



Tema II – Subtema 08 – Código: 563 - REUTILIZAÇÃO DA PERLITA COMO ADSORVENTE ALTERNATIVO NA REMOÇÃO DE ÓLEO DO EFLUENTE DE LAVAGEM DE VEÍCULOS

Érika Lorena de Oliveira Carvalho Ribeiro ⁽¹⁾

Engenheira Química pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Estadual do Rio de Janeiro (UERJ); Doutoranda em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB).

Daniele Maia Bila ⁽²⁾

Engenheira Química pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ); Mestre em Engenharia Química e Doutora em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRRJ); Pos-Doutora em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRRJ). Professor Adjunta do Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente da UERJ (DESMA/UERJ).

Elisangela Maria Rodrigues Rocha ⁽³⁾

Engenheira Sanitarista pela Universidade Federal do Pará (UFPA); Mestre em Eng. Civil/Geotecnia Ambiental pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE); Doutora em Eng. Civil/Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Ceará (UFC); Professora do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, da Universidade Federal da Paraíba (Campus I).

Fabiola Dias da Silva Curbelo ⁽⁴⁾

Engenheira Química pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN); Mestre e Doutora em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN); Professora do Departamento de Engenharia Química, da Universidade Federal da Paraíba.

Endereço ⁽¹⁾: Campus I Lot. Cidade Universitária, PB, 58051-900 - Brasil - Tel: 32167355 - e-mail: erika.lorena@academico.ufpb.br

RESUMO

A atividade de lavagem de veículos é geradora de grandes volumes de efluente contendo em sua maioria óleos e graxas, MBAS e sólidos. Buscando otimizar o tratamento desse efluente, a adsorção surge como promissora alternativa por meio da utilização de adsorventes como a perlita, um aluminossilicato muito poroso, de baixo custo e fácil de obter, térmica e quimicamente inerte, com mineração e transporte realizados de forma sustentável. Esse mineral torna-se resíduo após ser removida de tanques criogênicos.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi reutilizar a perlita como adsorvente no processo de adsorção como uma alternativa para o tratamento de efluentes de lavagem de veículos. A metodologia do trabalho consistiu na caracterização do adsorvente; na elaboração do efluente sintético e na realização de banho finito de acordo com a Norma ASTM D 3860/98. Para analisar as concentrações do óleo no efluente sintético, foi utilizado o espectrofotômetro. Com base na equação do modelo de Freundlich, foi estimada a quantidade de perlita a ser utilizada para atender aos requisitos do processo de tratamento de água de lavagem de 80 veículos por dia, sendo um quantitativo de 319 kg perlita por dia.

PALAVRAS-CHAVE: Adsorção, aluminossilicato, reciclagem.

INTRODUÇÃO

A lavagem de veículos gera grandes volumes de efluente contendo óleos e graxas (OG) e tensoativos, que na superfície dos corpos hídricos impedem a passagem de radiação solar, causando prejuízos ao ecossistema



SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO
DE ENGENHARIA SANITÁRIA
E AMBIENTAL

(Gryta e Woźniak, 2024). De acordo com a Resolução CONAMA Nº 430 de 13/05/2011, o teor de óleos e graxas minerais para lançamento em corpos hídricos é de 20 mg.L⁻¹ (Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2011). Assim, para reduzir o lançamento desses contaminantes em corpos hídricos, alguns municípios tem leis que regulamentam o reuso do efluente de lavagem de veículos como a Lei Municipal nº 12.417, de 22 de agosto de 2012 (João Pessoa, 2012).

Buscando otimizar o sistema de tratamento de efluentes de lavagem de veículos, e minimizar o impacto ambiental, uma alternativa é a aplicação do processo de adsorção, que é um fenômeno de superfície, onde os contaminantes (adsorbatos) presentes em um fluido (adsortivo) são retidos pela superfície de um sólido (adsorvente) até o equilíbrio (Nascimento et al., 2014; Dotto; McKay, 2021).

