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/COBRAMSEG2026.6/116

Resistência de Resíduos Sólidos Municipais Sintéticos em Função da Variação do Teor de Matéria Orgânica

Maria Clara Moreira Fort
Mestre em Engenharia Civil, UFV, Viçosa, Brasil, maria.c.fort@ufv.br

Rejane Nascentes
Docente, UFV, Viçosa, Brasil, rejane.nascentes@ufv.br

Roberto Lopes Ferraz
Docente, UFV, Viçosa, Brasil, rlferraz@ufv.br

Simone Cristina de Jesus
Docente, UFMT, Uberaba, Brasil, simone.jesus@uftm.edu.br

RESUMO: Frente aos diversos desafios encontrados na experimentação dos RSU, este trabalho teve como objetivo propor o uso de resíduos sólidos municipais sintéticos (RSMS) em substituição dos RSU, verificando se os RSMS simulam adequadamente o comportamento de RSU em ensaios geotécnicos convencionais. Foi dada ênfase na avaliação dos parâmetros de resistência ao cisalhamento em função da variação do teor de matéria orgânica. Para tanto, a partir da gravimetria da cidade de Viçosa, MG, foram preparadas três misturas de RSMS (MO01, MO02 e MO03), com teor de matéria orgânica compostável decrescente a partir de MO01. As amostras foram submetidas aos ensaios de compactação na energia de Proctor Normal e triaxial não drenado (CIU). No ensaio CIU os corpos de prova foram moldados com pesos específicos entre 5,5 e 6,0 kN/m³, padronizados a 60% de umidade conforme curvas de compactação obtidas previamente no ensaio de compactação. Avaliaram-se também o comportamento dos parâmetros coesão e ângulo de atrito para tensões totais e efetivas com a deformação. Os resultados indicam que o teor de matéria orgânica influencia diretamente o peso específico seco máximo, que foi de 6,0, 5,8 e 5,5 kN/m³ para MO01, MO02 e MO03, respectivamente. Observou-se também que a constituição de RSMS proposta neste trabalho não apresentou pico de resistência ao cisalhamento, manifestando, inclusive, comportamento ascendente nas curvas tensão-deformação em maiores taxas de deformação, conforme já previsto para RSU na literatura. Relata-se que a composição gravimétrica e presença de materiais fibrosos influência na resistência ao cisalhamento, que também é dependente da deformação e ancoragem das fibras no maciço. Foram encontrados, em todos os tratamentos, altos valores do ângulo de atrito efetivo (58º a 69º, para 15% de deformação axial) e coesão nula para MO01 e MO03, semelhante a trabalhos anteriores que realizaram testes CIU em larga escala com RSU. Finalmente, conclui-se que o comportamento qualitativo das amostras com RSMS se revelou muito semelhante ao dos RSU reais, demonstrando a eficácia do método para simular esses resíduos para utilização em testes geotécnicos de escala convencional.

PALAVRAS-CHAVE: Aterros Sanitários; Resistência ao Cisalhamento; Coesão; Ângulo de Atrito; RSU

ABSTRACT: Given the various challenges encountered in the experimentation with MSW (Municipal Solid Waste), this work aimed to propose the use of synthetic municipal solid waste (SMW) as a substitute for MSW, verifying whether SMW adequately simulates the behavior of MSW in conventional geotechnical tests. Emphasis was placed on evaluating shear strength parameters as a function of varying organic matter content. To this end, three MSW mixtures (MO01, MO02, and MO03) were prepared from the gravimetric data of the city of Viçosa, MG, with decreasing compostable organic matter content starting from MO01. The samples were subjected to compaction tests using the Standard Proctor energy and undrained triaxial (UCI) tests. In the UCI test, the specimens were molded with specific weights between 5.5 and 6.0 kN/m³, standardized to 60% moisture content according to compaction curves obtained previously in the compaction test. The behavior of the cohesion and friction angle parameters for total and effective stresses with deformation was also evaluated. The results indicate that the organic matter content directly influences the maximum dry specific weight, which was 6.0, 5.8, and 5.5 kN/m³ for MO01, MO02, and MO03, respectively. It was also observed that the proposed

MSW composition in this work did not present a peak shear strength, even showing an upward trend in the stress-strain curves at higher deformation rates, as already predicted for MSW in the literature. It is reported that the gravimetric composition and presence of fibrous materials influence the shear strength, which is also dependent on the deformation and anchoring of the fibers in the mass. In all treatments, high values of the effective friction angle (58º to 69º, for 15% axial deformation) and zero cohesion were found for MO01 and MO03, similar to previous studies that performed large-scale CIU tests with MSW. Finally, it is concluded that the qualitative behavior of the samples with RSMS proved to be very similar to that of real MSW, demonstrating the effectiveness of the method to simulate these residues for use in conventional-scale geotechnical tests.

