XXII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
XI Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
24 a 28 de agosto de 2026 – Brasília/DF

DOI: 10.47094/COBRAMSEG2026.6/92

Estudo de caso sobre sondagens SPT para amostragem de RSU de aterros sanitários

Ana Paula do Nascimento
Doutoranda, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Faculdade de Engenharia de Bauru, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Bauru, Brasil, paula.nascimento@unesp.br

Mariana Barbosa Juarez
Professora Auxiliar, Instituto Mauá de Tecnologia (IMT), Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Bauru, Brasil, mariana.juarez@unesp.br

Heraldo Luiz Giacheti
Professor Titular, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Faculdade de Engenharia de Bauru, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Bauru, Brasil, h.giacheti@unesp.br

Giulliana Mondelli
Professora Associada, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Faculdade de Engenharia de Bauru, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Bauru, Brasil, g.mondelli@unesp.br

RESUMO: As técnicas de valorização de resíduos são essenciais para mitigar os impactos ambientais e a saúde associados aos aterros sanitários e para alcançar os objetivos da economia circular. À medida que aumenta o número de aterros encerrados e de passivos ambientais, tornam-se cada vez mais necessárias práticas sustentáveis de disposição final e da gestão de resíduos sólidos urbanos (RSU) aterrados. Este trabalho discute o emprego de sondagens de simples reconhecimento com execução de SPT para amostragem de RSU dispostos em diferentes camadas do aterro de Bauru, Estado de São Paulo. Foram realizadas três campanhas em diferentes locais, SPTs 1, 2 e 3, atingindo profundidades máximas de perfuração de 14,08 m (8 e 20 anos), 9,45 m (8 e 15 anos) e 8,45 m (8 e 15 anos), respectivamente. Amostras de resíduos e de chorume foram coletadas em diversas profundidades. O peso específico obtido a partir do amostrador SPT variou de 9 kN/m³ a 23 kN/m³, com teor de umidade entre 7% e 360%. De modo geral, a média desses resultados confirmam a presença de chorume em bolsões formados no interior do maciço e os pesos específicos apresentam valores superiores ao reportados na literatura. Os resultados foram discutidos quanto à viabilidade e à aplicabilidade dessa abordagem para a amostragem de resíduos, visando a caracterização adicional e a compreensão do comportamento de aterros sanitários em clima tropical.

PALAVRAS-CHAVE: caracterização geoambiental, residuos sólidos urbanos, ensaios de campo, aterros sanitários

ABSTRACT: Waste valorization techniques are essential for mitigating the environmental and public health impacts associated with landfills and for achieving circular economy goals. As the number of closed landfills and environmental liabilities increases, sustainable practices for the final disposal and management of landfilled municipal solid waste (MSW) become increasingly necessary. This study discusses the use of Standard Penetration Test (SPT) borehole investigations for sampling MSW disposed at different landfill layers in the Bauru landfill, São Paulo State, Brazil. Three field campaigns were conducted at different locations, designated as SPT-1, SPT-2, and SPT-3, reaching maximum drilling depths of 14.08 m (8–20 years old waste), 9.45 m (8–15 years old waste), and 8.45 m (8–15 years old waste), respectively. Waste and leachate samples were collected at several depths. The unit weight obtained from the SPT sampler ranged from 9 to 23 kN/m³, while moisture content varied from 7% to 360%. Overall, the average results confirmed the presence of leachate accumulated in localized pockets within the waste mass, and the unit weight values were higher than those reported in the literature. The results were discussed regarding the feasibility and applicability of this approach for waste sampling, aiming to support additional characterization and improve the understanding of landfill behavior under tropical climate conditions.

KEYWORDS: Geoenvironmental characterization; Municipal solid waste; Field testing; Sanitary landfills.

1 INTRODUÇÃO

A caracterização de aterros de resíduos sólidos urbanos (RSU) envolve a avaliação de seu comportamento geotécnico e geoambiental. Essas investigações de campo são essenciais para a valorização de resíduos por meio da mineração de aterros e de estudos de recuperação energética a partir do biogás, bem como para o monitoramento contínuo das variações espaciais e temporais, de modo a subsidiar análises de estabilidade e otimizar o projeto de futuros aterros sanitários.

