

# [[ESTUDO DO EFEITO DA ADIÇÃO DE PARTÍCULAS DE VIDRO, PROVENIENTES DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS ATERRADOS, NAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E PROPRIEDADES GEOTÉCNICAS DE UM SOLO FINO]]

Palavras-Chave: [[REUSO DE VIDRO ATERRADO]], [[MINERAÇÃO DE ATERROS]], [[CARACTERIZAÇÃO DE SOLOS]]

Autoras:

VITÓRIA BARBOSA NG DEEP [UNICAMP]

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> MIRIAM GONÇALVES MIGUEL (orientadora) [UNICAMP]

---

## INTRODUÇÃO:

O Brasil gerou cerca de 82,5 milhões de toneladas de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) em 2020, um aumento significativo em relação ao ano anterior, de cerca de 79 milhões de toneladas de resíduos em 2019 (ABRELPE, 2021). A composição dos RSU é variada, com materiais recicláveis e não recicláveis. Dentre os materiais recicláveis, é possível encontrar plástico, metal, papel e vidro que apresentam porcentagens de massa úmida de 50,4%, 35,9%, 13,3% e 0,4%, respectivamente (ANCAT, 2021). A composição gravimétrica em base úmida dos RSU brasileiros apresenta plástico com 16,8%, papel/papelão com 10,4%, vidro com 2,7% e metais com 2,3% (ABRELPE, 2021), ou seja, cerca de um terço do total de RSU produzido é material que pode ser reciclado.

A mineração de aterros (*landfill mining*) visa escavar materiais aterrados para reutilização e reciclagem, levando em consideração o estado de aterramento desses materiais, os custos envolvidos e a receita resultante. Sendo assim, esta técnica pode ser uma alternativa para a recuperação de materiais recicláveis aterrados.

O vidro extraído de RSU depositados em aterros sanitários é encontrado em uma variedade de formas, cores e tamanhos, como garrafas inteiras de vidro até fragmentos de vidro de diversos tamanhos. Esses materiais atingem uma distribuição granulométrica mais uniforme quando triturados e podem representar uma fração de areia e brita, dependendo das peneiras utilizadas na trituração.

Na literatura técnico-científica, poucos estudos avaliaram o comportamento geomecânico de misturas de partículas de vidro e agregados reciclados com solo fino ( $D < 0,075\text{mm}$ ) e suas aplicações na engenharia geotécnica e rodoviária e nenhum deles considerou o uso de resíduos de vidro previamente aterrados. Ademais, a porcentagem de partículas de vidro adicionada é aleatória, e ainda

não há consenso sobre a faixa para demonstrar melhorias na resistência ao cisalhamento e na capacidade de suporte para os solos finos.

Dessa forma, essa pesquisa busca avaliar características físicas e propriedades geotécnicas de um solo fino adicionado com partículas de vidros, minerados do aterro sanitário Delta A de Campinas-SP, visando a sua melhoria para aplicação em obras geotécnicas e ambientais.

## **METODOLOGIA:**

### **a) MATERIAIS**

O solo utilizado neste projeto é comum na região de Campinas-SP, sendo coletados cerca de 30kg no campus da Unicamp em Campinas (22° 49 '03 ``S, 47° 04' 11"W), em uma profundidade de cerca de meio metro com auxílio de pás e posteriormente armazenado em sacos hermeticamente fechados e levados para o laboratório.

O vidro foi retirado de uma amostra representativa de cerca de 300 kg de RSU aterrado com idade de 8 anos do Aterro Sanitário Delta A na cidade de Campinas. Essa amostra apresentou composição gravimétrica em 25 categorias, sendo uma delas o vidro, compondo 2,768% da amostra em base seca, ou seja, cerca de 8,3 kg (LEME et al, 2021). A categoria vidro (Figura 1) foi triturada em um moinho granulador marca Rone (modelo N.300, motor trifásico 10 CV, 220V, 4 polos, IP55, 60Hz) até obter uma amostra com diâmetro menor de 3 mm (Figura 2). Depois, pelo método de quarteamento foi separado cerca de 1kg de vidro e peneirado num conjunto de peneiras (4,8 mm, 2 mm, 1,2 mm, 0,6 mm, 0,42 mm, 0,25 mm, 0,15 mm e 0,075 mm) e selecionado a quantidade referente a fração areia, segundo a NBR 6502 (ABNT, 1995), ou seja, o material passante na peneira 2mm e retido na peneira 0,075mm).

As misturas de solo e vidro foram preparadas nos traços em base seca: solo + 5%vidro (M1), solo + 10% de vidro (M2) e solo + 15% de vidro (M3), no Laboratório de Mecânica dos Solos e Estradas/FECFAU/Unicamp.