Neste sentido, tem-se que compostos que possuem silicato de alumínio são considerados bons adsorventes. Assim, neste trabalho, foi utilizada como adsorvente a perlita, um aluminossilicato de baixo custo, poroso, termicamente e quimicamente inerte. As propriedades físicas desse aluminossilicato como adsorvente se devem, em grande parte, a sua constituição, com 2 a 5% de água. Essa água evapora, com aquecimento de 800-1200°C, formando bolhas de ar e gerando expansão das partículas que atingem até 20 vezes o volume original, conforme a Figura 1. Os átomos de silício, presentes na estrutura da perlita, tendem a manter a coordenação tetraédrica com o oxigênio, completando sua coordenação por ligação a grupos hidroxila monovalentes, formando grupos silanol, Si-OH, responsáveis por seu caráter adsorptivo (Zhou et al., 2013; Inan et al., 2022).



Figura 1: Processo de beneficiamento da perlita.

Fonte: PERLITE INSTITUTE, 2024.

A perlita torna-se um resíduo nos processos industriais, após sua utilização nos processos de isolamento térmico, em tanques criogênicos, conforme Figura 2 (Babas et al., 2021).

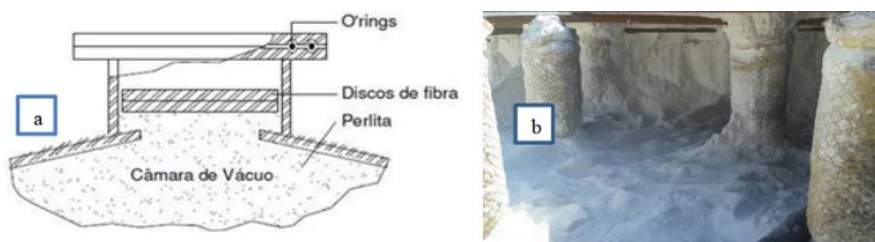


Figura 2: Perlita contida na câmara do tanque criogênico: (a) esquema representativo (b) imagem fotográfica

Fonte: a) Dalpiaz, 2010 e b) PERLINDUSTRIA, 2002.

Desta forma, este trabalho torna-se relevante pois alia a reciclagem de um resíduo, a perlita, e a minimização do uso de aterros às tecnologias de tratamento de efluentes inovadoras e que visam preservar os corpos hídricos.

OBJETIVO(S):

OBJETIVO GERAL:

Avaliar a aplicação de perlita expandida no tratamento de efluente gerado em área de lavagem de veículos com foco na redução de óleo.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

Caracterizar o adsorvente por meio da expansão; análise termogravimétrica; pH de zero carga (pH_{ZPC}); Construir isotermas de adsorção utilizando os modelos de Langmuir e modelo de Freundlich adequando aos dados experimentais; Estimar a quantidade de perlita a ser utilizada para atender ao requerimento do processo de tratamento de água de lavagem de veículos; Disponibilizar informações para a otimização do tratamento convencional de efluente de lavagem de veículos com posterior reuso.

METODOLOGIA UTILIZADA:

Inicialmente, foram realizadas pesquisas bibliográficas para elaboração da fundamentação teórica nas bases Science Direct, Scopus e Web of Science com as palavras chaves: “carwash”, “expanded perlite” e “adsorption”. Em seguida, foi realizado o procedimento experimental conforme a Figura 3.

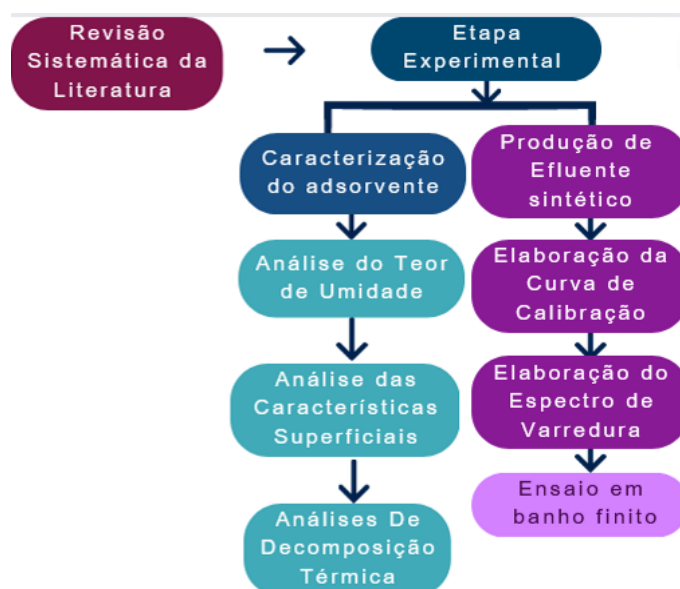


Figura 3: Fluxograma referente a metodologia utilizada no artigo.