As propriedades físicas (por exemplo, densidade, porosidade, teor de umidade e grau de saturação) estão diretamente correlacionadas às interações complexas entre as fases sólida (inerte e degradável), líquida e gasosa presentes no RSU. As propriedades mecânicas são influenciadas pela composição dos resíduos, pela distribuição granulométrica das partículas e pelo teor de umidade. O excesso de poropressão decorrente da geração de chorume e de gases durante a decomposição da matéria orgânica pode reduzir a resistência ao cisalhamento, levando a instabilidades de taludes (Zhang et al., 2020).

A determinação de parâmetros confiáveis e a compreensão dos processos hidro-bio-mecânicos acoplados no RSU requerem a integração de diferentes métodos, de forma a superar as limitações individuais de cada um (Juarez et al., 2023). A coleta de amostras é necessária para validar e calibrar ensaios *in situ* e levantamentos geofísicos.

Matasovic e Kavazanjian (1998) analisaram amostras de RSU reconstituídas do aterro Oll, na Califórnia, EUA, utilizando três sondagens com trado caçamba (trado tipo concha), de 840 mm de diâmetro, até a profundidade de 45 m, além de uma trincheira escavada com 6 m de comprimento e 6 m de profundidade. Uma investigação conduzida no aterro Tri-Cities, também localizado na Califórnia, incluiu duas sondagens com trado caçamba de 960 mm, atingindo profundidades entre 10 e 32 m (Zekkos et al., 2010). Abreu e Vilar (2017) empregaram duas técnicas de amostragem: trincheiras para resíduos superficiais e trados helicoidais ocos, com diâmetros de 290 e 350 mm, para resíduos profundos. Owusu-Nimo et al. (2019) coletaram amostras em profundidades variando entre 0,4 e 1,5 m no aterro de Oti, em Kumasi, Gana, por meio da cravação de um tubo cilíndrico metálico de 150 mm de diâmetro no solo, utilizando um martelo.

Este estudo tem como objetivo avaliar a aplicabilidade da sondagem de simples reconhecimento com execução de SPT para a amostragem de RSU. A breve revisão da literatura revelou informações limitadas sobre esse tema. A ausência de métodos e diretrizes específicas para a amostragem e a mineração de RSU constitui um desafio para o avanço dos estudos de caracterização desses resíduos, ressaltando a necessidade de propor e testar abordagens inovadoras.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área do estudo

O aterro de resíduos sólidos urbanos (RSU) de Bauru iniciou suas operações em 1993. O Estudo de Impacto Ambiental (EIA) previu três camadas de resíduos e um sistema de impermeabilização de fundo constituído por solo arenoso argiloso compactado, revestido com emulsão asfáltica (FIPAI, 1992). Presume-se que a primeira e a segunda camadas tenham sido concluídas ao longo de uma década, uma vez que as atividades na terceira camada foram registradas entre 2002 e 2004. Em 2011, o órgão ambiental estadual aprovou o plano de encerramento do local, que limitou a disposição de resíduos até a quinta camada e a uma área adjacente, a qual possui revestimento de fundo com geossintéticos (CETESB, 2011). A desativação oficial ocorreu em 2016, quando o fluxo de resíduos foi redirecionado para o município vizinho de Piratininga.

Durante muitos anos, o chorume foi coletado pelo sistema de drenagem, conduzido a um reservatório inferior e bombeado para um reservatório superior localizado no topo da terceira camada. Parte desse chorume infiltrava-se na massa de resíduos, promovendo a recirculação de fluidos (Lopes, 2007). Em 2007, tanques de sedimentação foram construídos a montante e fora da área de disposição, a fim de atender às exigências ambientais e permitir a expansão das camadas subsequentes. Em 2014, aproximadamente 290 m³ de chorume eram coletados mensalmente e encaminhados para estações de tratamento (BAURU, 2014).

Pesquisas anteriores, integrando ensaios laboratoriais, ensaios *in situ* e métodos geofísicos, delimitaram uma pluma de contaminação deslocando-se ao longo de um caminho de fluxo no sentido leste-oeste (Lago et

al., 2006; Mondelli et al., 2007; Ustra et al., 2012). A geologia nessa direção indica uma transição de solos coluvionares, predominantemente areno-argilosos de coloração marrom-avermelhada, para solos aluvionares com intercalações de camadas de areia e argila. Até o momento, não há registros de ensaios de campo e de laboratório voltados à análise das condições do RSU aterrados.