KEYWORDS: Landfills; Shear Strength; Cohesion; Angle of Friction; MSW

1 INTRODUÇÃO

A geração de resíduos sólidos urbanos (RSU) é uma grandeza crescente, impulsionada pelo crescimento populacional e pelo aumento da geração per capita de resíduos. As projeções indicam que em 2050 podem ser geradas globalmente até 3,8 bilhões de toneladas anuais de RSU, o que representa um aumento de mais de 80% em relação às 2,1 bilhões de toneladas produzidas em 2020 (United Nations Environment Programme, 2024). Deste modo, diante da demanda crescente por áreas para aterros sanitários, observa-se como resultado a busca de uma maior vida útil destas obras. Isto acontece já prevendo grandes alturas de células desde a concepção inicial ou fazendo projetos para ampliar os aterros que se encontram em operação.

Contudo, a avaliação da estabilidade de taludes nos aterros sanitários requer estimativas confiáveis dos parâmetros geotécnicos dos maciços sanitários. Muito embora na prática de projeto de aterros sanitário recorra-se a critérios e modelos teóricos da Mecânica dos Solos Clássica adaptados à geomecânica dos resíduos, há logo de início a incompatibilidade de escala entre os RSU e os equipamentos geotécnicos convencionais, sendo necessário a adaptação dos equipamentos a escalas maiores, tornando ensaios onerosos e de difícil execução.

Frente a isto, observa-se avanços recentes em estudos com resíduos sólidos municipais sintéticos (RSMS) que se concentram, sobretudo, na elaboração de composições sintéticas que simulem com maior fidelidade a gravimetria e propriedades dos elementos reais do RSU, considerando características como tamanho, forma, e comportamento mecânico dos componentes (Reddy *et al* 2009; Singh e Uchimura, 2023 e Xie et al., 2022).

A opção de utilizar RSMS no lugar de resíduos sólidos urbanos reais possui diversas vantagens, podendo citar entre elas o melhor controle da composição da amostra, a utilização de equipamentos convencionais comumente utilizados em ensaios geotécnicos; bem como a utilização de componentes mais limpos, superando preocupações sanitárias e de segurança no laboratório (Singh e Uchimura, 2023). Com a escassez de pesquisas no mundo, devido ao caráter inovador da metodologia, existem diversas lacunas sobre o uso dos RSMS e sua validação para simulação de RSU. Tampouco há alguma metodologia definida, seja para a realização dos ensaios geotécnicos ou até para a forma de construção e constituição das amostras.

Portanto, os objetivos deste trabalho foram: (1) fornecer subsídios práticos para o desenvolvimento de métodos experimentais mais acessíveis; (2) obter parâmetros de resistência ao cisalhamento em composições de RSMS representativas dos RSU brasileiros; (3) investigar a influência do teor de matéria orgânica nos parâmetros de resistência ao cisalhamento.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Preparação dos Resíduos Sólidos Municipais Sintéticos (RSMS)

Os RSMS foram produzidos em laboratório a partir da mistura de componentes controlados e na composição desejada, com a finalidade de simular RSU para a realização de testes geotécnicos convencionais. Foram representadas cada uma das frações gravimétricas por diferentes materiais a saber: sendo com matéria orgânica compostável (carne moída de bovino), plástico mole (sacos de lixo), plástico duro (PET, polímero politereftalato de etileno), papel e papelão, vidro, metais (aluminio), couro/borracha/têxtil, madeira (maravalha), rejeitos (papel higiênico e enchimento absorvente de fraldas). A escolha se deu ao fato de estes

materiais serem os principais componentes dessa fração observados nos resíduos reais e a divisão por serem materiais de comportamentos muito distintos.

Todos os materiais utilizados para a produção dos RSMS estavam secos, com exceção da carne moída que foi adicionada em sua umidade natural e do enchimento absorvente que foi preparado considerando 50% de peso seco e 50% de água, uma vez que este ao ser descartado normalmente contém líquido absorvido. Para realização de testes utilizando equipamentos geotécnicos tradicionais, foi necessário limitar o tamanho do resíduo, conforme redução e padronização das dimensões mostrados na Figura 1.