Para a caracterização da perlita, foram avaliados o teor de umidade da perlita; as características superficiais por meio do método BET e a estabilidade térmica por meio da Termogravimetria, as técnicas são descritas a seguir:

ANÁLISE DO TEOR DE UMIDADE:

Uma amostra de 125 g de perlita, foi pesada, disposta em fôrma de cerâmica e levada ao forno elétrico rotativo da CHINO, submetido a uma taxa de aquecimento de 10 °C.min⁻¹ até a temperatura de 800 °C, permanecendo nessa temperatura durante 30 min (condições baseadas em Pinto, 1994). Essa etapa é também importante para permiti a análise das características superficiais, pois elimina a umidade presente na amostra da perlita.



ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS SUPERFICIAIS:

Para avaliar a contribuição dos poros para a área superficial específica foi traçada a isoterma de adsorção do nitrogênio a 77 K, utilizando-se um porosímetro marca MICROMERITICS, modelo ASAP 2020, interfaciado a um microcomputador (STORCK; BRETINGER; MAIER, 1998). Uma amostra de 0,2500 g perlita foi inserida na câmara (imersa em banho de nitrogênio líquido) onde foi permitida a entrada de quantidades conhecidas de nitrogênio gasoso. Assim, por meio da elaboração das isotermas de adsorção de N₂ em regiões de baixa pressão, foi possível calcular a área superficial específica da perlita, conhecendo-se o volume do nitrogênio necessário para recobrir a superfície em monocamada e a área ocupada pela molécula do nitrogênio (GREGG; SING, 1982).

ANÁLISES DE DECOMPOSIÇÃO TÉRMICA:

As análises de decomposição térmica foram realizadas em termos de perda de massa total das amostras usando um analisador termogravimétrico, TA Instruments, modelo TGA Q50, equipamento que detecta a perda de peso com precisão de 0,1 µg. Para obter as curvas termogravimétricas, foram utilizados cerca de 10 mg da amostra e submetidos ao aquecimento não isotérmico sob fluxo de gás nitrogênio (99,99%) a 100 mL.min⁻¹, razão de aquecimento de 10 °C.min⁻¹.

PRODUÇÃO DA ÁGUA DE LAVAGEM DE VEÍCULOS (EFLUENTE SINTÉTICO):

A água produzida utilizada neste trabalho foi elaborada em um agitador mecânico a 620 rpm, utilizando óleo de motor de veículos Selenia Perform 5W – 30 API SN com concentração inicial na faixa de 1000 ppm. Foram produzidos 3 L de solução inicial, em duplicata, para a realização dos experimentos. Para emulsificar o óleo, foram utilizados cloreto de sódio (NaCl, 35g.L⁻¹), detergente comercial e ácido clorídrico P.A. (1 mL.L⁻¹) para atingir pH 2 e para evitar a aderência das gotículas nas paredes do recipiente ou coagulação das mesmas (CURBELO, 2002).

Foi elaborada uma suspensão, com as mesmas características do efluente sintético, porém isenta de óleo, denominada branco, visando remover interferências no valor das absorvâncias do efluente sintético tratado. Foi realizada a varredura dessa solução em espectrofotômetro, para determinar o comprimento de onda com maior pico de absorvância. Uma curva de calibração do óleo foi traçada visando obter as concentrações finais do adsorvato no efluente após a etapa de adsorção. Foram utilizadas concentrações conhecidas de óleo, incluindo a concentração inicial do efluente sintético de 1000 ppm, realizada a leitura em espectrofotômetro e traçada a curva de concentração versus absorvância (CURBELO, 2002).

