

REJEITO DE MINERAÇÃO COMO PRECURSOR DE ADSORVENTE PARA TRATAMENTO DE LIXIVIADO DE ATERRA SANITÁRIO

MAICON OLIVEIRA LUIZ¹; GUILHERME PEREIRA SCHOELER²; LUIS VINICIO DILELIO RODRIGUES JUNIOR³; PAULO RENATO DA SILVA WESTPHAL⁴; FERNANDO MACHADO MACHADO⁵; RUBIA FLORES ROMANI⁶

¹Universidade Federal de Pelotas – maicon.oliveiraaluiz@gmail.com

²Companhia Riograndense de Valorização de Resíduos – gschoeler@crvr.com.br

³Universidade Federal de Pelotas – junior1234dilelio@gmail.com

⁴Universidade Federal de Pelotas – paulwesthal@gmail.com

⁵Universidade Federal de Pelotas – fernando.machado@ufpel.edu.br

⁶Universidade Federal de Pelotas – fgrubia@yahoo.com.br

1. DESCRIÇÃO DA INOVAÇÃO

O mundo caminha para a eliminação do uso do carvão para fins energéticos; no entanto, os passivos causados e as indicações legais da continuidade da queima de carvão no Brasil, ratificam a importância de estudos voltados a aplicações para resíduos de mineração de carvão (ACORDI et al., 2023). O reuso de Rejeitos da Mineração (RM) pode contribuir para a produção de materiais de baixo custo e reduzir a demanda por recursos naturais. Nesse contexto, a utilização de RM para a produção de adsorventes tem sido vislumbrada por diversos estudos recentes (MILANI et al., 2025)

A aplicação de adsorventes no tratamento de Lixiviado de Aterro Sanitário (LAS) é uma alternativa eficiente para a remoção DQO (LAISHRAM et al., 2022), que vem sendo aplicada em larga escala em LAS no Brasil, devido à sua disponibilidade, viabilidade econômica, capacidade regenerativa, respeito ao meio ambiente e origem. A viabilidade econômica da síntese de adsorvente é definida como o custo por unidade de massa das matérias-primas usadas no processo (SARAFRANZ et al., 2019), e em alguns casos, o custo do material precursor pode não ser incluído, especialmente para materiais que são resíduos industriais.

Diante do exposto, esta inovação tem como objetivo a síntese de materiais adsorventes a partir de RM, empregando rotas de produção ambientalmente responsáveis, com aplicabilidade no tratamento LAS, especificamente voltada à remoção de DQO. Busca-se, assim, não apenas comprovar a viabilidade técnica e econômica da solução, mas também consolidar um caminho que dialogue com os princípios da sustentabilidade e com a transição a processos de economia circular e de baixo impacto ambiental.

2. ANÁLISE DE MERCADO

A iniciativa é desenvolvida em conjunto com a CRVR – Riograndense Valorização de Resíduos S.A., responsável pela disposição final dos RSU de mais de 8,5 milhões de habitantes no Rio Grande do Sul. A empresa recebe aproximadamente 4.000 toneladas de resíduos por dia, e trata cerca de 1.080 m³/dia de lixiviado. A empresa que disponibilizou os RMs é localizada na cidade de Butiá/RS (vizinha à unidade da CRVR), o que favorece uma logística de implementação do produto.

O sistema de tratamento do LAS combina lagoas de equalização, um processo biológico composto por lagoa anóxica e duas lagoas aeróbias, flotação físico-química com adição de cloreto férrico e polímero não iônico, além de uma

etapa terciária com membranas de nanofiltração. Atualmente, o OPEX do tratamento terciário do LAS equivale a 23% do total investido na ETL, o que instiga a busca pelo desenvolvimento de um produto que utiliza matérias-primas alternativas e integra sistemas de reciclagem e valorização de resíduos, podendo reduzir significativamente os custos operacionais das ETL, contribuindo para a viabilidade econômica e ambiental.

3. ESTRATÉGIA DE DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO

O TRL desta pesquisa está na transição entre os níveis 4 e 5, pois analisa o desempenho dos produtos desenvolvidos, no tratamento do lixiviado da empresa parceira, a nível de laboratório. A amostra de lixiviado foi coletada na saída da lagoa aerada e acondicionada sob refrigeração para realização das análises. As análises foram realizadas no Laboratório de Pesquisa em Materiais e o parâmetro analisado é a DQO, conforme os procedimentos descritos em Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater (APHA, AWWA and WEF, 2005).