2.2 Sondagem de simples reconhecimento com execução de SPT

As sondagens de simples reconhecimento com execução de SPT foram realizadas no aterro de resíduos sólidos urbanos de Bauru em 2023 (SPT-1), 2024 (SPT-2) e 2025 (SPT-3), conforme apresentado na Figura 1. Em razão da ausência de procedimentos padronizados específicos para resíduos, os critérios de término do ensaio seguiram aqueles estabelecidos para solos pela NBR 6484 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2020), ou a profundidade máxima estimada do aterro, de 15 m, de modo a evitar atingir o sistema de impermeabilização de fundo.

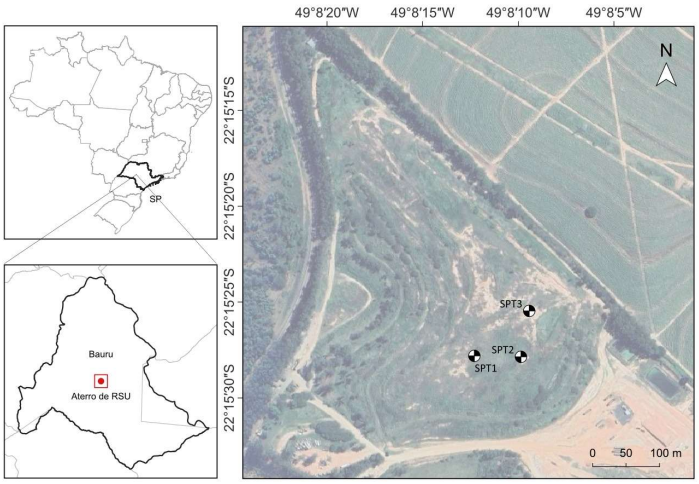


Figura 1. Localização das sondagens SPT (SPT-1, 2023; SPT-2, 2024; SPT-3, 2025) na área de disposição de resíduos sólidos urbanos de Bauru-SP

2.1.1 Amostragem

A Figura 2 apresenta o equipamento de sondagem de simples reconhecimento com execução de SPT, incluindo o sistema de tripé e o amostrador padrão bipartido SPT com amostras "embuchadas" de RSU, bem como o furo de sondagem SPT com diâmetro de 53 mm jorrando lixiviado de dentro do maciço de RSU. Após a coleta a cada metro, as amostras de RSU foram armazenadas de acordo com as diversas profundidades de coleta, em embalagens plásticas mantidas sob refrigeração, e transportadas para o Laboratório de Resíduos Sólidos do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Unesp, campus de Bauru, para a realização de ensaios laboratoriais futuros, incluindo análises físico-químicas do chorume.



Figura 2. Equipamento utilizado, incluindo o sistema tripé, o amostrador padrão bipartido e furo da sondagem SPT jorrando lixiviado do interior do maciço.

2.1.2 *Peso específico do RSU e Teor de Umidade*

Foram realizadas estimativas de peso específico *in situ* (γ) com um total de 15 amostras em duplicadas de RSU (6 amostras SPT-1, 4 amostras SPT-2 e 5 amostras SPT-3), coletadas por meio das sondagens. O volume foi calculado com base no comprimento da amostra de RSU (L_{RSU}), ao invés do comprimento do amostrador padrão SPT (ou seja, levando em consideração o efeito de embuchamento), conforme descrito na Equação 1:

$$\gamma = M_{RSU} / V_{RSU} = M_{RSU} / (0.25\ \pi\ D^2\ L_{RSU}) \qquad (1)$$

onde:
γ – peso específico RSU (kN/m^3);
M_{RSU} – massa total de RSU coletado com amostrador padrão bipartido (kg);
V_{RSU} – volume calculado da amostra de RSU (m^3);
D – diâmetro do amostrador padrão bipartido igual a 34,9 mm (m);
L_{RSU} – comprimento da amostra de RSU medido *in situ* (m).

