

DOI: 10.47094/COBRAMSEG2024/425

Uma contribuição para a parametrização geotécnica de maciços de resíduos sólidos urbanos

Flavia de Oliveira Dias

Geóloga Jr., ALTA Geotecnia Ambiental, Rio de Janeiro, Brasil, flavia.dias@altageotecnia.com

Pedro Dionelo Lacerda

Especialista em Recursos Minerais, Agência Nacional de Mineração, Belo Horizonte, Brasil, pedro.lacerda@anm.gov.br

Caio Gak Assumpção Queiroz Rego

Geólogo Jr., ALTA Geotecnia Ambiental, Rio de Janeiro, Brasil, caio.assumpcao@altageotecnia.com

Manuella Galindo

Diretora de Operações, ALTA Geotecnia Ambiental, Rio de Janeiro, Brasil, manuella.galindo@altageotecnia.com

Álvaro de Freitas Viana

Diretor Executivo, ALTA Geotecnia Ambiental, Rio de Janeiro, Brasil, alvaro.viana@altageotecnia.com

RESUMO: Dadas as heterogeneidades dos materiais dispostos e alto poder de degradação biológica, um aterro de resíduos sólidos urbanos (RSU) sofre constantes modificações em suas composições física, química e biológica, com consequências diretas no seu comportamento geomecânico. Diferentemente dos projetos de obras de terra convencionais, onde os parâmetros geotécnicos dos solos e rochas são definidos a partir de investigações geotécnicas e ensaios normatizados, não existe uma padronização no que tange à parametrização de resíduos sólidos urbanos em seus projetos de aterros e análises de estabilidade. Em face ao exposto, este trabalho tem como objetivo fornecer uma maior sensibilidade à parametrização geotécnica de RSU, contribuindo no estado da arte, a partir da aplicação do conhecimento geotécnico associado aos aterros sanitários no tratamento de um banco de dados robusto, construído a partir da consulta de uma elevada quantidade de trabalhos publicados, incorporando o máximo de atributos possíveis associados aos dados gerados. Na etapa inicial foi analisada a população geral dos dados coletados, a partir de resultados gráficos variados e análise estatística descritiva. Os resultados indicaram uma maior frequência de valores de peso específico (γ) no intervalo de de 8 a 10 kN/m³, de coesão (c') no intervalo de 0 a 15 kPa e entre 15° e 30° para o ângulo de atrito (Φ). Apesar das conclusões preliminares, os dados analisados não seguem uma distribuição perfeitamente normal e apresentam *outliers*, isto é, não podem ser considerados totalmente precisos e confiáveis, exigindo uma maior cautela na sua interpretação. Isto se deve a incertezas, associadas, principalmente, com a dificuldade em conduzir ensaios em escalas adequadas e com amostras representativas.

PALAVRAS-CHAVE: Parametrização geotécnica, RSU (Resíduos Sólidos Urbanos), Banco de dados, Estatística.

ABSTRACT: Given the heterogeneities of the disposed materials and their high biological degradation potential, a municipal solid waste (MSW) landfill undergoes constant modifications in its physical, chemical, and biological compositions, directly affecting its geomechanical behavior. Unlike conventional earthwork projects, where geotechnical parameters of soils and rocks are defined through geotechnical investigations and standardized tests, there is no standardization regarding the parameterization of urban solid waste in landfill projects and stability analyses. In view of the above, this work aims to provide greater sensitivity to the geotechnical parameterization of MSW, contributing to the state of the art, through the application of geotechnical knowledge associated with landfills in the treatment of a robust database, built from the consultation of a large number of published works, incorporating as many attributes as possible associated with the generated data. In the initial stage, the general population of collected data was analyzed, based on varied graphical results and descriptive statistical analysis. The results indicated a higher frequency of specific weight (γ) values in the range of 8 to 10 kN/m³, of cohesion (c') in the range of 0 to 15 kPa and between 15°

and 30° for the friction angle (Φ). Despite the preliminary conclusions, the data analyzed do not follow a perfectly normal distribution and present outliers, that is, they cannot be considered completely accurate and reliable, requiring greater caution in their interpretation. This is due to uncertainties, mainly associated with the difficulty in conducting tests on adequate scales and with representative samples.