Deste modo, Plásticos, Papéis, Metais, Têxteis, Madeira e Papel Higiênico foram cortados à mão em tamanhos que variam entre 1 a 3 mm de largura e 5 a 15 mm de comprimento. Os cubos de vidro possuíam em média 5 mm de lado e a carne e enchimento absorvente foram misturados em seus tamanhos originais.

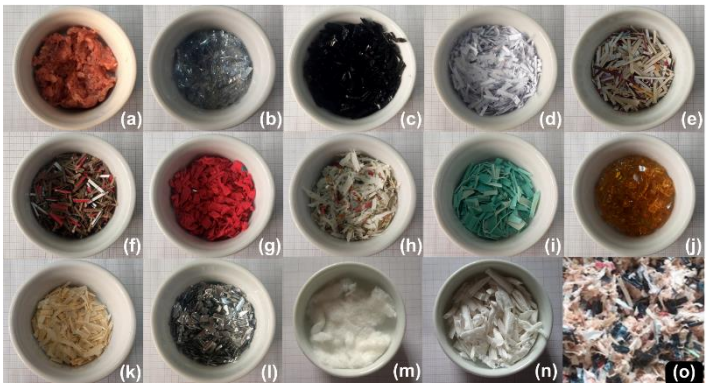


Figura 1 - Tamanho e forma das partículas do Resíduo Sólido Municipal Sintético (RSMS) após preparo para ensaios laboratoriais. Legenda: (a) Carne moída – M.O.C.; (b) PET – plástico duro; (c) sacos de lixo – plástico mole; (d) papel de escritório – papel e papelão; (e) papel cartão – papel e papelão; (f) papelão – papel e papelão; (g) tecido de algodão – borracha e têxtil; (h) tecido de poliéster – borracha e têxtil; (i) borracha – borracha e têxtil; (j) vidro; (k) maravalha – madeira; (l) alumínio – metais; (m) enchimento absorvente – rejeito; (n) papel higiênico – rejeito; (o) mistura final dos materiais.

2.2 Composições gravimétricas estudadas

O programa experimental estabeleceu três diferentes tratamentos (MO01, MO02 e MO03) que variam entre si na porcentagem de matéria orgânica dentro da composição gravimétrica, conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Composição gravimétrica final dos tratamentos MO01, MO02 e MO03

		Frações		
Categoria	Soares (2021)	MO01	MO02	MO03
Matéria orgânica compostável	44,5%	45,1%	35,1%	25,1%
Plástico Mole	11,2%	11,5%	13,4%	15,5%
Plástico Duro	4,4%	4,5%	5,3%	6,1%
Papel e papelão	8,2%	8,3%	9,8%	11,4%
Vidro	2,4%	2,4%	2,9%	3,3%
Metais	1,1%	1,1%	1,3%	1,5%
Couro, borracha e têxtil	3,2%	3,2%	3,8%	4,4%
Madeira	0,3%	0,3%	0,4%	0,4%
Outros	1,4%	-	-	-
Rejeitos	23,3%	23,6%	28,0%	32,3%

No primeiro tratamento proposto, MO01, a gravimetria inicial a ser tomada foi a gravimetria típica da cidade de Viçosa-MG, determinada por Soares (2021), que é representativa da gravimetria brasileira estimada pela ABRELPE (2020). Para o segundo e o terceiro tratamentos propostos, MO02 e MO03, a porcentagem de matéria orgânica compostável (MOC) foi decrescida, diminuindo-se 10% desta a cada tratamento. Após fixado o novo valor de MOC, as demais frações foram recalculadas de modo a manter as proporções que existiam entre os elementos.

Além disso, como a fração "Outros" é justamente composta por quaisquer objetos que são não se enquadram nas demais frações,ela foi desconsiderada e a quantidade referente a ela redistribuída proporcionalmente entre as demais frações.

Às amostras de RSMS que foram submetidas a ensaios geotécnicos em laboratório, foi acrescentada a quantidade de 10% em peso seco de um solo local. O material adicionado consiste em uma argila de alta compressibilidade (CH), já caracterizado anteriormente por Queiroz *et al* (2025), sendo composto por 69% de argila, 10,4% de site e 20,6% de areia. Este acréscimo se justifica, pois, quantidades significativas de solo podem se misturar aos resíduos nos aterros devido a aplicações sucessivas de cobertura diária (Reddy *et al*, 2011) e o peso específico da combinação de resíduos e solo é um parâmetro de relevância para as análises de engenharia.