O procedimento utilizado para calcular o teor de umidade (w) das amostras seguiu a norma ASTM D2216-19 (ASTM International, 2019) e ABNT NBR 6457 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2024) utilizada para solos, com adaptações, já que não existe normas específicas para este tipo de material (Nascimento et al., 2025). O teor de umidade (base seca) foi estimado, após secagem em estufa à 105ºC, utilizando a Equação 2:

$$w = [(M - M_{105}) / (M_{105} - M_c)] \times 100 \qquad (2)$$

onde:
w – teor de umidade (%);
M – massa total da amostra de RSU (g);
M_{105} – massa da amostra após secagem à 105ºC (g);
M_C – massa do cadinho (g).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As sondagens foram realizadas no maciço de RSU até atingir o impenetrável, conforme a ABNT NBR 6484/2020. Foram executadas três sondagens, sendo que a profundidade máxima alcançada na primeira sondagem (SPT-1) foi de 14,08 m; na segunda sondagem (SPT-2), de 9,45 m; e na terceira sondagem (SPT-3), de 8,45 m. Em ambos os casos, o impenetrável foi alcançado quando atingiu-se cinco golpes sucessivos com o martelo de 75 kg (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2020), não havendo possibilidade de cravação do amostrador padrão, em razão da elevada resistência do RSU, provavelmente devido à presença de componentes rígidos.

Como mostrado nao Figura 3, foi observado o efeito do embuchamento durante as coletas de RSU. Este fenômeno foi atribuído à composição heterogênea do material, rigidez e tamanhos variáveis das partículas de RSU dentro do maciço de RSU.



Figura 3. Vista do amostrador padrão bipartido com amostras de RSU embuchadas

A Tabela 1 apresenta as características de todas as amostras coletadas em diversas profundidades durante as sondagens de simples reconhecimento com execução de SPT, tanto pelo amostrador padrão (0,45m), como por trado manual simples (0,55 m).

Tabela 1. Amostragem de RSU em diversas profundidades, quantidade coletada e estimativa da idade aproximada do RSU

Amostragem sondagem SPT	**Prof. (m)**	**Quantidade RSU (g)**	**Idade Estimada aterramento (anos)**	**Peso específico *in situ* γ (kN/m^3)**	**Teor de umidade W_{105} (%)**
SPT-1 (2023)	0,50 – 1,00	316,5	8 – 10	22,42	7,4 ± 0,2
	1,00 – 1,45	458,8	8 – 10	19,32	30,1 ± 5,4
	1,45 – 2,00	1101,4	8 – 10		30,3 ± 1,2
	2,00 – 2,45	377,5	8 – 10	23,34	29,7 ± 3,9
	2,45 – 3,00	1253,1	8 – 10		31,5 ± 0,1
	3,45 – 4,00	153,3	8 – 10		60,8 ± 7,8
	4,45 – 5,00	380,4	10 – 15		94,6 ± 1,8
	5,45 – 6,00	69,4	10 – 15		103,2 ± 5,4
	6,00 – 7,00	155,5	10 – 15	15,91	94,6 ± 1,8
	10,00 – 12,00	28,5	15 – 20		360,6 ± 31,1
	12,00 – 13,00	916,0	15 – 20	19,15	50,9 ± 10,1
	13,00 – 14,08	248,1	15 – 20	17,37	35,7 ± 3,0
SPT-2 (2024)	0,00 – 1,00	2897,1	8 – 10		13,3 ± 0,4
	1,45 – 2,00	1756,8	8 – 10		59,1 ± 3,2
	2,45 – 3,00	99,7	8 – 10		90,1 ± 9,7
	3,00 – 3,45	725,3	8 – 10	19,45	31,0 ± 2,4
	3,45 – 4,00	1405,2	8 – 10		67,8 ± 10,4
	4,00 – 4,45	245,5	10 – 15	14,26	51,8 ± 1,7
	4,45 – 5,00	468,9	10 – 15		74,5 ± 13,6
	5,45 – 6,00	3307,7	10 - 15		51,9 ± 2,8
	8,00 – 8,45	175,0	10 – 15	9,15	68,3 ± 20,5
	9,00 – 9,45	87,5	10 – 15	13,07	50,1 ± 7,2
SPT-3 (2025)	0,00 – 0,50	645,9	8 – 10		31,0 ± 11,3
	0,50 – 1,00	828,4	8 – 10		34,8 ± 9,0
	1,00 – 1,45	398,8	8 – 10	26,07	25,7 ± 6,9
	1,45 – 2,00	304,0	8 – 10		54,2 ± 1,3
	2,45 – 3,00	261,0	8 – 10		142,3 ± 15,0
	3,45 – 4,00	248,6	8 – 10		122,4 ± 15,6
	4,45 – 5,00	288,0	10 – 15		190,0 ± 12,3
	5,00 – 5,45	618,7	10 – 15	24,89	48,8 ± 10,6
	5,45 – 6,00	187,4	10 – 15		188,9 ± 18,2
	6,00 – 6,45	522,8	10 – 15	17,64	54,3 ± 15,7
	6,45– 7,00	1979,4	10 – 15		84,6 ± 19,1
	7,00 – 7,45	163,0	10 – 15	14,21	48,6 ± 15,4
	8,00 – 8,45	305,3	10 – 15	22,81	71,3 ± 6,9