ADSORÇÃO EM BANHO FINITO:

A etapa de adsorção em banho finito, apresentada na Figura 4, ocorreu por meio da aplicação da Norma ASTM D 3860/98, onde diferentes massas da perlita, variando de 0,1 g a 3,0 g, foram colocadas em contato com 200 mL de efluente sintético, à 30°C, em mesa agitadora (160 rpm), por 24 h, para garantir o equilíbrio do sistema. Então, foram coletadas alíquotas de 100 mL dessa suspensão e realizadas duas etapas de centrifugação, a primeira para remover a perlita residual da suspensão e a segunda, após o método de extração com clorofórmio, para remover gotículas de água.

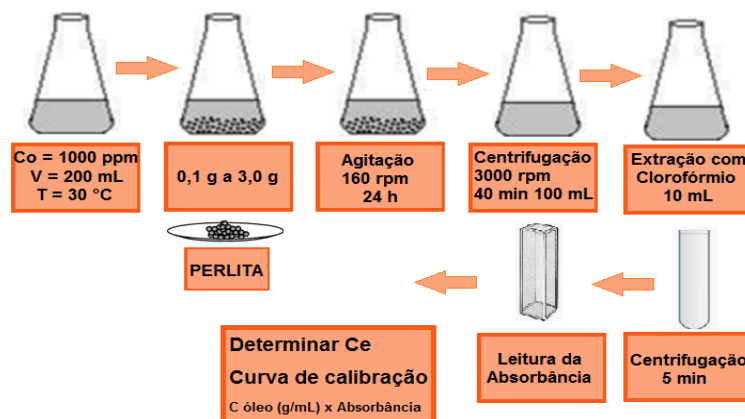


Figura 4: Ensaio em banho finito.

Pela diferença entre as leituras das absorbâncias do efluente e do branco, foi possível conhecer as concentrações de equilíbrio do adsorvato, utilizando a curva de calibração. A partir dos resultados, plotou-se um gráfico relacionando a concentração do adsorvato na fase líquida e na fase sólida e obtiveram-se os parâmetros dos modelos experimentais de Langmuir e Freundlich.

RESULTADOS OBTIDOS:

Por meio do método BET, foram obtidos a curva de adsorção de nitrogênio em perlita, apresentada na Figura 5, a área superficial da perlita de 2,47 m².g⁻¹, o tamanho do poro de 776,36 Å e o volume dos poros de 1,892.10⁻³ cm³.g⁻¹. Observou-se que a isoterma é do Tipo II, com taxa de adsorção de 0,06459 g. g⁻¹ e baixa histerese, indicando a natureza macroporosa das amostras (Brescia e Vasconcelos, 2022).