2.2.1 Ensaio de Compactação

O ensaio de compactação seguiu as diretrizes da ABNT (2016), com as amostras compactadas à energia normal de Proctor. Para se mensurar a umidade, foram tomadas a cada ponto da curva de compactação seis cápsulas que foram submetidas à secagem em estufa em uma temperatura controlada de 60ºC até que a massa permanecesse constante (Reddy *et al*, 2011).

2.2.2 Ensaio de resistência ao cisalhamento consolidado não drenado

O ensaio de cisalhamento triaxial consolidado não drenado (CIU) foi montado segundo a norma ASTM D4767 (ASTM, 2008). A umidade do RSMS foi ajustada para o valor de 60% na base seca e as amostras foram compactadas em cilindros de 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura, conforme pode ser observado na Figura 2 (a). Para cada mistura proposta, MO01, MO02 e MO03, três amostras foram consolidadas previamente por 24 horas sob pressões confinantes de 70, 140 e 280 kPa (Figura 2 (b)). Os corpos de prova foram então cisalhados a uma taxa de deformação constante de 2,1 mm/min, medindo-se também a poropressão durante todo o cisalhamento. Na ausência de resposta de pico de cisalhamento, os ensaios foram continuados até atingirem no mínimo 15% de deformação axial, conforme apresentado na Figura 2 (c).

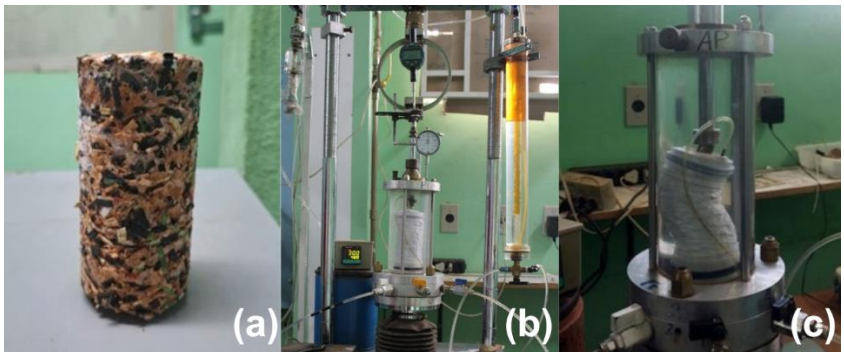


Figura 2 – (a) Corpo de prova de RSMS obtido por compressão estática – Mistura MO01; (b) Corpo de prova na câmara triaxial antes da realização do ensaio CIU; (c) Corpo de prova MO02 ao final do cisalhamento

Foi escolhido o teor de umidade de 60% padronizado à todas as amostras por ser um teor de umidade comumente encontrado nos resíduos *in situ*. A escolha é justificada por, além do fato que na operação do aterro sanitário não ser comum o umedecimento dos RSU para controle da compactação, neste valor de umidade o peso específico seco se encontrava próximo ao peso específico seco máximo. Os parâmetros de resistência, coesão e ângulo de atrito, foram determinados com base nas envoltórias de rupturas modificadas definidas em termos de s' e t.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Ensaio de Compactação

Os pesos específicos secos máximos obtidos foram 6,0 kN/m³ (MO01), 5,8 kN/m³ (MO02) e 5,5 kN/m³ (MO03), decrescentes assim como as porcentagens de MOC nos tratamentos. Essa tendência é consistente

com estudos anteriores tanto com RSMS (Sigh e Uchimura, 2023), quanto com RSU reais (Pantic *et al*, 2022) e pode ser atribuída ao aumento das propriedades volumétricas dos materiais plásticos. Isto, pois, o aumento do teor de material plástico deixa a amostra mais leve e, além disso, mesmo após a compactação, o corpo de prova busca recuperar a sua forma elástica, contribuindo também para a diminuição do peso específico.

3.2 Ensaio Triaxial

3.2.1 Comportamento do diagrama tensão x deformação

Em todas as composições gravimétricas testadas, Figura 3, pode ser observado o fenômeno de endurecimento por deformação, ou seja, não ocorreu resistência de pico bem definida, acontecendo inclusive uma tendência ao aumento da tensão desviadora (σd) para maiores deformações.