Estima-se que a 5ª camada (4m) de RSU foi aterrada entre 2012 e 2014, a 4ª camada (5m) entre 2008 e 2011, e a 3ª camada (5m) entre 2003 e 2007, o que induz a estimar a idade do RSU, para profundidade de perfuração entre 0 – 4,0 m, idade entre 8 a 10 anos; profundidade entre 4,0 – 9,0 m, estimativa da idade entre 10 a 15 anos, e para camada mais profunda entre 9,0 – 14,0 m, idade entre 15 a 20 anos (Juarez, 2025).

A Tabela 2 apresenta resumidamente a estimativa do peso específico de RSU *in situ*, idade de aterramento do RSU e o teor de umidade à 105ºC para a temperatura de secagem em estufa.

Tabela 2. Síntese dos índices estimados para as amostras de RSU da área de disposição de Bauru-SP

Índices	SPT-1	SPT-2	SPT-3	Média(1)
Peso específico *in situ* (kN/m³)	19,59	13,98	21,12	18,23
Idade estimada de aterramento do RSU (anos)	8-20	8-15	8-15	8-20
Teor de umidade à 105ºC (%)	77,45	55,79	84,38	72,54

(1) Baseado nas amostras da Tabela 1

Com base em dados da literatura, o teor de umidade estimado neste estudo foi superior àqueles determinados em amostras coletadas em aterros sanitários localizados nos Estados Unidos, os quais apresentaram faixa de variação entre 12% e 41% (Matasovic and Kavazanjian, 1998; Zekkos et al., 2010).

Entretanto, segundo dados de aterros sanitários brasileiros (Abreu, 2015; Boscov, 2008; Machado et al., 2018; Takeda et a., 2022), os valores obtidos neste estudo estão de acordo com aqueles reportados em pesquisas anteriores, que variam entre 30% e 94%. Essa característica provavelmente está associada à quantidade significativa de resíduos orgânicos dispostos em aterros no Brasil (SINISA, 2025), bem como às condições climáticas tropicais, caracterizadas por elevados índices de pluviosidade.k

Os estudos realizados por Zekkos et al. (2010) reportaram valores de peso específico variando entre 5,9 e 17,5 kN/m³ para RSU com idade de aterramento entre 0 e 15 anos. Abreu (2015) observou valores entre 8,1 e 15,2 kN/m³ para RSU com idade de 2 a 25 anos, enquanto Abreu e Vilar (2017) reportaram uma faixa de 5,6 a 10,1 kN/m³ para resíduos com a mesma idade de aterramento. Por sua vez, Reddy et al. (2009) encontraram peso específico de 5,9 kN/m³ para RSU jovens, com aproximadamente 1,5 ano de disposição.

Os valores de peso específico obtidos nesta investigação foram superiores aos reportados na literatura. Esse comportamento pode estar associado, em grande parte, às condições operacionais do aterro estudado, especialmente aos procedimentos de compactação dos resíduos e à execução das camadas de cobertura de solo entre as sucessivas etapas de disposição, a idade dos RSU, a degradação avançada e elevada umidade, além do proprio embuchamento das amostras. Tais práticas influenciam diretamente a densificação da massa de resíduos e, consequentemente, os valores de peso específico observados, os quais deverão ser avaliados em profundidade em trabalhos futuros.