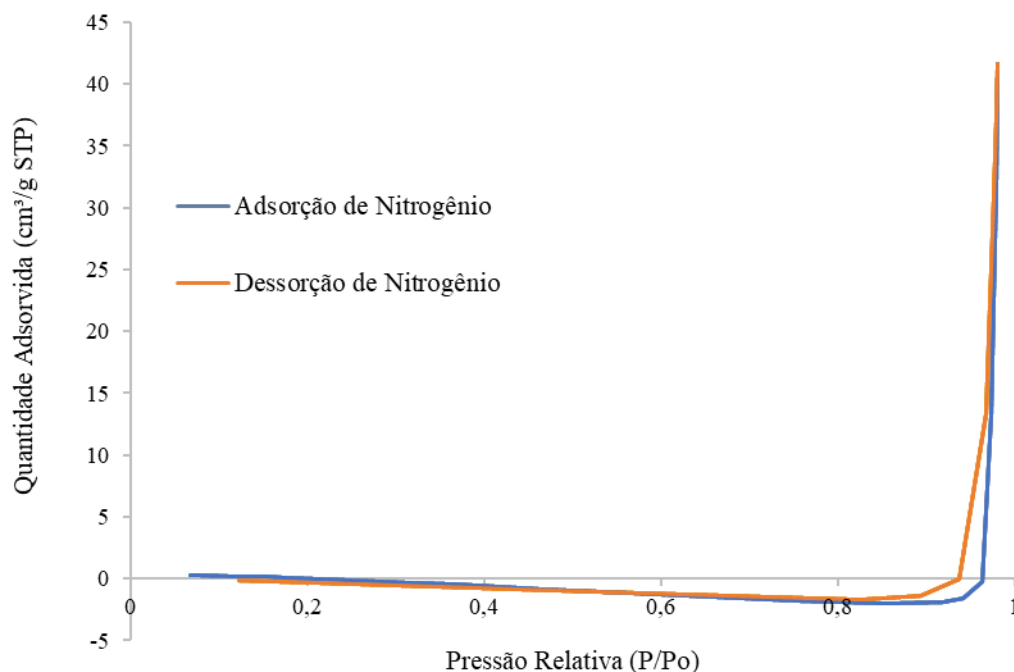


Figura 5: Isotherma Linear obtida pela análise BET.



Com relação à umidade, observou-se que o teor determinado na amostra de perlita foi de cerca de 62,55 %, conforme mostrado na **Erro! Fonte de referência não encontrada.1**.

Tabela 1: Determinação de Umidade pelo Método Estufa.

Nº do Cadinho	Cadinho 1	Cadinho 2	Cadinho 3
Massa do Cadinho (g)	42,96	40,53	43,68
Cadinho + amostra úmida (g)	47,96	45,53	48,68
Cadinho + amostra seca (g)	44,84	42,40	45,55
Massa de água (g)	3,12	3,13	3,13
Massa de perlita seca (g)	1,88	1,87	1,87
Teor de umidade (%)	62,42	62,55	62,67
Umidade média (%)	62,55		

Fonte: elaborado pela autora (2023)

Por meio da análise Termogravimétrica, apresentada na Figura 6, observou-se que ocorreram duas etapas de decomposição da perlita: a 1ª etapa na faixa de 90°C a 190°C, devido, provavelmente, à perda de água, e a 2ª etapa na faixa de 310°C a 355°C, que pode referir-se à transformação de fase de algum dos elementos da perlita ou desidroxilação de estruturas (Silva Filho et al. 2017).

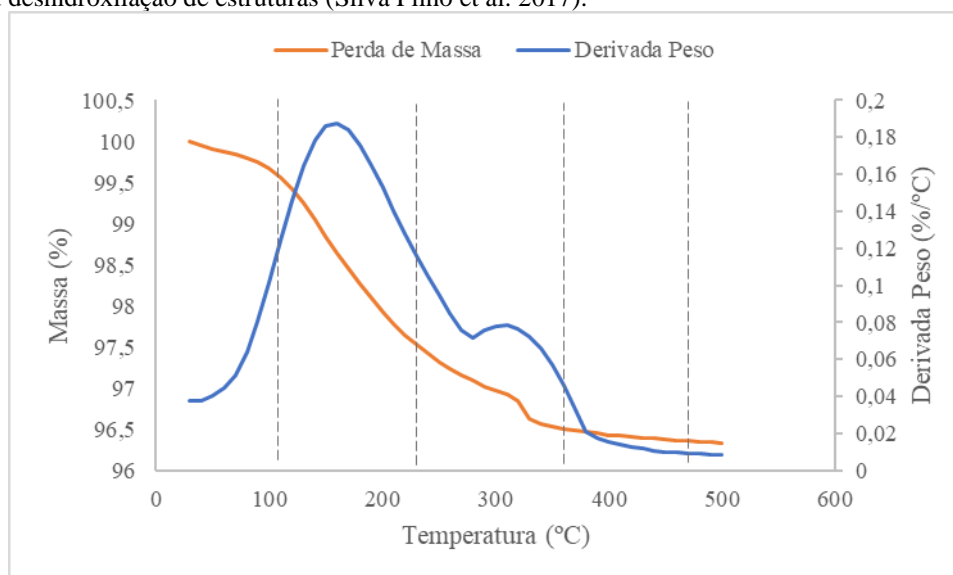


Figura 6: Curva termogravimétrica de decomposição da perlita.

Pelo Espectro de Varredura do óleo, obtido em espectrofotômetro e apresentado na **Erro! Fonte de referência não encontrada.7**, foi possível observar um pico próximo a 262 nm e outro em 286 nm.