KEYWORDS: Geotechnical parameterization, MSW (Municipal Solid Waste), Database, Statistics.

1 INTRODUÇÃO

A partir da década de 90 foi percebido uma evolução significativa com relação às técnicas e tecnologias empregadas em aterros sanitários. A maior parte das rupturas (Benvenuto & Cunha, 1991; Richardson and Reynolds, 1991; Eid et al, 2000; Stark et al., 2000) que haviam ocorrido até então envolviam aterros nos quais a fundação era no solo nativo, inexistiam sistema de coleta e drenagem de lixiviados e as boas práticas de engenharia atualmente existentes não eram aplicadas. É importante destacar que esse progresso com relação ao gerenciamento e operação de aterros RSU não é global, entretanto, mesmo em países desenvolvidos como EUA, Alemanha e Canadá, rupturas em aterros sanitários continuam a ocorrer (Kamiji & Oliveira, 2019; Jayaweera et al., 2019), além de muitas rupturas que não são reportadas.

Em contrapartida, é importante notar que a crescente demanda por espaço para disposição de RSU, em conjunto com a escassez de áreas apropriadas em proximidade aos grandes centros produtores, além de raras políticas alternativas de tratamento ou reaproveitamento dos resíduos tem impactado as projeções e operações dos aterros sanitários, principalmente em países em desenvolvimento. Pesquisadores brasileiros ressaltam que estes fatores pressionam uma otimização e prolongamento da vida útil dos aterros, produzindo aterros de grande porte, com alturas elevadas (Strauss, 1998; Carvalho, 1999; Campi & Boscov 2011; Suzuki, 2012). Em conjunto, Kavazanjian (2006) resalta que as modernas práticas de engenharia empregadas nos aterros sanitários - a implementação de geomembranas e geossintéticos e a recirculação de lixiviados no maciço de resíduos – constituem “novos” tópicos de importância para a segurança dos maciços de resíduos. Dixon & Jones (2005) listaram possibilidades de ruptura ou instabilização de aterros sanitários nas quais os resíduos possuem alguma influência.

Devido aos fatores listados, as análises de estabilidade surgem como importante procedimento em todas as etapas de um aterro sanitário: projeto, monitoramento e encerramento. Devido a utilização do critério de ruptura Mohr-Coulomb para descrever a resistência ao cisalhamento dos RSU (prática consagrada desde Landva & Clark, 1990), os parâmetros de coesão e ângulo de atrito são imprescindíveis para avaliação da estabilidade. Outro parâmetro de suma importância é o peso específico, utilizado para calcular as tensões verticais e horizontais (Dixon & Jones, 2005), incorporadas dos métodos de análise de estabilidade largamente utilizados atualmente. Bray *et al.* (2009) ressaltam que a confiabilidade das análises de estabilidade tem seu limite na confiabilidade das estimativas da resistência ao cisalhamento do resíduo.

Segundo Bray *et al.* (2009), apesar da importância de uma boa estimativa destes parâmetros (peso específico, coesão e ângulo de atrito), o estado atual do conhecimento ainda é dominado por incertezas, associado, principalmente, com a dificuldade conduzir ensaios em escalas adequadas e com amostras representativas e indeformadas.

Diante da grande variabilidade e dispersão entre os valores para peso específico *in situ*, coesão e ângulo de atrito relatados por publicações, torna-se interessante compilar e analisar mais profundamente estes dados. Norberto et al. (2020) reuniram e realizaram uma análise estatística com uma quantidade relativamente elevada de dados, entretanto, não foi conduzida nenhuma análise em função das particularidades destes dados (tipos de ensaio, idade do resíduo, origem do resíduo e outros). Daciolo *et al.* (2019) realizaram também uma análise estatística de parâmetros de resistência ao cisalhamento de aterros brasileiros, com base em dados publicados, dividindo por tipo de ensaio (cisalhamentos direto, triaxial isotropicamente drenado e triaxial isotropicamente não-drenado), entretanto foram considerados apenas 9 trabalhos. De maneira similar, Raviteja & Basha (2021) propuseram uma abordagem para determinar funções de densidade de probabilidade contínuas, que pudessem ser ajustadas a um banco de dados, com 184 pontos amostrais coletados nos estudos experimentais da literatura.