4 CONCLUSÕES

Este estudo mostra tanto as vantagens quanto as limitações da sondagem de simples reconhecimento com excecução de SPT para a amostragem de resíduos sólidos urbanos (RSU). O amostrador padrão bipartido possibilitou a coleta de amostras a cada metro de profundidade, sendo apropriada para a avaliação de camadas mais antigas e profundas em maciços de RSU.

Os desafios incluíram o acesso físico restrito ao topo do aterro, em razão do crescimento da vegetação, bem como a composição heterogênea dos resíduos, que inclui plásticos flexíveis, detritos de borracha e materiais têxteis. Esses materiais não apenas representaram risco de danos aos equipamentos, como também interferiram no volume das amostras, devido à ocorrência do efeito de embuchamento.

Durante a segunda e terceira campanhas de ensaios, muito chorume jorrou sob pressão durante a perfuração. Embora esse evento tenha representado um desafio operacional, também forneceu evidências da presença de bolsões do lixiviado sob a pressão de gases no interior do aterro, indicando a fase metanogênica de degradação dos RSU.

Em razão da escassez de relatos sobre amostragem por meio de sondagens de simples reconhecimento com execução de SPT na literatura e da grande quantidade de resíduos sólidos urbanos (RSU) coletados (23,5 kg), o procedimento adotado foi relevante para o avanço do conhecimento do material e maçico investigado. Essa técnica de amostragem de RSU apresenta algumas vantagens, dentre as quais se destacam o baixo custo de instalação e execução da sondagem SPT, a preservação das características dos resíduos, uma vez que as

amostras coletadas com o amostrador padrão possibilitaram investigar grandes profundidades, a coleta de resíduos degradados e o alcance de diferentes camadas do aterro.

De modo geral, a realização das sondagens SPT em aterros sanitários é viável, capaz de fornecer informações valiosas sobre as condições de degradação dos RSU, além de permitir fazer uma estimativa do peso específico de RSU em regiões tropicais, com valores acima dos reportados na literatura, cujo valor médio foi de 18,23 kN/m^3, e elevado teor de umidade, em média 73%.

Muitas são as oportunidades de pesquisa a partir da execução de mais sondagens de simples reconhecimento com execução de SPT no aterro de Bauru para investigar as camadas mais antigas (1 a 3), bem como a integração desse método com outras técnicas de investigação geotécnica e geofísica. Nesse momento a caracterização geoambiental dos RSU em laboratório, incluindo análise gravimétrica, granulometria, perda de massa por combustão e análises químicas vem sendo realizadas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), à Empresa Municipal de Desenvolvimento Urbano e Rural de Bauru (EMDURB) e à Secretaria Municipal do Meio Ambiente (SEMMA) do Município de Bauru.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abreu, A.E.S. (2015) Investigação geofísica e resistência ao cisalhamento de resíduos sólidos urbanos de diferentes idades. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos / USP, 250p. https://doi.org/10.11606/T.18.2015.tde-03082015-115017.

Abreu, A.E.S., Vilar, O.M. (2017) Influence of composition and degradation on the shear strength of municipal solid waste. Waste Management, 68, p.263-274. http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2017.05.038.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2020). NBR 6484. Solo — Sondagem de simples reconhecimento com SPT — Método de ensaio. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2024). NBR 6457. Solos - Preparação de amostras para ensaios de compactação, caracterização e determinação do teor de umidade. Rio do Janeiro.

ASTM International (2019). ASTM D2216: Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass.

BAURU, 2014. Plano Municipal de Saneamento Básico Variável Limpeza Urbana e Manejo de Resíduos Sólidos. Bauru: PMSB. Disponível em: https://www2.bauru.sp.gov.br/arquivos/arquivos_site/sec_meioambiente/plano_residuos/PMSB%20Bauru_Vs%20Final.pdf. Acesso em: 11 mar. 2025.

Boscov, M. E. G. Geotecnia Ambiental. Oficina de Textos. São Paulo, 2008. ISBN 978-85-86238-73-4. ISBN 978-85-7975-123-3.

CETESB (2011) Parecer Técnico Nº001/2011/LPGP. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. São Paulo, Brasil.