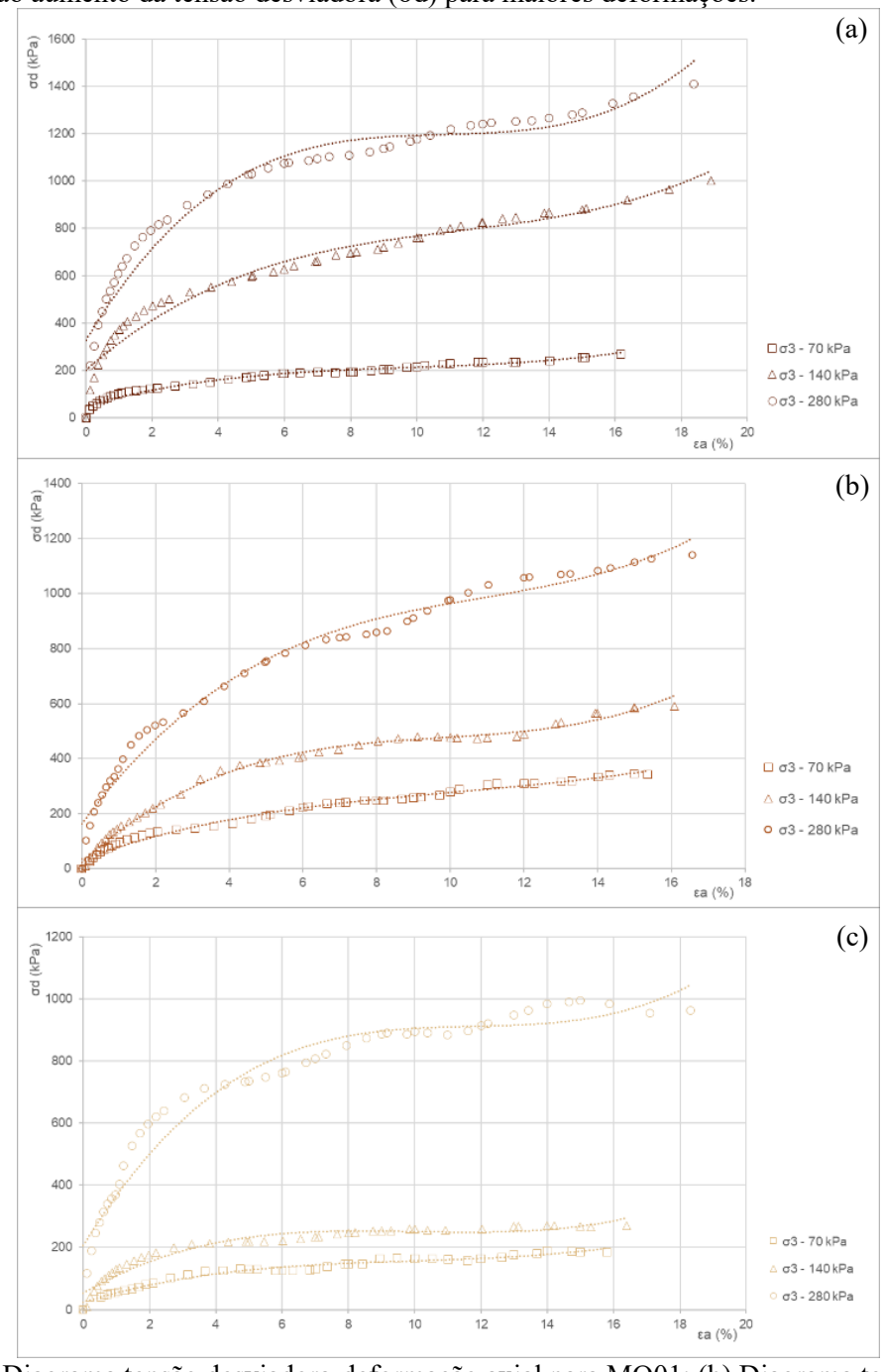


Figura 3 – (a) Diagrama tensão desviadora-deformação axial para MO01; (b) Diagrama tensão desviadora-deformação axial para MO02; (c) Diagrama tensão desviadora-deformação axial para MO03

De acordo com Ramaiah e Ramana (2017), em ensaios triaxiais consolidados não drenados (CIU), a ação de reforço dos materiais fibrosos proporciona suporte lateral ao espécime, impedindo sua liquefação estática. Por tanto, segundo os autores, o aumento do teor de fibras nos RSU torna as características de endurecimento por deformação ainda mais significativas.