*Figura 1 – Categoria vidros aterrados*



*Figura 2 - Categoria vidros aterrados após trituração (D < 3mm)*

## b) MÉTODOS

Os seguintes ensaios de caracterização física e geotécnica foram executados:

- massa específica de grãos seguindo a NBR 6508 (ABNT, 1984) para o vidro, solo e misturas;
- granulometria para o vidro, solo e misturas, por meio da recomendação da NBR 7181 (ABNT, 2016a). Para o solo, os ensaios foram feitos com e sem a adição de defloculante na fase de sedimentação.
- limite de plasticidade para o solo e misturas, de acordo com a NBR 7180 (ABNT, 2016b);
- limite de liquidez para o solo e misturas, de acordo com a 6459 (ABNT, 2016c)

## RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Os valores médios de massa específica dos grãos ( $\gamma_s$ ) para todas as amostras estão apresentados na Tabela 1. A adição de vidro no solo nos teores estudados (5%, 10 % e 15%) não afetou significativamente a massa específica dos grãos, visto que a diferença dos valores das misturas para o solo foi inferior a 0,1 g/cm<sup>3</sup>.

Material Determinação	Vidro	Solo	M1 (solo + 5%vidro)	M2 (solo + 10%vidro)	M3 (solo + 15%vidro)
$\gamma_{s,1}$ (g/cm <sup>3</sup> )	2,511	2,909	2,950	2,916	3,058
$\gamma_{s,2}$ (g/cm <sup>3</sup> )	2,476	2,925	3,020	2,953	2,919
$\gamma_{s,3}$ (g/cm <sup>3</sup> )	2,540	-	-	-	-
$\gamma_{s,média}$ (g/cm <sup>3</sup> )	2,509	2,917	2,987	2,935	2,989

Tabela 1 – Valores de massa específica dos grãos

As curvas granulométricas de todas as amostras estão apresentadas no gráfico representado pela Figura 3. As porcentagens das frações granulométricas, segundo a NBR 6502 (ABNT, 1995), estão apresentadas na Tabela 2, assim como a classificação textural das amostras. Na mesma Tabela 2, são apresentados os valores de Limite de Liquidez (LL), Limite de Plasticidade (LP) e Índice de Plasticidade (IP) para as amostras e suas classificações pelo Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS).

A classificação textural do solo com e sem defloculante é alterada devido a presença de microagregações, ou seja, presença de cimentações naturais, principalmente de óxidos de ferro, em partículas finas (siltes e argilas). Dessa maneira, a granulometria do solo sem defloculante minimizou a porcentagem de partículas de argila e silte, as quais estão cimentadas apresentando tamanhos de grãos maiores, em frações de siltes e areias (Tabela 2).

A adição de vidro aterrado não causou mudança relevante na classificação textural, visto que as misturas permaneceram classificadas como siltes areno-argilosas como o solo com defloculante. Houve um aumento da fração areia nas misturas devido a adição do vidro que é representado pela fração de areia, porém essa adição não ocasionou alteração na classificação textural.

