

III-1365 - ESTUDO PRELIMINAR DE CAMADAS DE COBERTURAS ADSORTIVAS EM ATERROS DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Jaquelynne Cassia de Amorim

Graduada em Engenharia de Minas pela Universidade Federal de Campina Grande/ PB, atuando nos seguintes temas: quartzito, concreto e resíduo. Estagiou na STTP - Superintendência de Trânsito e Transporte Públicos de Campina Grande e na SUDEMA - Superintendência de Administração do Meio Ambiente, João Pessoa, onde desempenhou atividades na Coordenação de Controle Ambiental (CCA), para licenciamento ambiental nas áreas da mineração.

William de Paiva

Possui curso Técnico em Eletrônica pela Escola Técnica Redentorista (ETER), graduação em Licenciatura Plena em Matemática pela Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB), mestrado em Engenharia Civil, área de concentração Geotecnia, pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Doutorado em Engenharia Civil, área de concentração Geotecnia, pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Professor da Universidade Estadual da Paraíba(UEPB). Tem experiência na área de Engenharia Civil, atuando em: solos não saturados, ensaios de laboratório em solos, Geoestatística e Estatística Aplicada a Engenharia Civil, RSU e RCC.

Veruschka Escarião Dessoles Monteiro

Possui Graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco. Especialização em "Mecânica del Suelo e Ingeniería de Cimentaciones" pelo Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. Madrid- España. Mestrado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco e Doutorado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco. Professora Associada IV do Departamento de Engenharia Civil e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande-UFCG. Pesquisadora Produtividade em Pesquisa do CNPq.

Maurício Alves da Motta Sobrinho⁽¹⁾

Engenheiro químico pela Universidade Católica de Pernambuco. Mestre em Engenharia química pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Doutor em Engenharia de processos pelo Institut National Polytechnique de Lorraine (INPL – França). Pós-Doutorado na UFPE e na UMINHO (Portugal). Professor Titular e coordenador do curso de Eng. Química do Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal de Pernambuco. Editor Adjunto da Revista Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental.

Endereço⁽¹⁾: Departamento de Engenharia Química – UFPE - Av. Prof. Arthur de Sá, s/n, Cidade Universitária, Recife-PE, CEP: 50740-590, Brasil - e-mail: mauricio.motta@ufpe.br

RESUMO

A emissão de CO₂ vem provocando o aumento da temperatura do planeta e comprometendo a estabilidade de diversos ecossistemas e mesmo a sobrevivência da espécie humana. Os aterros sanitários são as principais formas de destinação final para resíduos sólidos urbanos utilizadas no Brasil. Além de emitirem gás carbônico, produzem também metano, cujo efeito deletério ao meio ambiente é muito superior ao deste primeiro. Assim, esse trabalho tem por objetivo geral de analisar a aplicabilidade do uso da camada de cobertura adsorativa para redução de emissões de gases de efeito estufa. Este estudo preliminar traz a avaliação dos solos e do carvão ativado utilizados, sendo esse último inserido na camada de cobertura para reter esses gases. Os resultados iniciais de caracterização demonstraram a viabilidade da utilização de resíduos de madeira para a produção de carvão, o qual possui elevada capacidade de adsorção do material, com alta área superficial e características que permitem a adsorção do CO₂. A mistura dos solos utilizados, estão de acordo as normas da CETESB, NBR e USEPA para ser utilizado em camada de cobertura. Os ensaios em coluna, próxima etapa, seguirão até o final de junho de 2023.

PALAVRAS-CHAVE: Camada de Cobertura, Carvão, Resíduo Mobiliário, Efeito Estufa, Gás Carbônico.

INTRODUÇÃO

A degradação anaeróbia da matéria orgânica em aterros de resíduos sólidos urbanos é uma fonte importante dos principais gases responsáveis pelo aquecimento global, o metano (CH₄) e o gás carbônico (CO₂), sendo denominados gases de efeito estufa (GEE). O efeito estufa é um fenômeno que ocorre de forma natural na atmosfera, que mantém a temperatura no planeta Terra. No entanto, devido ao aumento na concentração dos GEE proveniente, principalmente, das atividades humanas, pesquisadores esperam que o efeito estufa se intensifique, e consequentemente haja o aumento das temperaturas do planeta (ALVES & VIEIRA, 1998).