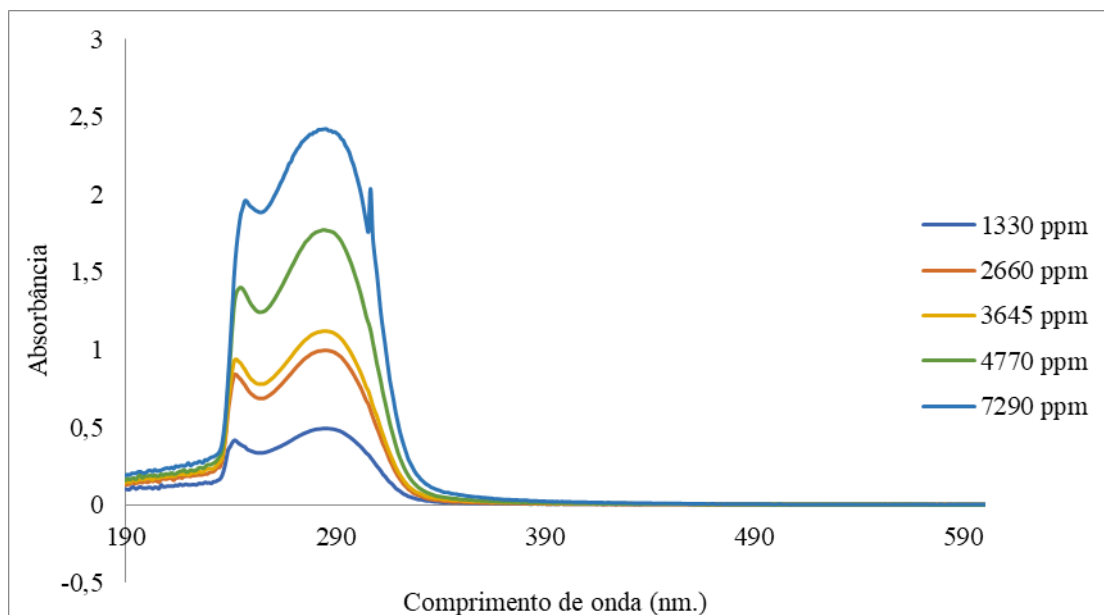


Figura 7: Espectro de Varredura UV-Vis do óleo Selenia Perform 5W – 30 API SN.

Os valores de absorbância no comprimento de onda de 286 nm foram utilizados na construção da curva de calibração apresentada na Figura 8, pois apresentaram melhores resultados para as isotermas.

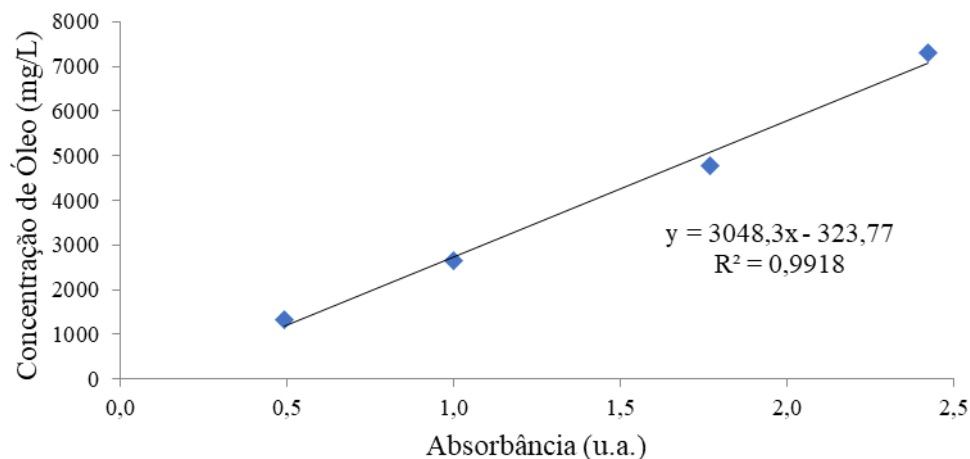


Figura 8: Curva de calibração do óleo Selenia Perform 5W – 30 API SN

O modelo de Freundlich foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais, tendo sido obtidos a isoterma apresentada na Figura 9 e os parâmetros $n = 3,81$ ($1 < n < 10$) e $k_f = 29,64$.