As curvas tensão-deformação deste estudo exibiram inicialmente forma convexa, seguida de um comportamento quase linear e, por fim, exibindo curvatura ascendente em deformações maiores, conforme já descrito por Bray *et al* (2009). Embora esse comportamento qualitativo da curva corresponda ao já descrito na literatura para RSU reais, em RSMS esse trabalho será primeiro trabalho relatando esse comportamento, pois nos trabalhos anteriores (Reddy *et al* 2011; Xie *et al* 2022) mesmo não havendo pico de ruptura, não ocorreu a curvatura ascendente em maiores deformações.

3.2.2 Parâmetros de Resistência ao Cisalhamento

Foram traçadas envoltórias de resistência para determinar os parâmetros de resistência, coesão e ângulo de atrito, totais e efetivos, dos resíduos sólidos em testes triaxiais não drenados variando de 5% a 15% da deformação axial, Figura 4. Os ângulos de atrito efetivos a 15% de deformação axial variaram de 58º (MO03), 62º (MO02) e 69° (MO01). Os valores de coesão efetiva foram nulos para MO01 e MO03 em todas as pressões confinantes. A mistura MO02 apresentou valores de coesão (máximo de 38,7 kPa a 15% de deformação), aparentemente relacionados à mobilização de fibras.

Trabalhos anteriores indicam que o desenvolvimento de elevados valores de poropressão durante ensaios CIU em RSU podem provocar distorções nas envoltórias efetivas das amostras. Nascimento (2007) observou em ensaios CIU com RSU reais elevados valores de ângulo de atrito efetivo, 57,7º e 66º, e reduzidos valores de coesão efetiva, inclusive com valores negativos, obrigando a serem feitos ajustes que forçassem as envoltórias a passar pela origem dos eixos coordenados. De maneira semelhante, os ensaios CIU de Vilar e Carvalho (2004) também resultaram em coesão nula e ângulos de atrito efetivos na ordem de 48,5º.