Este trabalho tem como objetivo aplicar o conhecimento geotécnico associado aos aterros sanitários e RSU no tratamento de um banco de dados robusto, construído a partir da consulta de uma elevada quantidade de trabalhos publicados, incorporando o máximo de atributos possíveis associados aos dados gerados. Como etapa inicial, será analisada a população geral dos dados coletados, a partir de resultados gráficos variados e

análise estatística descritiva. Em um segundo momento, planeja-se discutir o efeito das variáveis estabelecidas nos resultados existentes na literatura.

2 METODOLOGIA

2.1 Construção e tratamento do banco de dados

Foram criados dois bancos de dados distintos: peso específico e resistência ao cisalhamento. Em princípio, os dados foram compilados a partir da consulta de trabalhos de conclusão de curso, dissertações e teses nos repositórios de universidades, além de artigos publicados em revistas e periódicos científicos, constituindo mais de 90 trabalhos consultados. Nesta etapa foram incorporados ao banco de dados informações relevantes sobre os dados produzidos, ou seja, atributos ou “filtros”. Entre os trabalhos inseridos no banco de dados, cerca de 37% não foi acessado diretamente, sendo utilizadas fontes indiretas.

A Tabela 1 apresenta os principais atributos reunidos e aplicados em cada um dos bancos de dados, salientando que, ao elevar o número de interseções e combinações, a quantidade de dados considerada é reduzida. Além disso, sendo esta uma dificuldade já apontada (Bray *et al.*, 2009), muitas das informações associadas aos procedimentos dos ensaios, tipo de amostra e outras características importantes são, por muitas vezes, informações inexistentes nos trabalhos consultados.

Tabela 1. Resumo dos atributos aplicados no banco de dados.

Resistência ao cisalhamento (c' , ϕ)	Peso específico (γ)
Fonte (original, secundária)	Fonte (original, secundária)
Local/País de origem	Local/País de origem
Ensaio/Método	Ensaio/Método
Idade	Idade
Profundidade	Profundidade
Dimensões da amostra	Dimensões da amostra
Conteúdo de fibras	
Teor de umidade	

O atributo “Fonte” foi inserido para avaliar e registrar a confiabilidade dos dados, sendo basicamente dividido entre original e secundária. Esta distinção é importante para diferenciar dados que foram consultados diretamente na publicação original, reduzindo a chance de perpetuação de erros. Esta dificuldade de acesso foi percebida, em geral, para trabalhos mais antigos, anteriores à 1990, e associados a anais de eventos (congressos e simpósios).

O atributo “Local” se destaca pois impacta na composição do RSU, refletindo, entre outros fatores, os padrões de consumo e tratamento de resíduos da sociedade que o produz. O banco de dados dos parâmetros de resistência ao cisalhamento (c' , ϕ) é composto por dados obtidos, em sua maioria, no Brasil (71%), seguido pelos EUA (8%), Irã (6%), Alemanha (5%), China (2%), Canadá (1%), Colômbia (0,5%) e Índia (0,3%). Quanto aos dados de peso específico, 59% foram obtidos em resíduos brasileiros e os demais de países como China (39%), Irã (1,2%) e EUA (0,8%).

Enquanto isso, o atributo “Ensaio/Método”, detalhado na Tabela 2, tem sua importância residida na compreensão dos diferentes tipos de ensaios e procedimentos frente às características geotécnicas do material analisado. Detalhes de execução, tais como das dimensões do corpo de prova, condições de saturação, taxa de deformação, deformação axial, deslocamento horizontal, entre outros parâmetros usualmente medidos também foram registrados no banco de dados.

No que se refere ao tamanho das amostras, observa-se que em alguns estudos foram empregadas dimensões padrão utilizadas em ensaios conduzidos em solos, onde os corpos de prova, sejam cúbicos, cilíndricos ou retangulares, usualmente não ultrapassam dos 15cm em nenhuma das dimensões (altura, diâmetro ou largura). Nos demais estudos nota-se que, em sua maioria, foram desenvolvidos corpos de prova decimétricos, na tentativa de promover uma maior representatividade do material, cuja heterogeneidade é expressiva. Em alguns poucos casos, devido a limitação dos equipamentos, foram executados ensaios em corpos de prova métricos, com até 150cm.

Tabela 2. Tipos de métodos/ensaios levantados para obtenção de parâmetros geotécnicos (γ , c' , ϕ) de RSU presentes nos bancos de dados.

