

Avaliação da Força de Tração Utilizando Plástico Mole em Contato com Lixiviado de RSU no Tempo

Fernanda Feltrim

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, fernandafeltrim@hotmail.com

Juliana Lundgren Rose

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, julrose@gmail.com

André Bressiani Machado

União de Ensino do Sudoeste do Paraná, Dois Vizinhos, Brasil, admachado94@yahoo.com.br

Ronaldo Luis dos Santos Izzo

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, izzo@utfpr.edu.br

Wagner Teixeira

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, teixeira.wagner@hotmail.com

Alexandre Mokdici dos Reis

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, amr.92@hotmail.com

RESUMO: Atualmente no Brasil, no que diz respeito à disposição final dos RSU, a principal técnica utilizada é o aterro sanitário, logo, conhecer e pesquisar aspectos técnicos principalmente no que diz respeito a geotecnia se torna de extrema importância. Dentre os assuntos pesquisados na geotecnia de aterro sanitário existe o aumento da resistência ao cisalhamento proporcionada por materiais que possuem comportamento fibroso, como plásticos e têxteis. No entanto, esses materiais vão sofrendo alterações e assim modificando suas propriedades e, por consequência, interferindo nas propriedades de resistência ao cisalhamento ao longo do tempo. Alinhando essas informações, o presente trabalho tem por objetivo avaliar a influência da largura, da distância entre as ancoragens e do contato com o lixiviado na força de tração resultante do plástico mole. Foram utilizadas sacolas plásticas de supermercado, cortadas em tiras de 0,5 e 1,0 cm de largura e comprimentos variados, estas ficaram em contato com o lixiviado coletado em um aterro sanitário da região metropolitana de Curitiba-PR. O plástico mole foi submetido à ensaios de força de tração sem ter ficado imerso no lixiviado e imerso por um período de 45, 105 e 165 dias, variando a largura e a distância entre as ancoragens (0 cm e 21 cm), sendo que a taxa de carregamento utilizada foi de 1 mm.min^{-1} . Todos os ensaios foram realizados em triplicata, sendo que para a avaliação dos resultados, se trabalhou com a média dos outros três valores. O estudo permitiu verificar que os ensaios executados com largura de 1,0 cm resultaram em força de tração superior àqueles executados com largura de 0,5 cm. Quando se avaliou a distância entre as ancoragens, pode-se perceber que quanto menor a distância entre as ancoragens maior a força de tração resultante. No que diz respeito à força de tração resultante quando se avalia a exposição ao lixiviado, não foi possível diagnosticar uma tendência.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos Sólidos Urbanos, Plástico Mole, Resistência ao Cisalhamento, Força de Tração, Lixiviado, Efeito Fibra.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente no Brasil, a principal técnica utilizada para a disposição final dos resíduos sólidos urbanos (RSU) é o aterro sanitário, onde no ano de 2014, a quantidade gerada destes resíduos foi cerca de 113975 t.dia⁻¹, sendo 58,4%, deste material teve o destino citado (ABRELPE, 2015). Sendo assim, é de fundamental importância compreender todos os aspectos envolvidos nesta técnica, principalmente no âmbito geotécnico da massa de resíduo.

Dentre as linhas de pesquisa voltadas à geotecnia de aterro sanitário, existe o modelo proposto por Kölsch em 1995, o qual admite que os materiais com comportamento fibroso presentes na massa de RSU proporciona um acréscimo na resistência ao cisalhamento.

Na Figura 1, pode ser observado o modelo proposto por Kölsch (Kölsch, 1995), o qual considera que, para pequenas deformações existe apenas a mobilização das forças de atrito (I), quando a deformação aumenta, o material com comportamento fibroso vai sendo aos poucos tracionado, as forças de tração aumentam até atingirem um valor máximo ($Z_{máx.}$), que equivale à resistência à tração neste ponto, e a máxima resistência ao cisalhamento é atingida (II). A partir do valor máximo de tensão ($Z_{máx.}$) a parcela das forças de tração sofre redução, devido ao rompimento do material com comportamento fibroso (III), sendo que em seguida, a resistência ao cisalhamento se limita à parcela de atrito (IV), a qual aumenta linearmente conforme o aumento da tensão normal.