Os produtos foram desenvolvidos a partir do Rejeito Fino (RF) do RM de carvão. Foram empregadas as etapas de fragmentação mecânica, peneiramento em mesh 200 e tratamento térmico, a temperaturas de 100, 300 e 700°C (RF100, RF300 e RF700). Caracterizou-se os produtos por Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) realizada em equipamento Prestige-21, Shimadzu, numa faixa de 400 a 4000 cm⁻¹, a morfologia dos sólidos foi determinada mediante análise em Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), em modo alto e baixo vácuo, Jeol, JMS – 6610LV e complementadas com Espetroscopia de Energia Dispersiva (EDS), através de microssonda acoplada.

Os ensaios que determinaram a capacidade adsorptiva dos três produtos foram realizados em escala de bancada, em Jartest (NOVA ÉTICA modelo 218/LDBE), com velocidade de agitação constante, de 180 rpm, e sem alteração de pH. Foram avaliadas as relações 3:1, referentes a dosagem sólido:DQO. As alíquotas eram retiradas em períodos pré-estabelecidos. Todas as amostras eram previamente filtradas a vácuo em papel filtro quantitativo (QUANTY JP41 Faixa Preta), para posterior aplicação da metodologia de análise da DQO. A cinética de adsorção foi definida conforme a capacidade de remoção de DQO em relação a temperatura de calcinação dos sólidos.

4. RESULTADOS ESPERADOS E IMPACTO

As principais mudanças na característica da estrutura dos produtos ocorreram a 700 °C, onde observa-se (Figura 1A) a presença apenas das bandas em 782 e 1037 cm⁻¹. A incidência destes picos é característica de três átomos de hidrogênio aromáticos, em 782 cm⁻¹(PONOMOVERA et al., 2022), e a concentração de dióxido de silício gerada na calcinação, em 1037 cm⁻¹(HILLING et al., 2020). A presença destes grupos funcionais está em consonância com o aumento da presença de Si em RF700 (Figura 1B).

Os picos em 912 cm⁻¹ indicam a presença de hidroxilos de ácidos carboxílicos, típicas de carvão betuminoso. A banda em 1621 cm⁻¹ está associada a ligações C=C em anéis aromáticos, enquanto a faixa 3100–3720 cm⁻¹ revela vibrações de grupos O–H (PONOMOVERA et al., 2022). As bandas em ~3613, 3654 e 3688 cm⁻¹ indicam a presença ordenada de caulinita, cuja estrutura se desordena com o aumento da temperatura devido à desidratação. Essa presença

está de acordo com os carvões do Rio Grande do Sul, influenciados pelo intemperismo de rochas com silicatos de alumínio (HILLIG et al., 2020).

Observa-se (Figura 1B), agregados com tamanho de partícula inferiores a 1 mm para os três sólidos. Os resultados de EDS indicam composição semelhante, com maior presença de oxigênio, carbono e silício para as três amostras. A ausência das bandas 912 e 1621 cm⁻¹ em RF700 na análise FTIR, está de acordo com a diminuição no teor de carbono apresentado para a mesma amostra na Figura 1B.

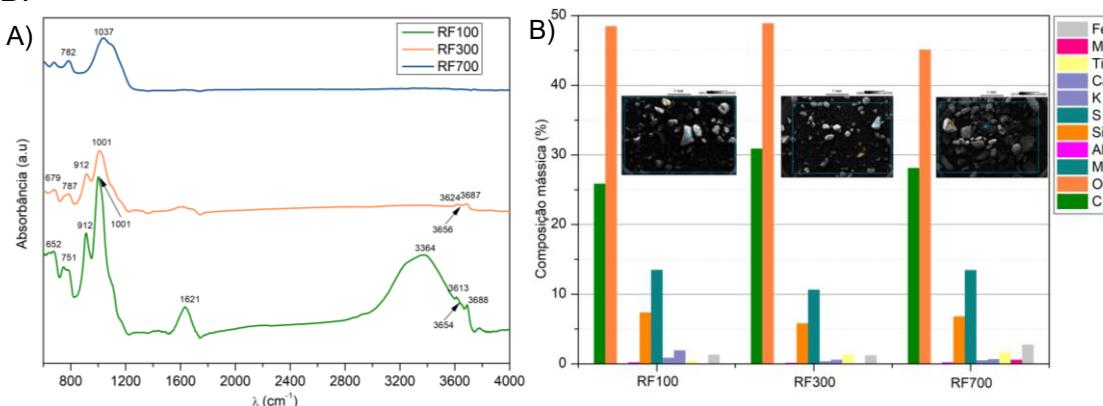


Figura 1: Caracterização da composição química por A) FTIR; B) MEV/EDS.