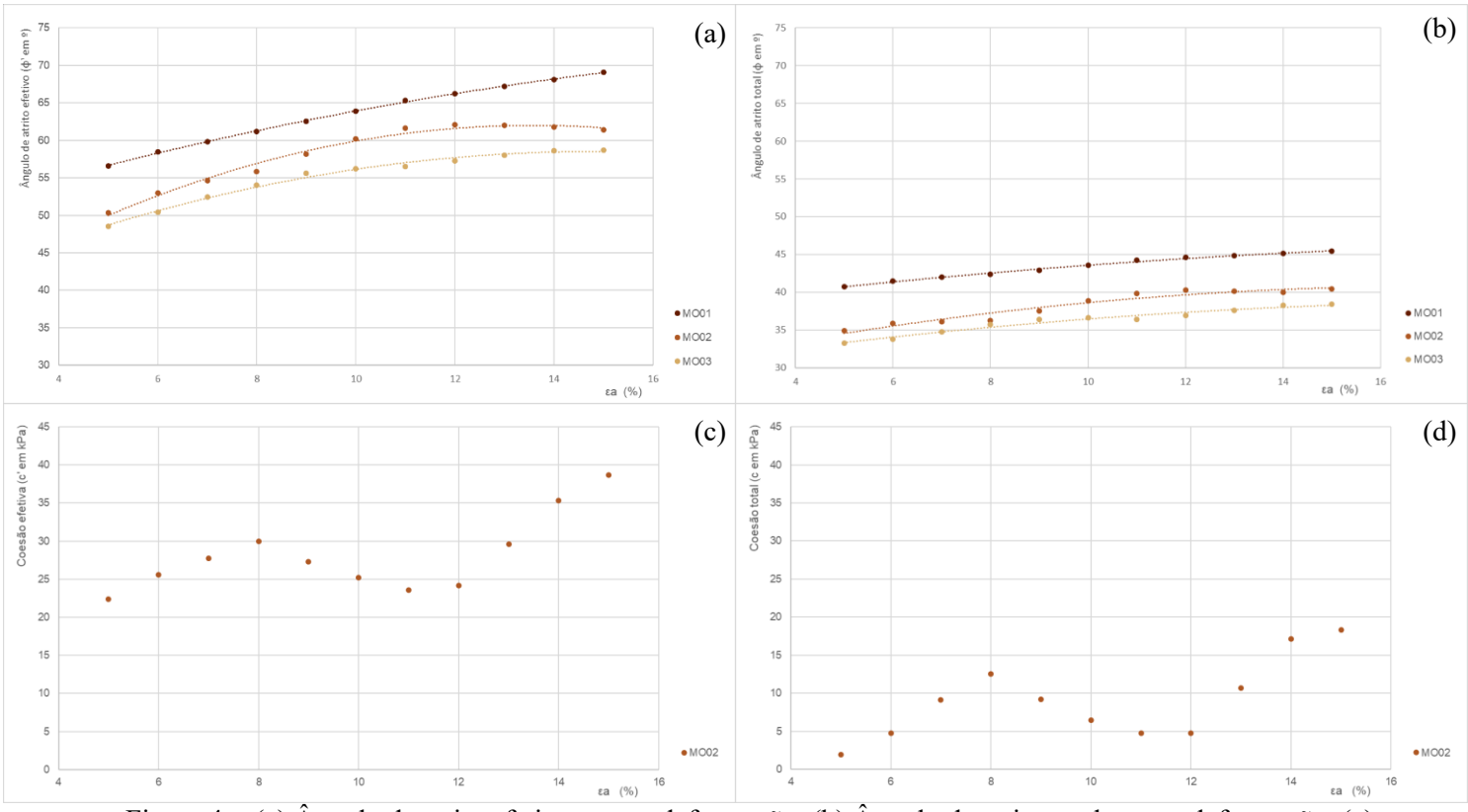


Figura 4 - (a) Ângulo de atrito efetivo versus deformação; (b) Ângulo de atrito total versus deformação; (c) Coesão efetiva versus deformação; (d) Coesão total versus deformação

Comparando o diagrama de tensão x deformação da Figura 3 (b) com a Figura 4 (c) e (d) percebe-se que para MO02 a partir de 12% de deformação, há um aumento da tensão desviadora e também os valores de coesão começam uma tendência crescente. Esse ponto, 12% de deformação da mistura MO02, situa-se provavelmente na transição da Fase I, quando há apenas mobilização das forças de atrito, para a Fase II, marcada pelo aumento da contribuição da parcela de tensão de tração das fibras na resistência, do proposto por Kölsch (1996), ou seja, o momento em que ocorre o aumento da contribuição da parcela de tensão de tração das fibras na resistência.

Já no tratamento MO01, que possui maior teor de matéria orgânica e, por consequência, menor proporção de materiais fibrosos, a coesão teve o valor de 0 kPa. Como também se observa a curvatura ascendente para MO01, Figura 3 (a), aliada a uma mobilização progressiva e crescente do ângulo de atrito sem vistas de atingir o ponto máximo do ajuste proposto, pode-se deduzir a partir do exposto que o ângulo de atrito também é sensível à presença de fibras. Por fim, sobre a mistura MO03, observa-se que ela também possui o valor de 0 kPa para a coesão. Porém, como já tratado por Kölsch (1996), a contribuição das fibras para a resistência ao cisalhamento dos resíduos é fruto não apenas da resistência à tração da própria fibra, mas também do ancoramento dela no maciço sanitário.

A importância do ancoramento das fibras no maciço ocorre de tal maneira que, segundo o modelo constitutivo bifásico de Li e Feng (2022), é justamente o escorregamento das fibras o responsável pelo amolecimento de RSU em grandes deformações. Isto posto, embora MO03 seja o tratamento com maior teor de fibras proporcionalmente ao total, é o que possui menor teor de matéria orgânica. Logo, a coesão parece estar ligada não apenas à presença das fibras, mas também à capacidade de elas serem ancoradas no maciço sanitário, o que por sua vez parece ser fruto da presença de matéria orgânica.

4 CONCLUSÕES

A falta de parâmetros e critérios de projeto para as condições dos RSU brasileiros é tanto notável quanto preocupante, uma vez que as correlações empíricas podem colocar em risco a estabilidade dos taludes quando mal empregadas. O uso de RSMS é uma realidade bastante promissora, por permitir contornar vários dos desafios de experimentação como os relacionados à heterogeneidade, à dificuldade de realizar ensaios de grande porte, a grande variação na distribuição do tamanho das partículas e as preocupações sanitárias.