Resistência ao cisalhamento (c' , ϕ)		Peso específico <i>in situ</i> (γ)
Ensaio <i>in situ</i> (13%)	Cisalhamento direto	Ensaio de cava ou trincheira
	SPT, CPT	
	“Pressure-phi-cometer”	Sondagem
Ensaio em laboratório (69%)	Cisalhamento direto	
	Compressão triaxial	Topografia e pesagem (dados operacionais)
	Cisalhamento simples	
Retroanálise (18%)	Ruptura de talude	Amostras “indeformadas”
	Ruptura em laboratório	
	Talude de corte estável	

A decomposição da matéria orgânica e a evolução dos componentes dos resíduos são influenciadas pelo atributo "Idade", impactando em suas propriedades físicas, químicas e geomecânicas. Nesse sentido, o banco de dados disponível inclui amostras de resíduos retirados da frente de disposição, considerados frescos, até resíduos antigos com mais de 20 anos de disposição.

O atributo "Profundidade" é particularmente relevante para a avaliação das amostras de resíduos sólidos. Especialmente com relação ao peso específico, esta relação é diretamente proporcional, isto é, com o incremento de profundidade observa-se também o aumento dos valores do índice físico. A compactação das camadas sobrejacentes e o processo de decomposição da matéria orgânica tendem a ser fatores cruciais nesse contexto. Assim, o banco de dados permitiu a obtenção de amostras que variam desde a superfície até profundidades de 40 metros.

Após a consolidação do banco de dados, o tratamento destes consistiu, nesta primeira fase, em avaliar sua variabilidade através de estatística descritiva. Feita essa análise, a qual será discutida a seguir, serão realizadas combinações entre os atributos, gerando amostras dentro da população de dados criada. Os “arranjos” terão como base o interesse em avaliar o efeito que cada atributo possui sobre os resultados existentes na literatura.

2.2 Análises estatísticas

A estatística descritiva tem como principal objetivo sintetizar uma série de valores de mesma natureza, possibilitando uma visão abrangente da variação desses dados. Isso é feito por meio de três métodos: tabelas, gráficos e medidas descritivas, os quais organizam e descrevem os dados de forma eficaz (Silvestre, 2007). Neste estudo foram consideradas as seguintes medidas de tendência central: mínimo, máximo, média, mediana, moda, desvio padrão e variância.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a criação dos bancos de dados, foram reunidos todos os valores referentes a peso específico *in situ* (kN/m^3) e pares de coesão (kPa) e ângulo de atrito ($^\circ$), obtidos por todos os tipos de método/ensaio exibidos na Tabela 2, consultados em estudos nacionais e internacionais, de fontes originais e secundárias. Em seguida, foi realizada a análise estatística. Os resultados são apresentados e discutidos a seguir.

Com relação ao peso específico, avaliando uma amostra de 241 medidas *in situ*, obtidas a partir dos métodos/ensaios destacados na Tabela 2, fica claro que, em razão da heterogeneidade do RSU, esse parâmetro pode variar consideravelmente. A Figura 1 ilustra os intervalos de valores alcançados por mais de 10 pesquisadores, enquanto a Figura 2 revela que no intervalo de 8 a 10 kN/m^3 houve a maior frequência de medidas de peso específico *in situ* (kN/m^3).

Considerando todo o conjunto de dados como referência, concluiu-se que o valor da variância (Tabela 3), não se mostrou elevado. Além disso, apesar do o histograma não ter apresentado uma distribuição perfeitamente normal, foi aquele que mais se aproximou, em comparação ao verificado nos demais parâmetros

avaliados. Desta forma, entende-se que amostra dos dados de peso específico é a mais confiável. Mesmo assim, estes devem ser avaliados com cautela à medida que os atributos forem sendo aplicados e correlacionados.