FIPAI (1992) Aterro Sanitário da Cidade de Bauru-SP. EIA-RIMA (Relatório de Impacto Ambiental – Relatório de Impacto do Meio Ambiente, 1 - 5. Fundação para o Incremento da Pesquisa e do Aperfeiçoamento Industrial, São Carlos-SP, Brasil.

Juarez, M.B. (2025) Geotechnical and geoenvironmental site characterization of a municipal solid waste landfill by in situ tests. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental. Faculdade de Engenharia de Bauru, Universidade Estadual Paulista, UNESP. Brasil

Juarez, M.B., Mondelli, G., Giacheti, H.L. (2023) An overview of in situ testing and geophysical methods to investigate municipal solid waste landfills. Environmental Science and Pollution Research, 30(9), p.24779-24789. https://doi.org/10.1007/s11356-023-25203-5.

Lago, A.L.; Elis, V.R.; Giacheti, H.L. (2006) Aplicação integrada de métodos geofísicos em uma área de disposição de resíduos sólidos urbanos em Bauru-SP. Revista Brasileira de Geofísica, 24, p.357-374. https://doi.org/10.1590/S0102-261X2006000300005.

Lopes, A.A. (2008) Estudo da gestão integrada dos resíduos sólidos urbanos na bacia Tietê-Jacaré (UGRHI-13). Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos / USP, 394p. https://doi.org/10.11606/T.18.2007.tde-04032008-125517.

Machado, S.L., Carvalho, M.F., Torres, E.A., Santos, A.C, Karimpour-Fard, M. Briefing: Landfill mining for energy recovery in tropical developing countries. Journal of Environmental Engineering and Science 13(4): p. 93–97. https://doi.org/10.1680/jenes.18.00043.

Matasović, N., & Kavazanjian Jr, E. (1998) Cyclic characterization of OII landfill solid waste. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 124(3), p.197-210. https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(1998)124:3(197).

Mondelli, G., Giacheti, H.L., Boscov, M.E.G., Elis, V.R., Hamada, J. (2007) Geoenvironmental site investigation using different techniques in a municipal solid waste disposal site in Brazil. Environmental Geology, 52, p.871-887. https://doi.org/10.1007/s00254-006-0529-1.

Nascimento, A.P., Wilches, J.M.C., WolfDeMattos, P.S.W., Rodrigues, R.A., Mondelli, G. (2025) Combustion mass loss proceedings for solid waste: some results for MSW and CDW in Brazil. Engenharia Sanitaria e Ambiental, 30, p. 1-9. https://doi.org/10.1590/S1413-415220250080.

Owusu-Nimo, F., Oduro-Kwarteng, S., Hellen Essandoh, H., Wayo, F., Shamudeen, M. (2019) Characteristics and management of landfill solid waste in Kumasi, Ghana. Scientific African 3, p.1-9. https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2019.e00052.

SINISA (2025) Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico. Relatório dos Serviços de Limpeza Urbana e Manejo de Resíduos Sólidos. Disponível em: https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/sinisa/resultados-sinisa/RELATORIO_SINISA_RESIDUOS_SOLIDOS_2025.pdf. Acesso em: 27 jan.2026.

Takeda, C.M., De Godoy Leme, M.A., Romero, D.C. et al. (2022) Variation of the Gravimetric Composition of Landfilled Municipal Solid Waste Over the Time in a Developing Country. Int J Environ Res 16, 83. https://doi.org/10.1007/s41742-022-00463-0.

Ustra, A.T., Elis, V.E., Mondelli, M., Giacheti, H.L. (2012) Case study: a 3D resistivity and induced polarization imaging from downstream a waste disposal site in Brazil. Environmental Earth Sciences, 66, p. 763-772. https://doi.org/10.1007/s12665-011-1284-5.

Zekkos, D., Athanasopoulos, G.A., Bray, J.D., Grizi, A., Theodoratos, A. (2010) Large-scale direct shear testing of municipal solid waste. Waste Management, 30, p.1544-1555. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.01.024.

Zhang, Z., Wang, Y., Fang, Y., Pan, X., Zhang, J., Xu, H. (2020) Global study on slope instability modes based on 62 municipal solid waste landfills. Waste Management & Research, 38(12), p.1389-1404. https://doi.org/10.1177/0734242X20953486.