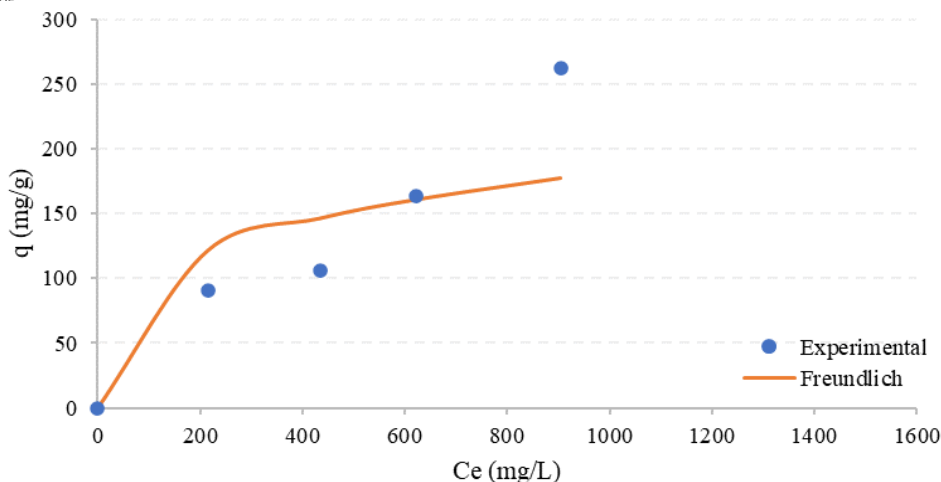


Figura 9: Isotherma de Adsorção Modelo de Freundlich

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS:

A partir dos estudos realizados, é possível verificar que:

Os valores encontrados para a caracterização da perlita, área superficial e porcentagem de água evaporada na análise termogravimétrica são condizentes com a taxa de adsorção encontrada.

O tamanho do poro encontrado para a perlita foi de 776,36 Å, favorecendo a adsorção de moléculas maiores e de maior peso molecular, como materiais orgânicos. Na literatura, são encontrados valores de área superficial, volume e tamanho dos poros de 6,66 m².g⁻¹, 0,036 cm³.g⁻¹ e 218,5 Å, respectivamente (Xu, 2018).

Os dados experimentais foram, matematicamente, correlacionados ao modelo de Freundlich, com coeficiente de correlação de 0,98. O valor da constante n entre 1 e 10 indica um processo adsorptivo favorável, k_f descreve uma adsorção não-ideal e reversível e não restrita à formação da monocamada.

Utilizando-se, ainda, o modelo de adsorção de Freundlich e sabendo-se que o limite para lançamento de óleos e graxas é de 20 mg/L, de acordo com a CONAMA 430, é possível inferir que: Adotando-se Ce = 20 mg/L, tem-se uma taxa de adsorção (q) de 64,59 mg/g. Assim, a quantidade de perlita a ser utilizada para tratar o efluente gerado na lavagem de 80 veículos, consumindo-se 262 L de água por veículo, será de aproximadamente 319 kg perlita/dia.

CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES:

Os resultados encontrados neste trabalho mostram o potencial moderado do uso da perlita no processo de adsorção para tratamento de água de lavagem de veículos, sendo uma alternativa para este processo por se tratar de um resíduo industrial proveniente de uma indústria química.

O custo total do processo de adsorção com a perlita engloba o transporte do material até o local da utilização. Portanto, sabendo que a perlita é um resíduo industrial e está disponível em larga escala, o uso dela como material adsorvente é uma alternativa acessível e de baixo custo para o tratamento do óleo residual. Assim, além de ser uma opção para o aproveitamento deste resíduo, pode reduzir os custos do processo, proporcionando vantagens econômicas.