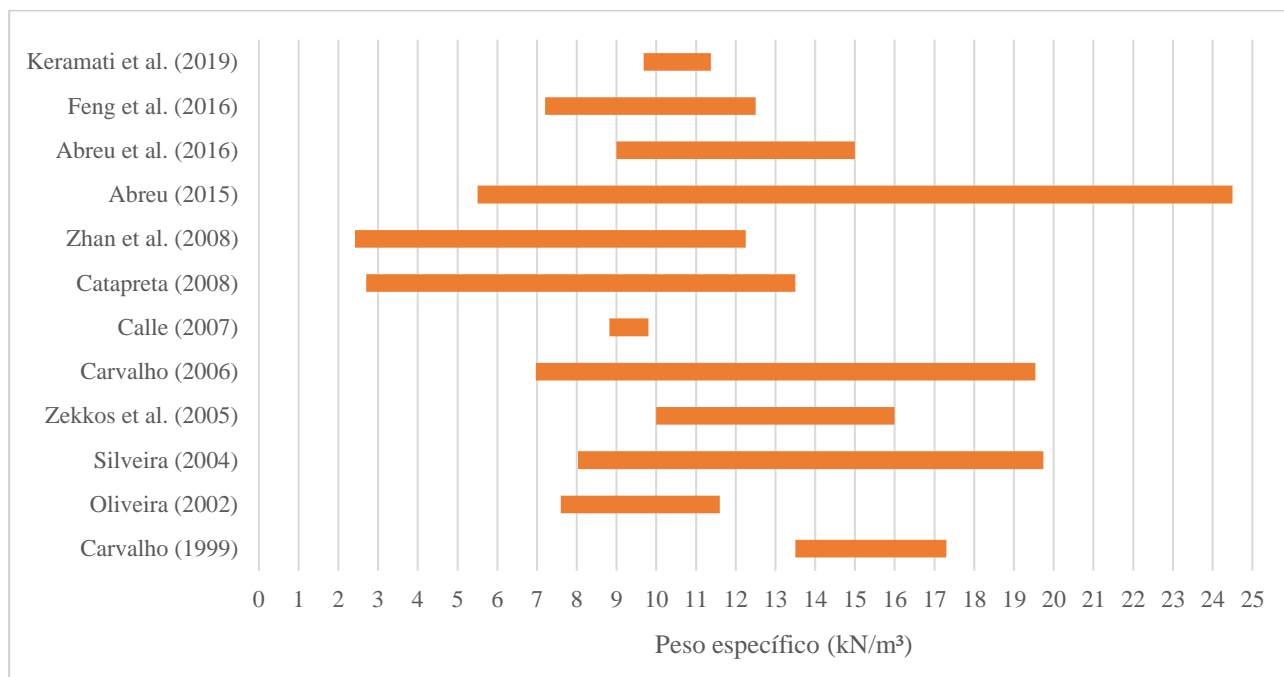


Figura 1. Valores de peso específico *in situ* (kN/m³) obtidos por todos os tipos de método/ensaio, consultados em estudos nacionais e internacionais, de fontes originais e secundárias.