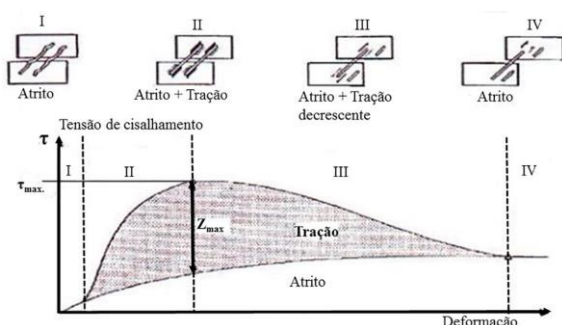


Figura 1. Curva tensão x deformação com a interação entre as duas parcelas de resistência, atrito e reforço. Fonte: Adaptado de Kölsch (1995, apud DE LAMARE NETO, 2004)

Neste contexto, torna-se indispensável conhecer os aspectos envolvidos a respeito do material com comportamento fibroso, para que essas variáveis venham ser consideradas em projetos de aterros sanitários.

A presente pesquisa buscou compreender como o plástico mole, componente presente na massa de resíduos, se comporta na presença de lixiviado de RSU, no âmbito da resistência à força de tração.

2 METODOLOGIA

2.1 Plástico Mole e Lixiviado

Foram utilizados dois materiais para a execução dos ensaios, o plástico mole, proveniente de sacolas plásticas de supermercado (Figura 2), as quais foram cortadas em tiras de 0,5 cm e 1,0 cm, e o lixiviado, o qual foi coletado em setembro de 2014, em um aterro sanitário da Região Metropolitana de Curitiba-PR (Figura 3).



Figura 2. Sacola plástica utilizada



Figura 3. Coleta do lixiviado

Com ambos os materiais em mãos os mesmos foram colocados em contato, sendo adicionadas as tiras plásticas em potes plásticos e, posteriormente, adicionado o lixiviado. Em seguida, os recipientes foram encaminhados para geladeira a temperatura de, aproximadamente, 5 °C.

2.2 Ensaios de Resistência à Força de Tração do Plástico Mole

Para os ensaios de força de tração do plástico mole foi utilizada uma prensa (WILLE GEOTECHNIK – UL60) em conjunto com (Figura 4):

- Um anel; confeccionado especificamente para a realização dos ensaios, onde o material empregado na sua fabricação foi a poliamida, possuindo dimensões de 165 mm de diâmetro, 5,4 mm de espessura e 25,5 mm de largura.
- Dois transdutores do tipo LVDT (*linear variable differential transducer*) utilizados para as leituras de deslocamento da prensa (GEFRAN modelo PZ-34-S-2) e força de tração (ELE modelo M921137D813-02).
- Quatro dispositivos elaborados para agarrar as tiras plásticas, sendo o dispositivo superior mantido fixo, enquanto que os dispositivos inferiores foram substituídos conforme a distância entre as ancoragens (Figura 5) a ser trabalhada.
- Sistema de aquisição de dados.
- Computador.



Figura 4. Conjunto de equipamentos utilizados para o ensaio de força de tração do plástico mole



Figura 5. Distância entre as ancoragens

O plástico mole foi submetido ao ensaio de tração em diferentes larguras (1 cm e 0,5 cm), diferentes distâncias entre as ancoragens (0 cm e 21 cm) e taxa de carregamento de 1 mm.min⁻¹. Para melhor compreensão do percurso dos ensaios foi elaborado um fluxograma conforme Figura 6.