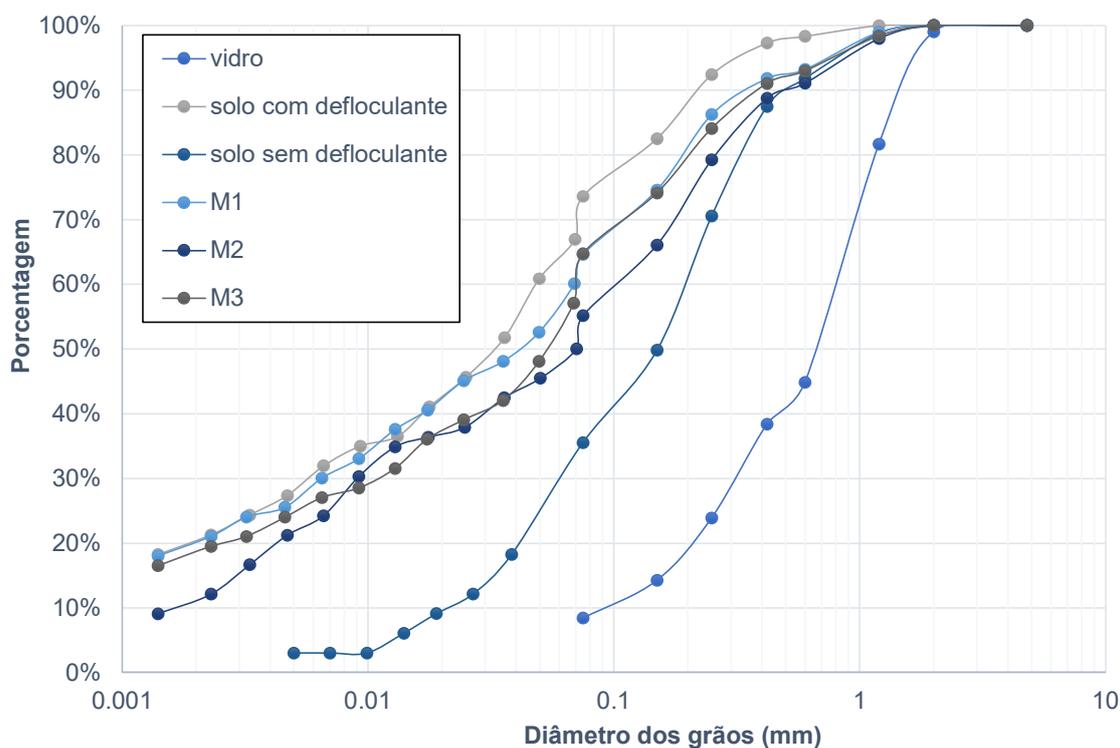


Figura 3 - Curvas granulométricas das amostras de vidro, solo, M1, M2 e M3

Material		Vidro	Solo (sem defloculante)	Solo (com defloculante)	M1	M2	M3
Fração granulométrica							
Argila (%)		0,0	0,0	20,2	20,0	11,0	18,8
Silte (%)		0,0	29,1	44,5	37,7	38,0	36,1
Areia (%)	Fina	19,0	32,5	23,3	23,6	24,8	25,2
	Média	27,3	30,4	10,3	12,2	17,7	13,1
	Grossa	52,6	7,9	1,7	6,3	8,4	6,8
Pedregulho (%)		1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Classificação textural		Areia	Areia siltosa	Silte areno-argiloso	Silte areno-argiloso	Silte areno-argiloso	Silte areno-argiloso
LL (%)		-	41	-	40	41	42
LP (%)		-	31	-	31	30	31
IP		-	10	-	9	11	11
SUCS		SW	SM	ML	ML	SM	ML

Tabela 2 – Resultados dos ensaios granulométricos e de consistência e as classificações das amostras. (SW - areia bem graduada, SM - areia siltosa, ML - silte de baixa compressibilidade)

A adição de vidro também não causou alterações consideráveis nos valores de limites de consistência do solo, apontando uma redução de 11,47% do IP da mistura de solo com 5% de vidro. As misturas (M1, M2 e M3) apresentaram praticamente a mesma classificação SUCS que o solo com defloculante, com exceção da M2. Isso porque, a fração areia na M2 apresentou pouco mais que 50% (50,9%), ou seja, maior que a fração fina, portanto, mudando a classificação SUCS.

## CONCLUSÕES:

A adição de vidro aterrado e triturado em um solo fino, nos teores de 5%, 10% e 15%, não alterou de modo significativo o valor da massa específica dos grãos, nem os valores de limites de liquidez e de plasticidade. O solo foi classificado texturalmente como areia siltosa, com o uso de defloculante na fase de sedimentação do ensaio granulométrico, e como silte areno-argiloso, sem o uso do defloculante. Esse fato indica a presença de microagregações no solo, culminando no aumento do tamanho das partículas quando submetido ao ensaio de sedimentação sem o defloculante. O vidro foi classificado como areia, e as misturas, embora com aumento da fração de areia, mantiveram a classificação textural do solo com defloculante, isto é, como areia siltosa. O SUCS indicou para o vidro a classificação de uma areia bem graduada (SW) e para o solo com e sem defloculante, as classificações de silte de baixa compressibilidade (ML) e areia siltosa (SM), respectivamente. As misturas mantiveram a classificação do solo com defloculante, com exceção da mistura com 10% de vidro, classificada como areia siltosa (SM), devido a um pequeno aumento na fração areia em relação as demais misturas.

## BIBLIOGRAFIA:

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6502: **Rochas e Solos - Terminologia**. Rio de Janeiro. 1995.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6508: **Grãos de Solos Que Passam Na Peneira de 4,8mm - Determinação da Massa Específica**. Rio de Janeiro. 1984.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7181: **Análise Granulométrica**. Rio de Janeiro. 2016a.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7180: **Determinação do Limite de Plasticidade**. Rio de Janeiro. 2016b.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6459: **Determinação do Limite de Liquidez**. Rio de Janeiro. 2016c.
- ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**, 2021.
- ANCAT - Associação Nacional dos Catadores e Catadoras de Materiais Recicláveis. **Anuário da Reciclagem**. 2021. Disponível em: <http://anuariodareciclagem.eco.br/interna>.
- LEME, M. A. G.; TAKEDA, C. M.; SILVA, K. G.; SILVA, J. C. V.; MIGUEL, M.G. **Gravimetric Characterization of Brazilian Municipal Solid Waste Mined from Landfill for Assessment of Reuse Potential** In: Sardinia 2021, 2021, Cagliari/Itália. 18th International Symposium on Waste Management and Sustainable Landfilling. Cagliari/Itália: CISA Publisher, 2021.