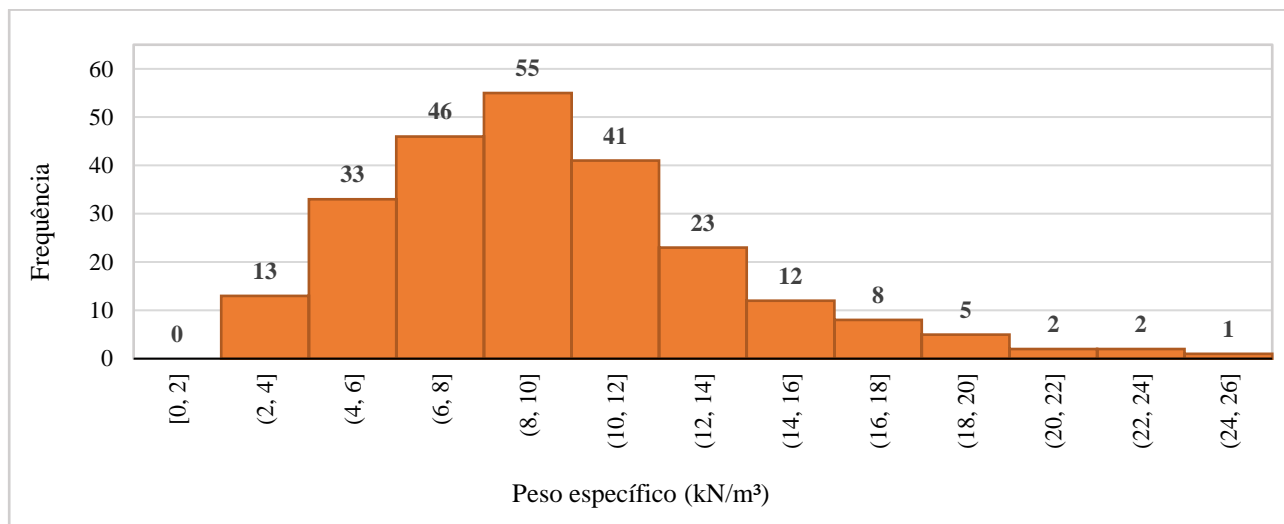


Figura 2. Histograma com valores de peso específico (kN/m³) obtidos por todos os tipos de método/ensaio *in situ*, consultados em estudos nacionais e internacionais, de fontes originais e secundárias.

Tabela 3. Estatística descritiva dos valores de peso específico *in situ* (kN/m³) levantados.

Amostra	241
Mínimo	2,4
Máximo	24,5
Média	9,6
Mediana	9,1
Moda	10,5
Desvio Padrão	4,1
Variância	16,6

No que diz respeito aos parâmetros de resistência ao cisalhamento, é relevante evidenciar que foram compilados um total de 606 pares de parâmetros (coesão e ângulo de atrito), provenientes de estudos tanto nacionais quanto internacionais. Esses parâmetros foram obtidos a partir de ensaios *in situ*, experimentos laboratoriais e retroanálises, conforme detalhado na Tabela 2. De maneira geral, destaca-se que os valores de coesão variam entre 0 e 196 kPa, enquanto os valores de ângulo de atrito se encontram entre 0 e 66°, conforme exibem as Figuras 3 e 4, além das tabela 4.

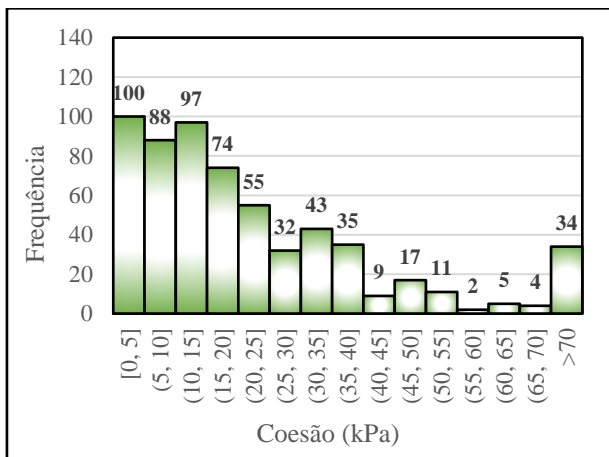


Figura 3. Histograma com valores de coesão (kPa) obtidos por todos os tipos de método/ensaio, consultados em estudos nacionais e internacionais, de fontes originais e secundárias.

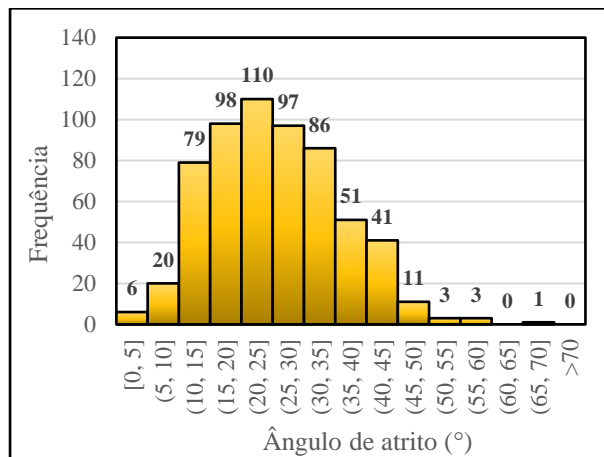


Figura 4. Histograma com valores de ângulo de atrito (°) obtidos por todos os tipos de método/ensaio, consultados em estudos nacionais e internacionais, de fontes originais e secundárias.

Tabela 4 – Estatística descritiva dos valores de coesão (kPa) e ângulo de atrito (°) levantados.