De acordo com PEER et. al. (1993) apud TAGARIS et. al. (2003), os aterros sanitários são fontes significativas de metano, sendo classificado em terceiro lugar entre as fontes antropogênicas, perdendo apenas para os arrozais e os ruminantes.

Dentre as fontes nacionais emissoras de metano, os resíduos sólidos urbanos representam 12% do total, sendo que 84% das emissões são oriundas dos aterros (BRASIL, 2008).

Neste contexto, surgiu a Política Nacional sobre Mudança do Clima (2009) que foi uma oficialização do compromisso voluntário do Brasil junto à Convenção-Quadro da ONU sobre Mudança do Clima de redução de emissões de gases de efeito estufa entre 36,1% e 38,9% das emissões projetadas até 2020. No âmbito dos resíduos sólidos urbanos, o plano contemplou medidas de mitigação para o setor de resíduos por meio da recuperação de metano em aterros sanitários, incineração com recuperação energética e reciclagem, além de metas de incentivo ao aproveitamento energético do biogás de aterro sanitário.

Em 2010, foi instituída a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que traz instrumentos importantes para o enfrentamento dos principais problemas ambientais, sociais e econômicos decorrentes do manejo inadequado dos resíduos sólidos.

Diante desta problemática, nota-se a importância de investigar se as camadas de cobertura estão cumprindo sua função de isolar os resíduos aterrados e minimizar a emissões de agentes poluentes no meio ambiente, bem como avaliar seu desempenho ao longo dos anos.

Assim, o presente trabalho tem por objetivo geral de analisar a aplicabilidade do uso da camada de cobertura adsorvente para redução de emissões de gases de efeito estufa. Para esse fim, foram estudadas as características geotécnicas, físico-químicas dos materiais que irão compor a cobertura e as características do material adsorvente (biocarvão de resíduos de madeira obtido como subproduto em um gaseificador de biomassa). O efeito da redução na emissão dos gases com a inserção do biocarvão será também avaliada.

MATERIAIS E MÉTODOS

Campo Experimental

O Aterro Sanitário de Campina Grande (ASCG), Figura 1, está localizando na zona rural Fazenda Logradouro II do município de Campina Grande – PB, situado a cerca de 10km na PB 138 que liga as zonas rural e urbana de Campina Grande e o distrito de Catolé de Boa Vista. Atualmente, sua área total é de 64ha, sendo que 39,89 hectares dessa área total são destinados a disposição de lixo (RSU), resíduos de demolição da construção civil e restos de corte de árvores. O aterro está posicionado na latitude 7°16'5,22" Sul e longitude 36°0'8,36" Oeste.

Figura 1: Imagem aérea de uma das células do ASCG



Fonte: GGA/UFCG (2022) adaptado por Silva, 2022.

A estrutura do aterro consiste em camadas de coberturas de solo que são colocadas após a disposição de cada camada de resíduo. A camada de base do aterro é composta por uma mistura de solo local com solo argiloso bentonítico. Têm-se que 20% de argila bentonítica é adicionada a 80% de solo natural, essa mistura é feita no próprio aterro e distribuída formando a camada de base que sofre compactação mecânica.

Materiais de Base

Os materiais utilizados no estudo foram:

- Biocarvão: Originado da queima da madeira proveniente de carteiras escolares universitárias inservíveis. O biocarvão foi doado pelo Departamento de Engenharia Mecânica da UFPE – Campus I. A queima da matéria-prima é realizada por um gaseificador com capacidade térmica de 32 KWh, sua demanda de biomassa é de 45 kg.h⁻¹. A amostra de biocarvão pesando cerca de 5kg foi colocada em saco plástico e levada ao Laboratório de Geotecnia Ambiental (LGA), onde foi guardada em local seco e reservado.

- Solo (in natura): O solo utilizado é o solo da camada de cobertura do aterro sanitário. As amostras de solo foram coletadas do aterro sanitário de Campina Grande (ASCG). Foi coletado cerca de 30 kg de solos naturais de dois locais diferentes do aterro sanitário ASCG.

Caracterização do Solo

Para caracterizar o solo e as misturas de solo e biocarvão foram realizados ensaios de caracterização geotécnica conforme é detalhado no Quadro 1, abaixo

Quadro 1 - Ensaios de caracterização geotécnica dos materiais

Ensaios	Método
Preparação de amostras e teor de umidade	NBR 6457 (ABNT, 2016) – Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização
Massa específica dos grãos	NBR 6458 (ABNT, 2016) – Solo – Determinação da massa específica dos grãos de pedregulho que passam na peneira 4,8 mm – Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água
Limite de Liquidez	NBR 6459 (ABNT, 2016) – Solo – Determinação do Limite de Liquidez.
Limite de Plasticidade	NBR 7180 (ABNT, 2016) – Solo – Determinação do Limite de Plasticidade.
Compactação	NBR 7182 (ABNT, 2016) – Solo – Ensaio de Compactação.
Granulometria	NBR 7181 (ABNT, 2016) – Solo – Análise Granulométrica.

A partir desses métodos, foi possível classificar o solo natural da camada de cobertura do aterro e as combinações de solo e biocarvão ativado de acordo com o Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS). Em seguida, foram realizados ensaios de permeabilidade a água, umidade, compactação e resistência ao cisalhamento direto

Caracterização do Carvão Ativado

A composição mineralógica do material foi definida no Laboratório de Análises Químicas da Universidade Federal de Pernambuco pela técnica de DRX. A identificação das fases cristalinas foi obtida adotando método comparativo com material técnico disponível na literatura. Para determinar qualitativamente a composição química do biocarvão vegetal de resíduos de madeira a técnica de fluorescência foi utilizada, sendo realizada no Laboratório de Análises Minerais da Universidade Federal Campina Grande – Campus I. Fazendo uso da análise de BET, apoiada nos trabalhos de BET foi possível inferir características básicas sobre a estrutura superficial e porosa do carvão ativado. A técnica de microscopia eletrônica de varredura (MEV) foi utilizada para descrever a morfologia porosa do material.

Ensaio em Coluna

A simulação do comportamento da camada oxidativa, em condições laboratoriais, será analisada através de colunas em PVC, como mostra a Figura 2. A confecção das colunas seguirá a metodologia dos ensaios de Vieira (2005) e Costa (2018).

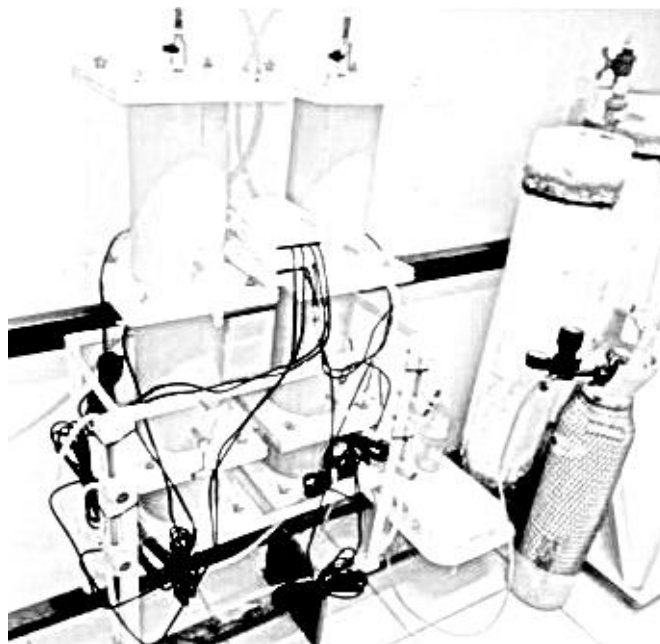


Figura 2 – Foto do sistema para ensaio em coluna

RESULTADOS DA CARACTERIZAÇÃO DO CARVÃO

A análise BET permitiu obter a isoterma de adsorção e dessorção no N_2 , variando a pressão relativa (P / P_0) de 0,1 a 0,99 (NASCIMENTO *et al.*, 2014). Com relação à isoterma apresentada na Figura 3, nota-se que o material apresenta forma curva semelhante às isotermas do tipo IV. Neste caso, o carvão é essencialmente um material mesoporoso. Ocorreu a formação de histerese do tipo H2, característica de materiais frequentemente desordenados com distribuição e tamanho de poro mal definidos, como também é indicativo de contrações cervicais (THOMMES *et al.*, 2015). Essas mesmas características foram observadas por Kelm *et al.* (2019).

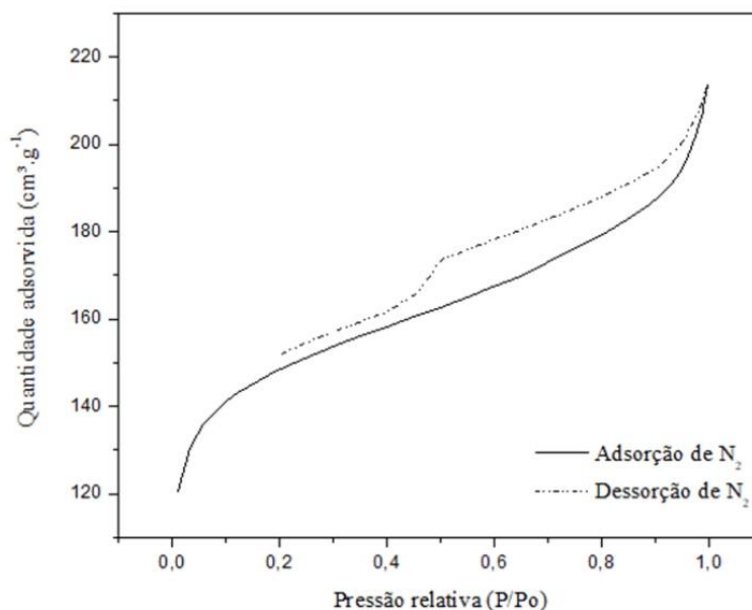


Figura 3 – Isotherma de adsorção/dessorção para o carvão utilizado na mistura com o solo

Analisando-se o difratograma, apresentado na Figura 4, observa-se que o biocarvão apresenta uma estrutura predominantemente cristalina, característico de estruturas do tipo grafítico (Pessoa *et al.*, 2019). Este fato foi evidenciado através do pico característico a $2\theta = 26^\circ$. O pico em $2\theta = 24^\circ$ é característico de um plano de difração C (002), o qual é observado no carbono amorfo com estruturas aromáticas desordenadas. Um terceiro pico, entre 40 e 50°, pode ser indicativo de um plano de difração C (100). Sendo este encontrado, geralmente, em cristallitos de carbono tubo estrátricos ordenados (DEHKHODA *et al.*, 2014; DA SILVA *et al.*, 2020). Essa mesma tendência foi observada por Benedetti *et al.* (2018) em seus estudos usando o carvão da gaseificação de biomassa e plantas industriais comerciais.

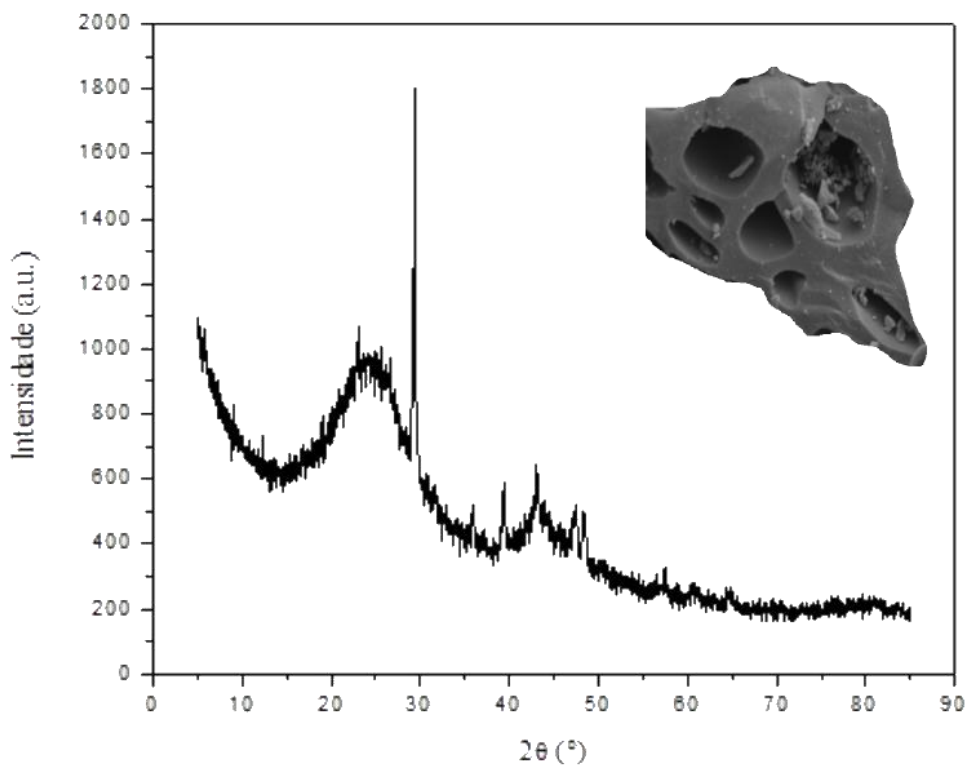


Figura 4 – Difratograma de Raio X do carvão utilizado

A partir das imagens MEV (Figura 5, com ampliação 5.000x) do biocarvão, foi possível confirmar a formação de estrutura porosa no material com a presença de poros visíveis na superfície do adsorvente. A presença de cavidades com tamanhos homogêneos pode ser observada em ambas as amostras. Kelm *et al.* (2019) utilizaram material semelhante no seu estudo e verificaram que os poros, que provavelmente se desenvolveram durante o processo de gaseificação dos resíduos de madeira, aumentaram a área superficial e o volume dos poros, aumentando assim a capacidade de adsorção do adsorvente.