Apesar da baixa taxa de adsorção, a presença de grupos silanóis superficiais favorece a adsorção de moléculas orgânicas. Além disso, sendo a perlita um argilomineral, esta possui superfície hidrofílica. Modificações na superfície da perlita podem também favorecer o aumento das taxas de adsorção (Zhou et al., 2013; Xu, 2018;



Inan et al., 2022). Outras alternativas para o aumento da taxa de adsorção são a associação de tanques de adsorção em regime batelada, em série ou adoção de método contínuo de adsorção (NASCIMENTO, 2014).

Espera-se que, este estudo contribua para o surgimento de novos estudos sobre o tema, a conscientização da população, o engajamento dos setores público e privado, e a adoção de medidas efetivas para a redução de geração de efluentes industriais e consumo de recursos naturais dos corpos hídricos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

1. BABAS, H. et al. Equilibrium and kinetic studies for removal of antiviral sofosbuvir from aqueous solution by adsorption on EP: Experimental, modelling and optimization. **Surf. Interfaces**, v. 23, abr. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.surfin.2021.100962>.
2. BRESCIA, E. A. e VASCONCELOS, W. L. Revisão teórica da interconectividade de materiais porosos hierárquicos, caracterização por adsorção física. **J. Eng. Ex. Sci.**, v. 8, n. 1, jan. 2022. <https://doi.org/10.18540/jcecvl8iss1pp13502-01-15e>
3. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Res. Nº 430 de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Res. nº 357, Brasil, ano 2011, n. 92, 16 mai 2011.
4. CURBELO, F. D. D. S. **Estudo da Remoção de Óleo em Águas Produzidas na Indústria de Petróleo, por Adsorção em Coluna Utilizando a Vermiculita Expandida e Hidrofobizada**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2002.
5. DALPIAZ, L. D. M. **Análise do fornecimento dos produtos da destilação criogênica do ar**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) - Escola de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2010.
6. DOTTO, G. L.; GORDON MCKAY. Current scenario and challenges in adsorption for water treatment. **J. Env. Chem. Eng.**, v. 8, n. 4, p. 215, jan. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.103988>.
7. GREGG, S. J.; SING, K. S. W. **Adsorption, Surface Area and Porosity**. 2. ed. New York: Academic Press, 1982. Acesso em: 12 de setembro de 2023.
8. GRYTA, M.; WOŹNIAK, P. Application of polypropylene microfiltration membranes for separation of wastewater from carwash. **Sep. Pur. Tec.**, v. 331, mar. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2023.125707>.
9. INAN, S. et al. Isotherm, Kinetic, and Selectivity Studies for the Removal of Ba-133 and Cs-137 from Aqueous Solution Using Turkish Perlite. **Mat.**, v. 15, n. 21, nov. 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma15217816>.
10. JOÃO PESSOA. **Lei Municipal nº 12.417, de 22 de agosto de 2012**. Incentiva a racionalização e economia no uso da água potável e instalação de reservatório no sistema de captação de água pelos estabelecimentos do tipo “lava-rápido”. João Pessoa, 2012.
11. NASCIMENTO, R. F. et al. Adsorção: **Aspectos teóricos e aplicações ambientais**. 1. Ed. Fortaleza.: Imp. Un., 2014.
12. PERLITE INSTITUTE. **Why Perlite Works**. EUA; Perlite Institute 2024.
13. PERLINDUSTRIA. Perlita para isolamento criogênico, 2002.
14. PINTO, C. H. C., Vermiculita Hidrofobizada como agente adsorvente de óleo em águas. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós Graduação em Engenharia Química. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, RN. 1994.
15. SILVA FILHO, S. H. et al. Caracterização estrutural da perlita expandida. **Persp.**, v. 41, n.155, p. 81-87, set. 2017.
16. XU, H. Y. et al. Novel and recyclable demulsifier of expanded perlite grafted by magnetic nanoparticles for oil separation from emulsified oil wastewaters. **Chem. Eng. J.**, v. 337, p. 10-18, abr. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.12.084>.
17. ZHOU, C. H.; KEELING, J. Fundamental and applied research on clay minerals: From climate and environmental to nanotechnology. **Appl. Clay Sci.**, v. 74, p. 3-9, abr. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clay.2013.02.013>.