície específica BET	9,01 $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$
Volume médio dos poros	0,038 $\text{cm}^3 \text{g}^{-1}$
Tamanho médio do Poro	17,16 nm
Tamanho de partícula	6660.740 Å

Fonte: O autor, 2023.

A área superficial encontrada através do método de BET neste trabalho foi de 9,01 $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$. Vários trabalhos têm relatado o desenvolvimento de materiais geopoliméricos utilizando outras substâncias como metacaulinita, caulinita e espudênio, onde obteve-se área superficial entre 4 e 12 $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$ (SIMÕES, 2021). Barbosa (2017) desenvolveu um geopolímero utilizando cinzas de casca de arroz e metacaulim, seus resultados quanto ao tipo de porosidade obtido são similares ao deste trabalho, onde o material apresentou-se como mesoporoso.

A Figura 2 apresenta a isoterma de adsorção/dessorção de N₂ que pode ser classificada como tipo III segundo Brunauer et al. (1938).

Figura 2 - Isoterma de adsorção/dessorção de N₂ no geopolímero pelo método BET.



Fonte: O autor, 2023.

Através da Figura 2 é possível observar o efeito de histerese entre as curvas. Este tipo de isoterma é característico de sólidos não porosos, que apresentam baixa área superficial e baixo volume específico de poros. Esta histerese indica a presença de mesoporos, corroborando com os dados da Tabela 4. Thommes et al. (2015), isotermas com essas características apresentadas não contém formação de monocamada reconhecida, as interações entre adsorvente e adsorbato são fracas e as moléculas adsorvidas estão aglomeradas ao redor dos locais que apresentam melhores condições na superfície do sólido não poroso.

5 Conclusão

O geopolímero desenvolvido apresentou características de mesoporosidade, sendo, portanto, passível de utilização. Sua área superficial foi relativamente pequena se comparada com outros materiais adsorventes como carvão ativado e zeólitas. O geopolímero produzido a partir da mistura das cinzas de bagaço de cana-de-açúcar (CBCA) e caulim foi eficaz na remoção de cor em efluente têxtil, demonstrando assim potencial de aplicação. Outro fator que deve ser destacado é a possibilidade de agregar valor a materiais considerados resíduos da indústria de produção de álcool, reduzindo assim o descarte de um passivo ambiental que seria as cinzas de bagaço de cana-de-açúcar.

Referências Bibliográficas

ELICHE-QUESADA, D. et al. Dust filter of secondary aluminium industry as raw material of

geopolymer foams. v. 32, ju., 2020.

BRUSCHI, G. J.; SANTOS, C. P. dos; ARAÚJO, M. T. de; FERRAZZO, S. T.; MARQUE

LIMA, R. P. de; JACINTHO, A. E. P. G. de A.; FORTI, N. C. da S.; PIMENTEL, L. L.
Estabilização de solo laterítico utilizando cinza do bagaço da cana de açúcar e cal hidratada.
Matéria (Rio de Janeiro), v. 27, n. 1, p. 1-12, 2022.

MARTINS, Larissa Fernandes Barros. **AValiação do potencial de uso de materiais geopoliméricos para a adsorção no tratamento de efluentes**. 54 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Materiais, UFSP, 2022.

MAXWELL. Adsorção. Disponível em:

<https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/14605/14605_5.PDF> Acesso em: 12 setembro de 2021.

MOREIRA, Danna Rodrigues. **Desenvolvimento de Adsorventes Naturais para Tratamento de Efluentes de Galvanoplastia. Porto Alegre**. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 2010.

SILVA, M. C. *et al.* Estudo do desempenho mecânico de geopolímero produzido com auto teor de ferro. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 28, n. 1, p. 1-10, 11, 2023.

SIMÕES, A. L. A. **SÍNTESE DE GEOPOLÍMEROS A PARTIR DA CAULINITA, METACAULINITA E ESPODUMÊNIO E SUA APLICAÇÃO COMO ADSORVENTE DE AMOXICILINA**. 2021. 94 f. Dissertação - Curso de Mestre em Química, UFMG, 2021.

THOMMES, Matthias; KANEKO, Katsumi; NEIMARK, Alexander V.; OLIVIER, James P.; RODRIGUEZ-REINOSO, Francisco; ROUQUEROL, Jean; SING, Kenneth S.W.
Physisorption of gases, with special reference to the evaluation of surface area and pore size distribution. **Iupac & de Gruyter**, p. 1-19, 2015.

Palavras-chave: geopolímero, cinza de bagaço de cana de açúcar, caulim.

Nº de Registro no sistema Prisma: PES-2022-0259

Financiamento: CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico