

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E HIDRO GEOTÉCNICAS DA FRAÇÃO TIPO SOLO MINERADA DE ATERROS (FTSMA)

Eduardo Augusto Licco ¹; Miriam Gonçalves Miguel ²

Resumo – A mineração de aterros (*landfill mining*) se refere à escavação e ao tratamento de resíduos de um aterro sanitário ou lixão em atividade ou inativo, com diversas finalidades como, por exemplo, a reutilização de materiais recuperados (*waste-to-material*). Essa pesquisa teve como objetivo caracterizar a Fração Tipo Solo Minerada de Aterros com 8 anos de aterramento (FTSMA-8), oriundas do Aterro Sanitário Delta A da cidade de Campinas-SP, buscando seu potencial de reutilização na área Geotécnica. A FTSMA-8 foi submetida a ensaios de caracterização física e geotécnica e a ensaios de permeabilidade e de resistência à compressão não confinada. A FTSMA-8 apresentou textura predominante de pedregulho e areia e não indicou plasticidade. Os seus valores de coeficiente de permeabilidade saturada se situaram entre 10^{-8} e 10^{-6} cm/s. A resistência a compressão não confinada foi baixa e as deformações axiais foram altas, apresentando comportamento típico de solos finos reforçados com fibras.

Abstract – Landfill mining refers to the excavation and treatment of waste from an active or inactive landfill or dump, for various purposes, such as the reuse of recovered materials (*waste-to-material*). This research aimed to characterize the Landfill-Mined-Soil-Like-Fractions (LFMSF) with 8 years of landfilling (LFMSF -8), originating from the Delta A Sanitary Landfill in the city of Campinas-SP, seeking its potential for reuse in the Geotechnical area. LFMSF -8 was subjected to physical and geotechnical characterization tests and permeability and unconfined compressive strength tests. LFMSF-8 presented a texture predominantly of gravel and sand and it did not indicate plasticity. Its saturated permeability coefficient values were between 10^{-8} and 10^{-6} cm/s. The unconfined compressive strength was low, and the axial strains were high, showing typical behavior of fine fiber-reinforced soils.

Palavras-Chave – Mineração de aterros; resíduos aterrados; reutilização de resíduos.

¹ Eng. Civil, Universidade Estadual de Campinas, (11) 99974-0296, edu10licco@gmail.com

² Professora Associada, Universidade Estadual de Campinas, (19) 3521-2352, migmiguel@fec.unicamp.br

1. INTRODUÇÃO

Os aterros sanitários têm sido considerados fontes de matéria prima secundária para os setores agrícola, energético e da construção civil. Sendo assim, a mineração dos aterros (*landfill mining*), visando aos resíduos com potencial de utilização como materiais (*waste-to-material*) e energia (*waste-to-energy*), tem ganhado atenção de pesquisadores de diversos países. O conceito de mineração de aterros surge para tornar a gestão de resíduos mais sustentável, eliminando a ideia de aterros como destino de resíduos e posicionando a escavação e a recuperação dos resíduos aterrados em um modelo de economia circular (KROOK et al. 2012).

A mineração de aterros sanitários envolve a escavação, transferência e processamento de material aterrado retirado de um aterro ou lixão (disposição a céu aberto) ativo ou fechado. Os benefícios da implantação da mineração de aterros são inúmeros, podendo ser citados os principais a) valorização da área de localização do aterro; b) diminuição do volume do aterro; c) redução dos custos com monitoramentos ambientais e geotécnicos dos aterros; d) atenuação ou eliminação das contaminações de águas subterrâneas e superficiais e da poluição do ar; e) recuperação de materiais para geração de energia; f) recuperação de materiais para fins agrícolas e de construção civil; g) recuperação de materiais para a reciclagem; h) atenuação dos impactos socioambientais negativos oriundos da extração mineral; i) implantação dos processos aplicados aos resíduos minerados também aos frescos, permitindo a disposição somente de rejeitos; j) geração de empregos e renda; k) desenvolvimento econômico local (HOGLAND et al., 2004).

Os resíduos aterrados são escavados e submetidos a caracterização gravimétrica em várias categorias, e para cada uma delas, busca-se uma rota viável de reaproveitamento, visando reduzir o desperdício e promover a sustentabilidade ambiental. As categorias principais são: matéria orgânica putrescível, papel, papelão, madeira, poda, plástico, borracha, vidro, isopor, resíduos de construção e demolição (RCD), metal magnético, metal não magnético, fraldas e absorventes, perigosos (inclui resíduos hospitalares), diversos (materiais não identificados visualmente), tecidos e fração fina (passante numa determinada malha padronizada).

A fração fina ou material tipo solo é a categoria mais expressiva, apresentando 27,3% a 78,1%, em massa úmida total do RSU escavado, a depender das condições de operação do aterro, tempo de aterramento, composição gravimétrica do RSU, dentre outros (SINGH e CHANDEL, 2020). Este material foi definido por Chandana et al. (2021) como Fração Tipo Solo Minerada de Aterros (FTSMA), sendo constituído principalmente por: (1) produtos da decomposição químico-térmica e biológica do resíduo sólido, podendo essa degradação ser parcial ou total; (2) solo oriundo do material de cobertura do aterro sanitário; (3) pequenos fragmentos de metal, vidro e cerâmicas que não podem ser separados manualmente ou mecanicamente do solo. No entanto, a falta de padronização quanto a abertura da malha pela qual a FTSMA é passante, variando de 4 mm a 40 mm (BHATNAGAR et al., 2017; KAARTINEN et al., 2013; QUAGHEBEUR et al., 2013; WOLFSBERGER et al., 2015), e o seu baixo valor econômico dificultam a análise do seu potencial de utilização. Sendo assim, segundo Zhou et al. (2015), a destinação adequada da FTSMA tem sido um dos principais fatores determinantes da viabilidade econômica dos projetos de mineração de aterros.

Várias pesquisas têm destacado o potencial da FTSMA em atividades agropecuárias (KURIAN et al., 2007; KAARTINEN et al., 2013), como material para o desenvolvimento de infraestrutura (JANI et al., 2016), em remediação de solos contaminados por petróleo (LIU et al., 2018), como material de cobertura diária de aterros (KURIAN et al., 2007; FORD et al., 2013). Outros focam no uso em culturas agrícolas não comestíveis para fornecer nutrientes às plantas ou até mesmo em atividades de revegetação de áreas degradadas (PRECHTHAI et al., 2008; MASI et al., 2014; ZHOU et al. 2015; RONG et al., 2017; OLIVEIRA et al., 2024).

Os maiores desafios atuais da mineração de aterros estão relacionados ao conhecimento das características dos RSU aterrados, pois a qualidade desses resíduos é fundamental para a avaliação dos seus potenciais de utilização posterior (MANDPE et al., 2021). Logo, a obtenção e análise das características e composição das FTSMA têm sido essenciais para realizar qualquer estudo que envolva o uso ou beneficiamento desse resíduo e a viabilidade do projeto de mineração. Sendo assim, a presente pesquisa visa a obtenção e análise das características

físicas e geotécnicas da FTSMA, proveniente de RSU aterrado a 8 anos no aterro sanitário Delta A, de Campinas-SP, para fins de reutilização na área Geotécnica.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. AMOSTRAGEM E COMPOSIÇÃO GRAVIMÉTRICA

Os resíduos sólidos urbanos (RSU) estudados nesta pesquisa são provenientes do aterro sanitário Delta A (22°54'50"S e 47°08'41"W), em Campinas, Estado de São Paulo, classificados como Classe IIA (resíduo não perigoso não-inerte), segundo a NBR 10004 (ABNT, 2004a). O RSU foi coletado de uma célula construída no aterro sanitário que confinava resíduos com 8 anos de aterramento (RSU-8). A escavação do resíduo foi realizada com a abertura de uma trincheira com retroescavadeira e realizando os procedimentos de quarteamento, segundo a NBR 10007 (ABNT, 2004b), até a obtenção de uma amostra de massa úmida final de 300 kg. Em seguida, esta amostra foi armazenada em diversos sacos plásticos, os quais foram transportados para laboratório de Protótipos da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo/Unicamp para serem armazenados e organizados para a realização da composição gravimétrica e de ensaios de caracterização. Maiores detalhes do procedimento de coleta da amostra de RSU podem ser vistos em Leme et al. (2021) e Leme (2023).

A composição gravimétrica foi realizada com 248,23 kg, em base úmida, da amostra final coletada, a qual foi submetida ao peneiramento na malha 19 mm, sendo definida a Fração Tipo Solo Minerada de Aterro (FTSMA-8) como a categoria passante nesta malha ($D < 19$ mm). O material retido ($D \geq 19$ mm) foi submetido a uma separação manual nas seguintes categorias: Matéria Orgânica, Papel, Papelão, Plástico Rígido, Plástico Mole, Plástico Filme, Metal Magnético, Metal Não Magnético, Vidro, Embalagens Longa Vida, Fraldas e Absorventes, Madeira, Tecidos, Borracha, Isopor, Resíduo da Construção e Demolição (RCD), Poda, Porcelana, Perigosos, Espuma, Couro, Compostos (categorias com dois ou mais tipos de materiais), Solo e Diversos (materiais que não foram considerados nas demais categorias). No total foram 25 categorias, incluindo a FTSMA, das quais foram obtidas as suas massas úmidas e, conseqüentemente, a proporção dessas massas com relação a massa úmida total da amostra de RSU-8 (248,23 kg). A Figura 1 apresenta a composição gravimétrica em base úmida, na qual verifica-se que a FTSMA-8 apresentou 35,65% da massa úmida total da amostra de RSU-8, o que representou pouco mais de 89,12kg de massa úmida bruta.

Tabela 1. Composição gravimétrica em base úmida da amostra RSU-8 (adaptada de Leme, 2023).

Categoria	%	Categoria	%
Matéria Orgânica	5,68	Madeira	3,55
Papel	8,86	Tecidos	2,25
Papelão	1,99	Borracha	0,40
Plástico Rígido	4,54	Isopor	0,34
Plástico Mole	1,83	Resíduo da Construção e Demolição (RCD)	9,40
Plástico Filme	11,76	Poda	3,07
Metal Magnético	0,91	Porcelana	0,44
Metal Não Magnético	0,27	Perigosos	0,71
Vidro	1,87	Diversos	0,23
Embalagens Longa Vida	0,58	Compostos	2,52
Fraldas e Absorventes	1,58	FTSMA	35,65
Espuma	0,24	Couro	0,00
Solo	1,32	-	-

2.2. Caracterização física e geotécnica

O teor de umidade gravimétrico em base seca da FTSMA-8 foi determinado utilizando 500g de massa bruta úmida dessa fração, submetida a secagem em estufa a 60°C, até a constância de massa. O procedimento foi similar ao previsto na NBR 6457 (ABNT, 2024), porém utilizando sacos de papel como recipientes, com massas previamente medidas.

A massa específica dos sólidos da FTSMA-8, passante na peneira de 4,8mm, foi determinada seguindo os procedimentos da NBR 6458 (ABNT, 2016a). O limite de liquidez (LL) e o limite de plasticidade (LP) foram determinados pela NBR 6459 (ABNT, 2016b) e NBR 7180 (ABNT, 2016c), respectivamente.

A granulometria conjunta da FTSMA-8 foi realizada segundo a NBR 7181 (ABNT, 2016d) e consistiu na determinação dos diâmetros das frações definidas pela NBR 6502 (ABNT (1995), utilizando os métodos de peneiramento (grosso e fino) e de sedimentação. Uma porção de FTSMA-8, seca em estufa a 60°C, com 2648,83 g foi utilizada para esse ensaio. As peneiras utilizadas para o peneiramento tinham diâmetros padronizados e decrescentes de 19mm (# 3/4'), 9,52mm (# 3/8'), 2mm (# 10), 1,2mm (# 16), 0,6mm (# 30), 0,42 (# 40), 0,25mm (# 60), 0,15mm (# 100) e 0,075mm (# 200).

2.3. Ensaios hidro geotécnicos

A amostra de FTSMA-8 foi submetida ao ensaio de compactação na Energia Proctor Normal, conforme a NBR 6457 (ABNT, 2024) e a NBR 7182 (ABNT, 2016e), com reuso da amostra. O coeficiente de permeabilidade saturada da FTSMA-8 foi obtido por meio da execução do ensaio com carga variável, segundo a NBR 14545 (ABNT, 2000). Foram utilizados dois corpos de prova de FTSMA-8, compactados nas condições de teor de umidade ótima e massa específica seca máxima, obtidos no ensaio de compactação, dentro de permeâmetros de PVC, com volume de aproximadamente 730cm³. Após a compactação, os corpos de prova foram saturados por contrapressão, necessitando em torno de 14 dias para conclusão. Os ensaios de permeabilidade tiveram a duração de 42 dias, sendo realizadas várias leituras de carga hidráulicas nesse período.

Os ensaios de resistência à compressão não confinada (compressão simples) foram realizados com base na norma americana ASTM D2166 (ASTM, 2016) para quatro corpos de prova de FTSMA-8 compactados na Energia Proctor Normal, com teor de umidade ótima e massa específica seca máxima, obtidos no ensaio de compactação. Foram utilizados o compactador mini-MCV, o cilindro bipartido de 12,5 cm de altura por 5 cm de diâmetro e um soquete de 2,5 kg com altura de queda livre de 30 cm. Cada corpo de prova foi compactado dentro do cilindro em três camadas com 6 golpes por camada, configurando a Energia Proctor Normal, e depois retirado para ser ensaiado.

3. RESULTADOS E ANÁLISES

A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos dos ensaios de caracterização física da FTSMA-8, incluindo as frações granulométricas obtidas por meio da curva granulométrica apresentada na Figura 1.

A faixa de valores de massa específica dos sólidos da FTSMA-8 mostrou-se pouco abaixo dos valores conhecidos para solos minerais, em função da presença de matéria orgânica, papel, plástico, entre outros materiais de menor massa específica na sua composição. Song et al. (2003) obtiveram para FTSMA com 25 anos de aterramento, do aterro de Nanji-Do, em Seul, Coreia do Sul, valores situados no intervalo de 2,44 g/cm³ a 2,58 g/cm³, muito coerentes com os obtidos para a FTSMA-8. Rawat e Mohanty (2022) obtiveram o valor de 2,32 g/cm³ para a FTSMA (D< 4,15mm) de um lixão em Varanasi, Índia, valor um pouco menor do obtido para a FTSMA-8.

Os valores obtidos para a FTSMA-8 de LL e LP foram muito próximos, resultando em um IP menor do que 1%, indicando que o material é praticamente não plástico. Oettle et al. (2010) obtiveram intervalos de 48% e 62% e de 24% e 32%, de LL e LP, respectivamente, para uma

amostra de FTSMA de 60 anos de aterramento na Califórnia, USA. O LL obtido para a FTSMA-8 se posicionou abaixo e o seu LP se posicionou acima dos intervalos respectivos propostos por esses autores. Por outro lado, Vasant (2017) classificou como não plástica uma amostra de FTSMA com 5 anos de aterramento na Índia, e Rawat e Mohanty (2022) também indicaram como não plástica a FTSMA estudada por eles, corroborando o resultado dessa pesquisa.

Tabela 2. Caracterização física e geotécnica da FTSMA-8

Determinação	FTSMA-8
Teor de umidade gravimétrico em base seca (%)	49,02
Massa específica dos sólidos (g/cm ³)	2,39 – 2,48
Limite de liquidez (%)	39,73
Limite de plasticidade (%)	39,47
Índice de plasticidade (%)	0,35
Pedregulho (%)	80
Areia grossa (%)	12,13
Areia média (%)	4,84
Areia fina (%)	2,10
Silte (%)	0,14
Argila (%)	0,83
Massa específica seca máxima (g/cm ³)	1,36
Teor de úmida ótima (%)	29

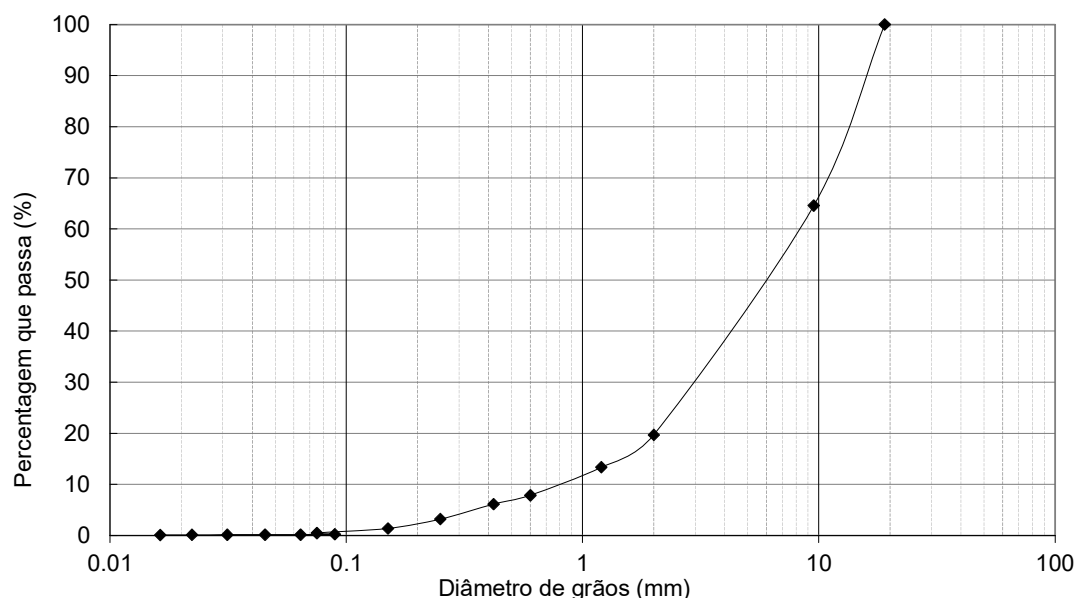


Figura 1. Curva granulométrica da FTSMA-8

A FTSMA-8 foi classificada texturalmente como um Pedregulho Arenoso. Para o Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS), segundo ASTM (2017), a FTSMA-8 foi classificada como Pedregulho Bem Graduado com Areia (GW). Já para o sistema de classificação do *Highway Research Board* (HRB) adotado pela AASHTO, a amostra foi classificada como Pedregulho e Areia (A-1-a). Hogland et al. (2004), Kaartinen et al. (2013) e Monkare et al. (2016) também constataram a predominância das frações pedregulho e areia sobre as frações silte e argila das em FTSMA estudadas por eles. Enquanto, Somani et al. (2018), Jani et al. (2016), Datta et al. (2021) e Rawat e Mohanty (2022) reportaram texturas de areia e silte como predominantes sobre pedregulho e argila em FTSMA com diversas idades mineradas de 5 lixões da Índia. A predominância da fração pedregulho sobre a areia depende da malha que define a granulometria máxima da FTSMA, variando de 4mm a 40mm, segundo a literatura técnico-científica.

Udeni et al. (2014) obtiveram, para as FTSMA ($D < 40$ mm) provenientes de 4 lixões do Sri-Lanka, valores de teor de umidade ótima variando de 17% a 24% e de massa específica seca máxima de $1,27 \text{ g/cm}^3$ a $1,67 \text{ g/cm}^3$. Datta et al. (2021) reportaram o intervalo de 13% e 27% e de $1,35 \text{ g/cm}^3$ e $1,85 \text{ g/cm}^3$ para valores de teor de umidade ótima e massa específica seca máxima, respectivamente. Rawat e Mohanty (2022) encontraram $1,51 \text{ g/cm}^3$ de massa específica seca máxima e teor de umidade ótimo de 18,4 % para a FTSMA ($D < 4,15 \text{ mm}$) estudada por eles. O valor de teor de umidade ótima da FTSMA-8 foi um pouco superior aos valores obtidos por esses autores, porém o seu valor de massa específica seca máxima se situou entre os intervalos relatados. Song et al. (2003) concluíram que quanto maior o teor de matéria orgânica das FTSMA, menor o valor da massa específica seca máxima, ou seja, a idade de aterramento influencia esses valores uma vez que reflete o grau de biodegradabilidade da fração orgânica presente nessas frações.

A variação dos valores de coeficiente de permeabilidade durante os 42 dias de duração do ensaio de permeabilidade realizado, para os dois corpos de prova (CP1 e CP2), se encontra na Figura 2. Os valores de coeficiente de permeabilidade se mantiveram, em sua maioria, na ordem de 10^{-8} cm/s , que é típico de um solo de textura argilosa. Alguns valores se apresentaram na ordem de 10^{-7} cm/s . Gavelyte et al. (2016) obtiveram valores de coeficiente de permeabilidade saturada para RSU com granulometria semelhante ao da FTSMA-8 variando entre 10^{-8} cm/s e 10^{-6} cm/s . O recomendado para solos de coberturas minerais de aterros sanitários é um valor menor que 10^{-7} cm/s , portanto, a FTSMA-8 atende a esse critério. No entanto, vale destacar que as características de retenção à água e de permeabilidade ao ar da FTSMA-8 também são importantes para a avaliação de sua aplicação para esse propósito.

Durante o ensaio de permeabilidade, foram verificadas bolhas de gás saindo do corpo de prova, muito provavelmente, provenientes da decomposição anaeróbia da matéria orgânica encontrada na FTSMA-8. Os gases gerados pela atividade microbiana, aprisionados nos vazios do corpo de prova, acarretaram redução do coeficiente de permeabilidade, uma vez que tornavam os corpos de prova não saturados. Após a liberação dos gases dos vazios dos corpos de prova, e eliminação deles pelas mangueiras de silicone e tubos de carga hidráulica, os corpos de prova voltaram a ser saturados e só então as variações de carga hidráulica eram lidas.

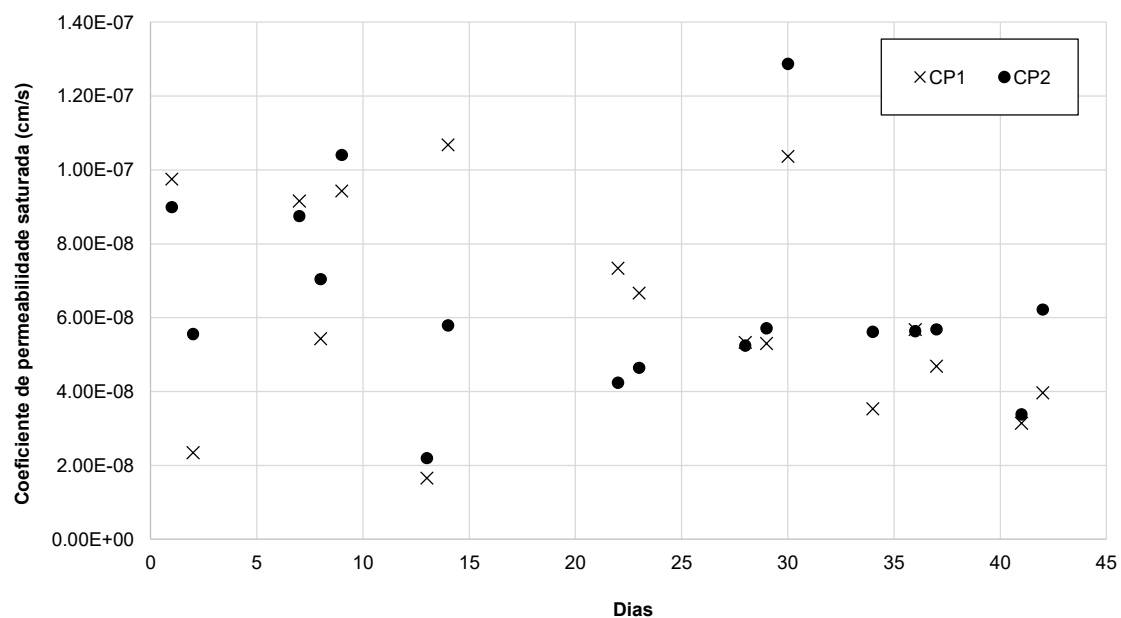


Figura 2: Variação dos coeficientes de permeabilidade saturada ao longo de 42 dias para a FTSMA-8

As curvas tensão normal *versus* deformação axial para os quatro corpos de prova submetidos ao ensaio de compressão não confinada se encontram na Figura 3. As curvas não mostraram uma ruptura definida, o que pode ser explicado pela presença de materiais com comportamento de fibras, como os plásticos, tiras de madeira, folhagens e pequenos galhos

(materiais de jardinagem) na FTSMA-8. Esses materiais fibrosos agem no sentido de aumentar a coesão verdadeira, proporcionando grandes deformações sob valor de tensão constante ou crescente, conforme observado também por Nascimento (2007) em RSU de diversas idades submetidos a ensaios triaxiais.

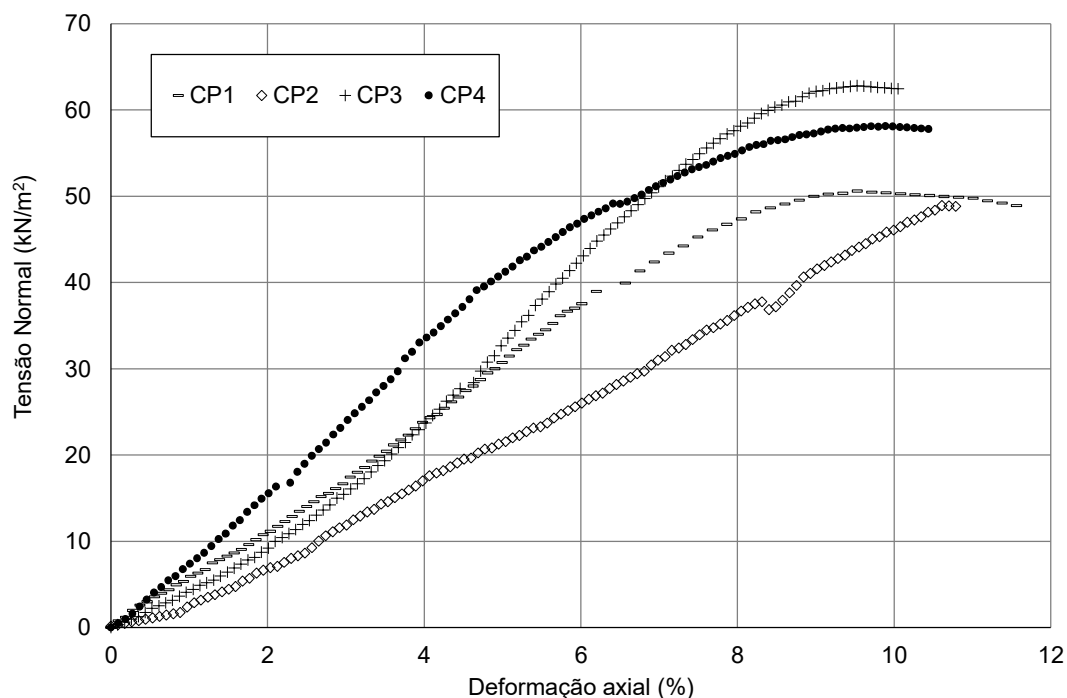


Figura 3. Curvas tensão normal *versus* deformação axial obtidas nos ensaios de compressão não confinada para a FTSMA-8

Os valores de resistência à compressão não confinada (R_c) e as respectivas deformações axiais estão apresentadas na Tabela 3. Para fins de comparação, o solo argilo siltoso, laterítico, típico de parte da região de Campinas-SP (Benatti e Miguel, 2013; Miguel e Bonder, 2012), apresenta valor de R_c próximo de 180kN/m^2 com deformação axial de 4,51%. Considerando a média dos valores de R_c obtidos para a FTSMA-8 de $55,12\text{kN/m}^2$ (Tabela 3), este valor seria um terço do valor da R_c do solo, com deformação axial pouco maior que o dobro.

Tabela 3. Valores de R_c e respectivas deformações axiais obtidas para a FTSMA-8

CP	Deformação axial (%)	Resistência à compressão não confinada (kN/m^2)
CP1	9,53	50,61
CP2	10,61	48,93
CP3	9,53	62,82
CP4	9,89	58,15
Média	9.89	55,12

Vale a pena ressaltar que alguns autores (JANI et al., 2016; BHATNAGAR et al., 2017; SOMANI et al., 2018) indicaram que as FTSMA são suscetíveis à contaminação por elementos potencialmente tóxicos. Portanto, paralelamente aos estudos da reutilização das FTSMA para diversos fins, incluindo a aplicação em obras geotécnicas, é crucial e recomendado que estas frações sejam analisadas quanto à concentração desses elementos e de outros contaminantes, de modo que seus riscos potenciais de contaminação sejam avaliados.

4. CONCLUSÕES

A pesquisa apresentou a caracterização física e geotécnica das Frações Tipo Solo Mineradas de Aterro (FTSMA) de resíduos sólidos urbanos (RSU) com idade de 8 anos, coletados do aterro sanitário Delta A da cidade de Campinas-SP. A FTSMA-8 apresentou majoritariamente tamanho de partículas nas frações pedregulho e areia e não indicou plasticidade.

Os valores de coeficiente de permeabilidade saturada da FTSMA-8, compactada na energia Proctor Normal, foram da ordem de 10^{-8} cm/s e 10^{-6} cm/s, típicos de solos argilosos e siltosos, indicando potencial para o uso em coberturas minerais finais de aterros sanitários. Os valores de resistência à compressão não confinada da FTSMA-8, compactada na energia Proctor Normal, foram relativamente baixos, no entanto, as deformações axiais foram grandes, expressando comportamentos típicos de solos finos reforçados com materiais fibrosos.

Apesar da FTSMA-8 ter sido classificada como material granular, seu comportamento geotécnico é típico de material fino, provavelmente por sua composição contendo matéria orgânica, plástico, papel, madeira, minerais argilosos, entre outros. No entanto, é necessária a sua análise quanto aos seus parâmetros físico-químicos, biológicos e toxicológicos, que permita avaliar as alterações no meio físico, antes de ser aplicada efetivamente em obras.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FAPESP (2019/01559-8), ao CNPq (Processo 306892/2021-9) e ao SAE/Unicamp pelo fomento à pesquisa e à bolsa de Iniciação Científica, e ao Consórcio Renova e a Prefeitura Municipal de Campinas pelo suporte oferecido.

REFERÊNCIAS

- ABNT (1995). Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6502: “*Rochas e Solos*”. Rio de Janeiro
- ABNT (2004a). Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10004: “*Resíduos Sólidos-Classificação*”. Rio de Janeiro.
- ABNT (2004b) Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10007: “*Amostragem de resíduos sólidos*”. Rio de Janeiro:
- ABNT (2000). Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 14545: “*Determinação do Coeficiente de Permeabilidade de Solos Argilosos à Carga Variável (Método de Ensaio)*”. Rio de Janeiro.
- ABNT (2016a). Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6458: “*Determinação da Massa Específica dos Grãos*”. Rio de Janeiro.
- ABNT (2016b). Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7181: “*Análise Granulométrica*”. Rio de Janeiro.
- ABNT (2016c). Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6459: “*Determinação do Limite de Liquidez*”. Rio de Janeiro.
- ABNT (2016d) Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7180: “*Determinação do Limite de Plasticidade*”. Rio de Janeiro.
- ABNT (2016e). Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7182: “*Solo: Ensaio de Compactação*”. Rio de Janeiro.
- ABNT (2024) Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6457: “*Amostras de Solos - Preparação para Ensaios de Compactação e Ensaios de Caracterização*”. Rio de Janeiro.
- ASTM (2016). American Society for Testing and Materials. D2166 / D2166M-16. “*Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil*”. ASTM International, West Conshohocken, PA.

- ASTM. (2017). American Society for Testing and Materials. “*Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)*”. D2487-17. West Conshohocken.
- BHATNAGAR A, KACZALA F, BURLAKOV J, KRIIPSALU M, HOGLAND M, HOGLAND W (2017) “*Hunting for valuables from landfills and assessing their market opportunities: a case study with Kudjape landfill in Estonia*” in *Waste Management & Research*, Vol.35, n° 6, p.627–635.
- BENATTI, J.C.B.; MIGUEL, M.G. (2013) “*A proposal of structural models for colluvial and lateritic soil profile from southwestern Brazil on the basis of their collapsible behavior*” in *Engineering Geology*. Vol 153, p.1 – 11.
- CHANDANA, N.; GOLI, V.S.N.S.; MOHAMMAD, A.; SINGH, D.N. (2021) “*Characterization and Utilization of Landfill-Mined-Soil-Like-Fractions (LFMSF) for Sustainable Development: A Critical Appraisal*” in *Waste Biomass Valor*, Vol. 12, p. 641–662.
- DATTA, M., SOMANI, M., RAMANA, G. V.; SREEKRISHNAN, T. R. (2021). “*Feasibility of re-using soil-like material obtained from mining of old MSW dumps as an earth-fill and as compost*” in *Process Safety and Environmental Protection*, Vol. 147, p.477-487.
- FORD, S.; WARREN, K.; READ, A. (2013) “*An evaluation of the feasibility and viability of landfill mining and reclamation (LFMR) from UK perspective*” in *Sardinia 2013, Fourteenth International Waste Management and Landfill Symposium*, Cagliari, Italy.
- GAVELYTE, S., DACE, E., BAZIENE, K. (2016) “*The effect of particle size distribution on hydraulic permeability in a waste mass*” in *Energy Procedia*, Vol. 95, p.140-144
- HOGLAND, W., MARQUES, M., NIMMERMARK, S. (2004) “*Landfill mining and waste characterization: a strategy for remediation of contaminated areas*” in *Journal of Materials Cycles Waste Management*, Vol. 6, n° 2, p. 119–124.
- JANI, Y., KACZALA, F., MARCHAND, C., HOGLAND, M., KRIIPSALU, M., HOGLAND, W., KIHLE, A. (2016) “*Characterisation of excavated fine fraction and waste composition from a Swedish landfill*” in *Waste Management & Research*. Vol. 34, n° 12, p.1292–1299.
- KAARTINEN, T., SORMUNEN, K., RINTALA, J. (2013) “*Case study on sampling, processing and characterization of landfilled municipal solid waste in the view of landfill mining*” in *Journal of Cleaner Production*, Vol. 55, p.56–66.
- KROOK, J.; SVENSSON, N.; EKLUND, M. (2012) “*Landfill mining. A critical review of two decades of research*” in *Waste Management*, Vol. 32, p.513–520.
- KURIAN, J.; ESAKKU, S.; NAGENDRAN, R. (2007) “*Mining compost from dumpsites and bioreactor landfills*” in *International Journal of Environmental Technology and Management*, Vol. 7, p.317–325.
- LEME, M.A.G., TAKEDA, C.M., SILVA, K.G., SILVA, J.C.V., MIGUEL, M.G. (2021) “*Gravimetric Characterization of Brazilian Municipal Solid Waste Mined from Landfill for Assessment of Reuse Potential*” in *18th International Symposium on Waste Management and Sustainable Landfilling. Sardinia2021, Cagliari/Itália: CISA Publisher*.
- LEME, M.A.G. (2023) “*Avaliação energética, agrícola e ambiental do grupo dos constituintes facilmente degradáveis de resíduos sólidos urbanos minerados em aterro sanitário*”, Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, 240p.
- LIU, Q., LI, Q., WANG, N., LIU, D., ZAN, L., CHANG, L., GOU, X., WANG, P. (2018) “*Bioremediation of petroleum contaminated soil using aged refuse from landfills*” in *Waste Management* Vol. 77, p.576–585. 2018.
- MANDPE, A.; PRATAP, V.; LAKSHMIKANTHAN, P. (2021) Chapter 9 Landfill mining. *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering*. Elsevier, 2021.
- MASI, S., CANIANI, D., GRIECO, E., MANCINI, I.M. (2014) “*Assessment of the possible reuse of MSW coming from landfill mining of old open dumpsites*” in *Waste Management*, Vol. 34, n° 3, p.702–710.

- MIGUEL, M. G.; BONDER, B. H. (2012) “*Soil-Water Characteristic Curves Obtained for a Colluvial and Lateritic Soil Profile Considering the Macro and Micro Porosity*” in Geotechnical and Geological Engineering, Vol.30, p.1405 – 1420.
- MÖNKÄRE, T.J., PALMROTH, M.R.T., RINTALA, J.A. (2016) “*Characterization of fine fraction mined from two Finnish landfills*” in Waste Management, Vol.47, p.34–39.
- NASCIMENTO, J.C F. (2007) “*Comportamento mecânico de Resíduos Sólidos Urbanos*”. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geotecnia. Escola de Engenharia de São Carlos/USP. 160p.
- OETTLE NK, MATASOVIC N, KAVAZANJIAN E, ET AL. (2010) “*Characterization and placement of municipal solid waste as engineered fill*”, in Global Waste Management Symposium, 3–6 October, 2010, San Antonio, Texas.
- OLIVEIRA, L.A. de, SCHNEIDER, J., ROMEIRO, D.C., MIGUEL, M.G. (2024) “*Chemical characterization of landfill-mined-soil-like-fractions (LFMSF) for application as fertilizer or soil conditioner*” in 3º Congresso Internacional de Engenharia Ambiental. 3CIEA.Porto Alegre, Brasil, Vol.1D, p.113-121.
- PRECHTHAI, T.; PARKPIAN, P.; VISVANATHAN, C. (2008) “*Assessment of heavy metal contamination and its mobilization from municipal solid waste open dumping site*” in Journal of Hazardous Materials, Vol. 156, nº. 1, p. 86–94.
- QUAGHEBEUR, M., LAENEN, B., GEYSEN, D., NIELSEN, P., PONTIKES, Y., VAN GERVEN, T., SPOOREN, J. (2013) “*Characterization of landfilled materials: screening of the enhanced landfill mining potential*”. Journal of Cleaner Production, Vol. 55, p.72– 83.
- RAWAT, P.; MOHANTY, S. (2022) “*Parametric Study on Dynamic Characterization of Municipal Solid Waste Fine Fractions for Geotechnical Purpose*” in Journal of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste, Vol. 26.
- RONG, L.; ZHANG, C.; JIN, D.; DAI, J. (2017) “*Assessment of the potential utilization of municipal solid waste from a closed irregular landfill*” in Journal of Cleaner Production, Vol.142, p.413–419.
- SINGH, A., CHANDEL, M.K., (2020) “*Effect of ageing on waste characteristics excavated from an Indian dumpsite and its potential valorisation*” in Process Safety and Environmental protection, Vol.134, p.24–35.
- SOMANI, M., DATTA, M., RAMANA, G.V., SREEKRISHNAN, T.R. (2018) “*Investigations on fine fraction of aged municipal solid waste recovered through landfill mining: case study of three dumpsites from India*”. Waste Management & Research Vol. 36, nº 8, p.744–755.
- SONG, Y.S., YUN, J.M., HONG, W.P., KIM, T.H. (2003) “*Investigation of solid waste soil as road construction material*” in Environmental Geology, Vol. 44, nº 2, p.203–209.
- UDENI P. NAWAGAMUWA., R.W.U. NUWANSIR. (2014) “*Compaction Characteristics of Municipal solid Wastes at Open Dump Sites in Sri Lanka*” in Geoenvironmental Engineering GSP 241, ASCE, p.110-119.
- VASANT, H. (2017) “*Use of municipal solid waste in embankment*”, in Workshop on Geoenvironment: Landfills and Waste-to-Resources, 19 April, IIT Delhi, India.
- WOLFSBERGER, T., ALDRIAN, A., SARC, R., HERMANN, R., HÖLLEN, D., BUDISCHOWSKY, A., ZÖSCHER, A., RAGOBNIG, A., POMBERGER, R. (2015) “*Landfill mining: resource potential of Austrian landfills— evaluation and quality assessment of recovered municipal solid waste by chemical analyses*” in Waste Management & Research, Vol. 33, nº 11, p.962-974.
- ZHOU, C., XU, W., GONG, Z., FANG, W., CAO, A. (2015) “*Characteristics and fertilizer effects of soil-like materials from landfill mining*” in CLEAN–Soil Air Water Vol. 43, nº 6, p.940–947.