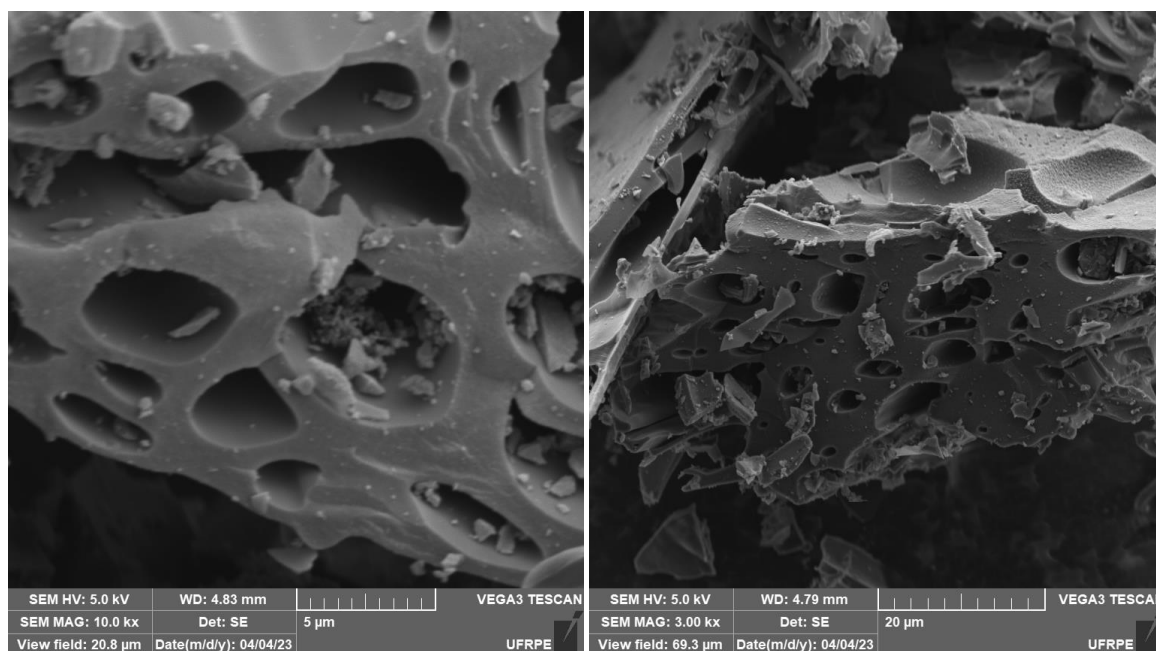


Figura 5 – Microfotografia (MEV) do carvão ativado com ampliação de 5.000x

RESULTADOS DA CARACTERIZAÇÃO DO SOLO DA CAMADA DE COBERTURA

Para os ensaios geotécnicos, dois solos distintos: um solo natural empregado em uma área já finalizada na camada de cobertura final do ASCG (solo 1), previamente estudada por Souza (2021). E uma amostra de solo natural coletada de uma região próxima do local onde a operação do aterro encontra-se ativa (solo 2). A amostra de solo natural foi coletada de uma região de extrema emissão de biogás, local onde a operação do aterro encontra-se ativa, sujeita a exposição de potenciais contaminantes do resíduo e utilizada como material de camada intermediária. O local de extração foi escolhido propositalmente, pois de acordo com os estudos de Souza (2021), nesta área identificou-se pontos com elevada emissão de biogás da ordem de 300g.m⁻². dia⁻¹. A área em questão, abrange 880 m² e um perímetro de 307 m, localizada na extremidade noroeste da Célula 1 do ASCG.

Análise granulométrica

O solo da área experimental controle, designado como solo 1, é composto predominantemente por 59,67% de areia e 26,48% de silte + argila. O solo utilizado no ASCG, chamado de solo 2, é predominantemente composto por 67,55% de areia e 25,93% de silte + argila. Dessa forma, todos os solos possuem uma característica granular, conforme os valores vistos no Quadro 2.

Quadro 2 - Composição Granulométrica dos solos

	Porcentagem Retida (%)	
	Solo 1	Solo 2
Pedregulho (acima de 4,8mm)	13,85	6,52
Pedregulho (acima de 4,8mm)	9,34	10,68
Areia Média (0,25 – 0,84mm)	25,27	29,79
Areia Fina (0,05 – 0,25 mm)	24,86	27,08
Silte (0,005 – 0,05 mm)	6,62	10,08
Argila (<0,005 mm)	19,86	15,85
Total	100	100

Conforme a CETESB (1993), os solos empregados como cobertura em aterros sanitários devem apresentar, no mínimo, 30% de partículas finas. Nenhum dos solos caracterizados atende a esse requisito, no entanto, os valores de partículas finas encontrados nesses solos são semelhantes aos estudados por Santos (2019) e Araújo (2017). É possível constatar que a adição de composto ao solo resultou em um aumento da porcentagem de areia e, consequentemente, em uma diminuição do número de partículas finas. Essa observação está em conformidade com estudos realizados por Santos (2015) e Santos (2019).

Limites de consistência

Verificou-se que os valores dos limites de consistência do solo, apresentados no Quadro 3, estavam na faixa de 19% a 26%, o que difere dos valores mínimos estabelecidos pela CETESB (1993).

Quadro 3 – Limites de consistência dos solos utilizados para camada de cobertura

Limites de Atterberg	Solo 1	Solo 2
LL	19%	22%
LP	NP	NP
IP	-	-

Permeabilidade à água

Os valores identificados para os solos, conforme apresentado no Quadro 4, situam-se na ordem de 10^{-7} , satisfazendo as informações designadas pela USEPA (2004), ainda que estes valores sejam dez vezes maiores do que aqueles determinados pela NBR 13896 (1997).

Quadro 4 - Condutividade Hidráulica (m/s)

Solos	Condutividade Hidráulica (m/s)
Solo 1	$1,36 \times 10^{-7}$
Solo 2	$3,72 \times 10^{-7}$

As diferenças entre os valores obtidos neste estudo e os valores reportados por Araújo (2017) e Souza (2018) apresentam uma magnitude de aproximadamente dez vezes. Essas discrepâncias podem ser justificadas por alterações na energia de compactação do solo e por diferenças na umidade ótima do solo, como mencionado em Araújo (2017).