	Amostra	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Moda	Desvio Padrão	Variância
Coesão (kPa)	606	0	196	23,7	16,4	0	24,8	616,4
Ângulo de atrito (°)	606	0	66	25,6	24,8	22	10,3	106,1

No que diz respeito aos dados de coesão, verifica-se que sua distribuição é assimétrica, isto é, possui os valores de maior frequência concentrados à esquerda, mais próximos da origem, e valores menos frequentes à direita do histograma. Além disso, ocorrem muitos “*outliers*” ou valores extremos, os quais podem se propagar nas análises e ocasionar problemas e anomalias.

Conforme verificado, ocorreu um efeito dos *outliers* na variância, a qual se apresentou consideravelmente alta (616,4), indicando que os valores observados estão distantes da média e devem ser tratados a fim de minimizar esses efeitos. Ademais, é possível notar que as maiores frequências de valores de coesão ficam dentro do intervalo de 0 a 15 kPa, totalizando cerca de 47% da amostra.

Já os dados de ângulo de atrito apresentam um comportamento parecido com a distribuição dos valores de peso específico, onde moda, média e mediana não distoam tanto entre si, embora a variância tenha sido 6x maior (106,1). Em termos de frequência, o histograma revelou que o intervalo de 15° a 30° representa cerca de 50% da amostra dos valores de ângulo de atrito.

4 CONCLUSÕES

A construção e a interpretação de um banco de dados robusto, munido de variados atributos, se mostrou como uma ferramenta essencial para fornecer uma maior sensibilidade à parâmetrização geotécnica de RSU, tornando possível a definição de intervalos de valores mais ajustados.

Nesta primeira etapa do estudo foram consolidados dois bancos de dados, os quais foram avaliados estatisticamente. Os resultados indicaram uma maior frequência de valores de peso específico (γ) no intervalo de 8 a 10 kN/m³, de coesão (c') no intervalo de 0 a 15 kPa e entre 15° e 30° para o ângulo de atrito (Φ). De acordo com a estatística descritiva, a amostra de dados de peso específico mostrou a menor variabilidade, em oposição aos valores de coesão, que exibiram uma dispersão considerável.

Apesar das conclusões preliminares já apontarem um comportamento notável, os dados analisados não seguem uma distribuição perfeitamente normal e apresentam *outliers*, isto é, não podem ser considerados totalmente precisos e confiáveis, exigindo uma maior cautela na sua interpretação. Isto se deve a incertezas, associadas, principalmente, com a dificuldade em conduzir ensaios em escalas adequadas e com amostras representativas.

Na sequência, após adequado tratamento dos dados, serão verificadas as relações com os fatores que podem influenciar, em última análise, a resistência ao cisalhamento dos resíduos, tais como o método de obtenção dos parâmetros, idade, profundidade, origem do resíduo e outros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abreu, A. E. S. D. (2015). *Investigação geofísica e resistência ao cisalhamento de resíduos sólidos urbanos de diferentes idades* (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo).
- Benvenuto, C.; Cunha, M. A. (1991) *Escorregamento em massa de lixo no aterro sanitário Bandeirantes em São Paulo, SP*. Anais do II Simpósio sobre Barragens de Rejeitos e Disposição de Resíduos, v. 2, p. 55-66.
- Bray, J. D., Zekkos, D., Kavazanjian Jr, E., Athanasopoulos, G. A., & Riemer, M. F. (2009). *Shear strength of municipal solid waste*. Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering, 135(6), 709-722.
- Calle, J. A. C. (2007). *Comportamento geomecânico de resíduos sólidos urbanos*. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Campi, T. M. O., & Boscov, M. E. G. (2011). *Estimativa dos parâmetros de resistência ao cisalhamento e do módulo de elasticidade dos resíduos sólidos urbanos utilizando resultados de ensaios de placa em aterro sanitário*. Dissertação de mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Carvalho, M. F. (1999). *Comportamento mecânico de resíduos sólidos urbanos*. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 300p.
- Carvalho, A. R. (2006). *Desenvolvimento de um Equipamento para a Determinação de Parâmetros Geotécnicos de Resíduos Sólidos*. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Catapreta, C. A. A. (2008). *Comportamento de um aterro sanitário experimental: avaliação da influência do projeto, construção e operação*. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, 316 p.
- Daciolo, L. V. P., de Souza Correia, N., & BOSCOV, M. (2019). *Comportamento estatístico das propriedades de resistência ao cisalhamento de Resíduos Sólidos Urbanos Brasileiros*. In CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOTECNIA AMBIENTAL (Vol. 9).
- Dixon, N., & Jones, D. R. V. (2005). *Engineering properties of municipal solid waste*. Geotextiles and Geomembranes, 23(3), 205-233.
- Eid, H. T., Stark, T. D., Evans, W. D., & Sherry, P. E. (2000). *Municipal solid waste slope failure. I: Waste and foundation soil properties*. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 126(5), 397-407.
- Feng, S. J., Gao, K. W., Chen, Y. X., Li, Y., Zhang, L. M., & Chen, H. X. (2017). Geotechnical properties of municipal solid waste at Laogang Landfill, China. Waste Management, 63, 354-365.
- Guermoud, N., Ouadjnia, F., Abdelmalek, F., & Taleb, F. (2009). *Municipal solid waste in Mostaganem city (Western Algeria)*. Waste Management, 29(2), 896-902.