A característica do rejeito da mineração do carvão, principalmente do RG rico em ferro e pirita (FILHO, 2014) pode ter favorecido a formação de um adsorvente a base de ferro. Pode-se observar a presença de Fe nas três amostras, com aumento de percentual (~1,32 para 2,75%) em RF700, quando observada também a diminuição dos compostos de carbono.

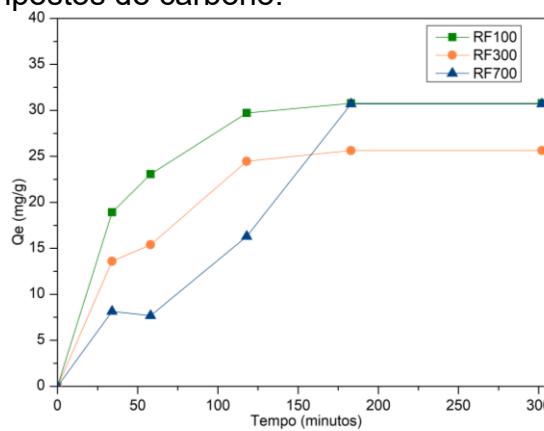


Figura 2: Capacidade de adsorção com relação a remoção de DQO sobre os diferentes sólidos.

A Figura 2 apresenta os resultados preliminares da tratabilidade do lixiviado pelos produtos desenvolvidos. Observa-se que todos os produtos apresentam capacidade de remoção (Qe) de DQO, atingindo o equilíbrio em 120 minutos (RF100 e RF300) e 180 minutos (RF700). Os produtos RF100 e RF700 apresentam Qe_{máx} semelhantes (~30,7 mg/g), o que demonstra maior capacidade de adsorção de DQO quando comparados ao RF300 que apresentou Qe_{máx} de 25,6 mg/g.

5. CONCLUSÕES

A cooperação estabelecida impulsiona a inovação e está em sintonia com as políticas públicas voltadas à transição para uma economia de baixo carbono. A valorização dos rejeitos para a criação de produtos sustentáveis representa uma alternativa economicamente competitiva, sobretudo em aplicações de larga escala, com potencial para substituir tecnologias onerosas no tratamento de LAS.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACORDI, J.; SIMÃO, L.; FARACO, M. N. S.; BORGERT, C. H.; OLIVO, E.; MONTEDO, O. R. K.; RAUPP-PEREIRA, F. Waste valorization of coal mining waste from a circular economy perspective: A Brazilian case study based on environmental and physicochemical features. **Resources Policy**, v. 80, p. 103243, 2023.

APHA; AWWA; WF. American Public Health Association, American Water Works Association & Water Environment Federation. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21 ed. **American Public Health Association**, 2005.

HILLIG, D. M.; POHLMANN, J. G.; MANERA, C.; PERONDI, D.; PEREIRA, F. M.; ALTAFINI, C. R.; GODINHO, M. Evaluation of the structural changes of a char produced by slow pyrolysis of biomass and of a high-ash coal during its combustion and their role in the reactivity and flue gas emissions. **Energy**, v. 202, 117793, 2020.

LAISHRAM, V.; KUMAR, P.A. Treatment of landfill leachate by $H_3P_0_4$ impregnated *Parkia speciosa* (Petai) pods activated carbon: characterization, kinetics, thermodynamics and isotherms studies. **Carbon Lett.**, v. 33, p. 245–260, 2023.

MILANI, L. A. P.; FERNANDES, L.; RIBEIRO, E. A.; BATTISTI, R.; BRISTOT, V. M.; DE NONI JR, A.; HOTZA, D.; DAL BÓ, M.. Synthesis and characterization of a clay-coal waste-based adsorbent for contaminant removal from acid mine drainage. **Minerals Engineering**, v. 233, p. 109616, 2025.

PONOMOVERA, A. A.; KOROSTYLEVA, E. E.; SITNIKOVA, E. E.; TCOI, K. A.; LESNYKH, A. V. Changes ia a Chemical Structure of Brown na Betuminous Coals during Low-Temperature Processing under Various Atmospheric Conditions. **Solid Fuel Chemistry**, v. 56, n. 5, p. 315-322, 2022.

SARAFRAZ, H.; ALAHYARIZADEH, G.; MINUCHEHR, A.; MODABERI, H.; NASERBEGI, A. Economic and efficient phosphonic functional groups mesoporous silica for uranium selective adsorption from aqueous solutions. **Scientific Reports**, v. 9, n. 1, p. 1-10, 2019.