CONCLUSÕES

Os resultados iniciais de caracterização demonstraram a viabilidade da utilização de resíduos de madeira para a produção de carvão, o qual possui elevada capacidade de adsorção do material, com alta área superficial e características que permitem a adsorção do CO₂. A mistura dos solos utilizados, estão de acordo as normas da CETESB, NBR e USEPA para ser utilizado em camada de cobertura. Os ensaios em coluna, próxima etapa, seguirão até o final de junho de 2023.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT NBR 6457: 2016, Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização.
2. ABNT NBR NM ISO 3310-1: 2010, Requisitos técnicos e verificação Parte 1: Peneiras de ensaio com tela de tecido metálico (ISO 3310-1, IDT).
3. ALVES & VIEIRA. Relatórios de referência: Emissões de gases de efeito estufa no tratamento e disposição de resíduos. Segundo Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa, Ministério da Ciência e Tecnologia. 1998.
4. ARAUJO, G.S. (2008). Análise da capacidade de carga de estaca hélice contínua em função do torque, da pressão de injeção de concreto e parâmetros do solo. Monografia de Projeto Final em Geotecnia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 74 p.
5. BRASIL (2008) Lei 12.187 de 29 de dezembro de 2009. Política Nacional sobre Mudança do Clima.
6. BRASIL (2010) Lei 12.305 de 02 de agosto de 2010. PNRS
7. BENEDETTI, V., PATUZZI, F., BARATIERI, M. Characterization of char from biomass gasification and its similarities with activated carbon in adsorption applications. Appl Energy. v.227, p.1–8. 2017.
8. CETESB – GTZ. Definição dos objetivos da amostragem de solo, atual. nov. 1999.
9. COSTA, M. D., MARIANO, M. O. H., ARAUJO, L. B., & JUCÁ, J. F. T. Estudos laboratoriais para avaliação do desempenho de camadas de cobertura de aterros sanitários em relação à redução de emissões de gases e infiltrações. Engenharia Sanitária e Ambiental, v.23, n.1, p.77-90. 2018.
10. DA SILVA VEIGA, P. A., SCHULTZ, J., DA SILVA MATOS, T. T., FORNARI, M. R., COSTA, T. G., MEURER, L., MANGRICH, A. S. Production of high-performance biochar using a simple and low-cost method: Optimization of pyrolysis parameters and evaluation for water treatment. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, v.148, p.104823. 2020
11. DEHKHODA, A.M.; ELLIS, N.; GYENGÉ, E. Electrosorption on activated biochar: effect of thermo-chemical activation treatment on the electric double layer capacitance. Journal of Applied Electrochemistry, v. 44, p. 141-157, 2014.
12. KELM, M.A.P., DA SILVA JÚNIOR, M.J., DE BARROS HOLANDA, S.H., DE ARAUJO, C.M.B., DE ASSIS FILHO, R.B., FREITAS, E.J., DOS SANTOS, D.R., DA MOTTA SOBRINHO, M.A. Removal of azo dye from water via adsorption on biochar produced by the gasification of wood wastes. Environ. Sci. Pollut. Res., v.26, p.28558–28573. 2019.
13. NASCIMENTO, R. F.; LIMA, A. C. A.; VIDAL, C. B.; MELO, D. Q.; RAULINO, G. S. C. Adsorção: Aspectos teóricos e aplicações ambientais. Biblioteca de Ciências e Tecnologia. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2014. 256p
14. PEER, R.L., THORNELOE, S.A., EPPERSON, D.L. A comparison of methods for estimating global methane emissions from landfills. Chemosphere, v.26, n. 1-4, p. 387-400. 1993.
15. SANTOS, J.N.B. Classificação de Solos - SUCS. Santa Catarina: UDESC, 2017. 1 slide, color. Disponível em: http://www.cct.udesc.br/arquivos/id_submenu/1470/classificacao_sucs_2017.pdf . Acesso em: 30 nov. 2022.
16. TAGARIS, E., SOTIROPOULOU, R.-E.P., PILINIS, C., HALVADAKIS, C.P. Atmospheric methane transport near landfill sites. Waste Management & Research. 2003;21(1):62-73. VARGAS, M. Introdução a Mecânica dos Solos. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil; Editora da Universidade de São Paulo, 1977.
17. THOMMES, M., KANEKO, K., NEIMARK, A.V., OLIVIER, J.P., RODRIGUEZ-REINOSO, F., ROUQUEROL, J., SING, K.S.W. Physisorption of gases, with special reference to the evaluation of surface area and pore size distribution (IUPAC Technical Report). Pure Appl. Chem. 87, 1051–1069. 2015.
18. VIEIRA, A.M. Estudo de barreiras capilares como Cobertura final de aterro de resíduos. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 287p. 2005.