- Kamiji, T., & Oliveira, F. (2019). Reflexões a Respeito de Rupturas em Aterros Sanitários Brasileiros. In *IX CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOTECNIA AMBIENTAL e VIII CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOSINTÉTICOS*. Anais [...]. São Carlos.
- Kavazanjian, Jr, E. (2006). *Waste mechanics: Recent findings and unanswered questions*. Advances in unsaturated soil, seepage, and environmental geotechnics, 34-54.
- Keramati, M., Shahedifar, M., Aminfar, M. H., & Alagipuor, H. (2020). Evaluation the shear strength behavior of aged MSW using large scale in situ direct shear test, a case of Tabriz Landfill. *International Journal of Civil Engineering*, 18, 717-733.
- Jayaweera, M., Gunawardana, B., Gunawardana, M., Karunawardena, A., Dias, V., Premasiri, S., ... & Thilakasiri, S. (2019). *Management of municipal solid waste open dumps immediately after the collapse: An integrated approach from Meethotamulla open dump, Sri Lanka*. *Waste Management*, 95, 227-240.
- Oliveira, D. A. F. (2002). *Estabilidade de taludes de maciços de resíduos sólidos urbanos*. Dissertação de mestrado. Universidade de Brasília.
- Norberto, A. S., Corrêa, C. L., Mariano, M. O. H., & Jucá, J. F. T. (2020). *Análise estatística da variabilidade de parâmetros de resistência ao cisalhamento de aterros sanitários*. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, 5(1), 108-116.
- Raviteja, K. V. N. S., & Basha, B. M. (2021). *Characterization of variability of unit weight and shear parameters of municipal solid waste*. *Journal of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste*, 25(2), 04020077.
- Richardson, G., & Reynolds, D. (1991, February). *Geosynthetic considerations in a landfill on compressible clays*. In *Proceedings of geosynthetics* (Vol. 91, pp. 507-516).
- Silveira, A. M. D. M. (2004). *Estudo do peso específico de resíduos sólidos urbanos*. Pós-graduação de engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ–Brasil.
- Silvestre, A. (2007). *Análise de dados e estatística descritiva*. Escolar editora.
- Stark, T. D., Eid, H. T., Evans, W. D., & Sherry, P. E. (2000). *Municipal solid waste slope failure. II: Stability analyses*. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 126(5), 408-419.
- Strauss, M. (1998). *Análise de estabilidade de talude do aterro sanitário da zona norte de Porto Alegre*.
- Suzuki, D. K. (2012). *Verticalização de aterros sanitários por meio de reforço com geogrelhas e diques periféricos alteados pelo método de montante* (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo).
- Zekkos, D. P. (2005). *Evaluation of Static and Dynamic Properties of Municipal Solid Waste*, PhD thesis, Department of Civil and Environmental Engineering, Univ. of Calif., Berkeley.
- Zeng, Y., Trauth, K. M., Peyton, R. L., & Banerji, S. K. (2005). *Characterization of solid waste disposed at Columbia Sanitary Landfill in Missouri*. *Waste Management & Research*, 23(1), 62-71.
- Zhan, T. L., Chen, Y., & Ling, W. A. (2008). *Mechanical properties of municipal solid waste from Suzhou landfill in China*. In *GeoCongress 2008: Geotechnics of Waste Management and Remediation* (pp. 160-167).