Os resultados deste estudo mostram que as amostras de RSMS possuem comportamento qualitativo em equipamentos geotécnicos convencionais muito semelhante aos RSU quando ensaiados em adaptações dos equipamentos construídos em escala maior. Foi observado ainda que o protocolo de simulação utilizado para constituição do RSMS, com o máximo de representação das frações gravimétricas por materiais equivalentes, aproximou-se mais do comportamento do RSU real do que os protocolos anteriores de RSMS da literatura, que muitas vezes possuem maior adição de solo ao corpo de prova. A variabilidade nas composições gravimétricas revelou impactos sobre as propriedades físicas e mecânicas dos RSMS, especialmente peso específico e parâmetros de resistência ao cisalhamento.

Todas as composições cisalhadas nos ensaios triaxiais exibiram ausência de resistência de pico e curvas tensão-deformação de curvatura ascendente em grandes deformações. Esse comportamento, predito na literatura para RSU, mas pela primeira vez observado em RSMS, corrobora as evidências da atuação da fração fibrosa na resistência ao cisalhamento e reforça a necessidade de reproduzí-la adequadamente nas simulações com RSMS. Essa representatividade frente às condições reais é um dos indicativos que validam o uso de RSMS como ferramenta experimental no campo de resíduos sólidos urbanos, contando ainda com as vantagens de controle sobre variáveis críticas e adequamento sanitário.

Por isso, sugere-se para pesquisas futuras a realização de ensaios de cisalhamento diretos, além de ensaios triaxiais drenados e ensaios de consolidação para as mesmas condições, com vistas a permitir mais interpretações dos dados de estresse efetivo. Finalmente, sugere-se ainda explorar diferentes variações granulométricas e modos mais mecanizados de produção das frações inorgânicas para padronizar e acelerar o processo de produção do RSMS.

AGRADECIMENTOS

À Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio à pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2020**. São Paulo, 2020. 52 p. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama/>. Acesso em: 01 mar. 2026.

BRAY, Jonathan D. et al. Shear strength of municipal solid waste. **Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering**, v. 135, n. 6, p. 709-722, 2009.

KOLSCH, F. Material values for some mechanical properties of domestic waste. **5th International Landfill Symposium - Sardinia 95**, Cagliari, Itália, p. 711-729, 1996.

LI, An-Zheng; FENG, Shi-Jin. A double-phase constitutive model for municipal solid waste with a fiber pullout criterion to evaluate the softening behavior. **Computers and Geotechnics**, v. 150, p. 104901, 2022.

NASCIMENTO, Júlio César Fialho do. **Comportamento mecânico de resíduos sólidos urbanos**. 2007. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 2007.

QUEIROZ, B.P., NASCENTES, R., FERRAZ, R.L. et al. Hydraulic conductivity of compressible clayey soil stabilized with kraft black liquor and composite cement. **Environ Earth Sci** 84, 479 (2025).

RAMAIAH, B. J.; RAMANA, G. V. Study of stress-strain and volume change behavior of emplaced municipal solid waste using large-scale triaxial testing. **Waste Management**, v. 63, p. 366-379, 2017.

REDDY, Krishna R. et al. Geotechnical properties of municipal solid waste at different phases of biodegradation. **Waste management**, v. 31, n. 11, p. 2275-2286, 2011. DOI: https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.06.002.

SINGH, Vidit; UCHIMURA, Taro. Effect of material composition on geotechnical properties—Study on synthetic municipal solid waste. **Geotechnics**, v. 3, n. 2, p. 397-415, 2023. DOI: https://doi.org/10.3390/geotechnics3020023.

SOARES, Nathália Delage. **Resistência dos resíduos sólidos urbanos em função do nível de compactação e presença de plásticos moles**. Orientadora: Profa. Dra. Rejane Nascentes. Dissertação. Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2021. 137 p. 2021.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (2024). **Global Waste Management Outlook 2024: Beyond an age of waste – Turning rubbish into a resource**. Nairobi. https://wedocs.unep.org/20.500.11822/44939 DOI: https://doi.org/10.59117/20.500.11822/44939.

VILAR, Orencio M.; CARVALHOD, MdeF. Mechanical properties of municipal solid waste. **Journal of Testing and Evaluation**, v. 32, n. 6, p. 438-449, 2004.

XIE, Yuekai et al. Geotechnical properties of fresh municipal solid wastes with different compositions under leachate exposure. **Waste Management**, v. 149, p. 207-217, 2022. DOI: https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.06.020.