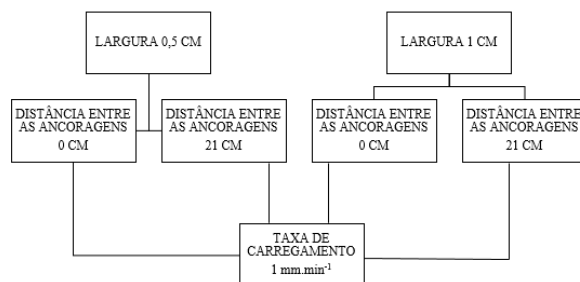


Figura 6. Fluxograma explicativo dos ensaios de força de tração

Os ensaios foram realizados com o plástico mole não imerso no lixiviado, imerso por 45, 105 e 165 dias, sendo todos executados em triplicata. No dia de cada ensaio, os recipientes que iriam ser utilizados eram retirados da geladeira, sendo em seguida as tiras de plástico mole retiradas do lixiviado e secas com papel toalha e submetidas ao ensaio de tração.

2.3 Determinação do Deslocamento para Cada Ensaio

Foram executados os ensaios de tração com o plástico mole não imerso no lixiviado e a partir deste ensaio foi determinado o deslocamento máximo da prensa para cada combinação das variáveis de controle (largura e distância entre

as ancoragens). A partir destes ensaios foi plotada a curva de deslocamento x tração, verificando em qual deslocamento havia estabilização da curva. Na Tabela 1, encontram-se as combinações dos ensaios e seus respectivos deslocamentos necessários para a estabilização da curva de deslocamento x tração.

Tabela 1. Ensaios realizados e seu respectivo deslocamento necessário para estabilização da curva de força de tração *versus* deformação

Largura (cm)	Distância entre as ancoragens (cm)	Taxa de carregamento (mm.min ⁻¹)	Deslocamento (mm)
1	0	1	10
	21	1	34
0,5	0	1	10
	21	1	34

2.4 Análise de Dados

Para as três observações de cada ensaio foi calculada a média dos três valores de força de tração resultante. O resultado selecionado para fazer a análise de dados foi à força de tração equivalente no ponto de deslocamento máximo. O software utilizado para a análise de dados foi o Microsoft Excel 2010.

A interferência do tempo de exposição do plástico mole ao lixiviado foi calculada a partir do teste t de Student, onde os resultados de cada tempo de exposição foram comparados com os resultados do ensaio com o plástico mole não imerso no lixiviado. Neste caso, há realização de um teste de hipótese, onde há a hipótese nula ($H_0 = \mu_1 = \mu_2$), ou seja, não há interferência do tempo de exposição do plástico mole ao lixiviado, e a hipótese alternativa ($H_1 = \mu_1 \neq \mu_2$), ou seja, o tempo de exposição do plástico mole ao lixiviado influencia na força de tração resultante. Para que H_1 seja aceita o valor-p deve ser menor ou igual a 0,05 (valor- $p \leq 0,05$), caso contrário se aceita H_0 . Foi utilizado para a execução desta análise o software Minitab 17, onde se trabalhou com os resultados das três observações.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Influência do Contato do Plástico Mole com o Lixiviado Sobre a Força de Tração

A influência sobre a força de tração do plástico mole exercida pelo contato do material com o lixiviado foi verificada por uma análise comparativa entre as forças de tração resultante com o plástico mole não imerso no lixiviado, com as forças de tração obtidas em determinados tempos de contato.

Nota-se na Figura 7A (ensaio com largura 1 cm e distância entre as ancoragens de 0 cm), que todas as forças de tração resultantes do plástico mole em contato com o lixiviado foram superiores à sem imersão do plástico mole no lixiviado. No entanto, apenas o ensaio executado aos 105 dias resultou em força de tração superior ao ensaio sem imersão, para o ensaio com largura de 1 cm e distância entre as ancoragens de 21 cm (Figura 7B).

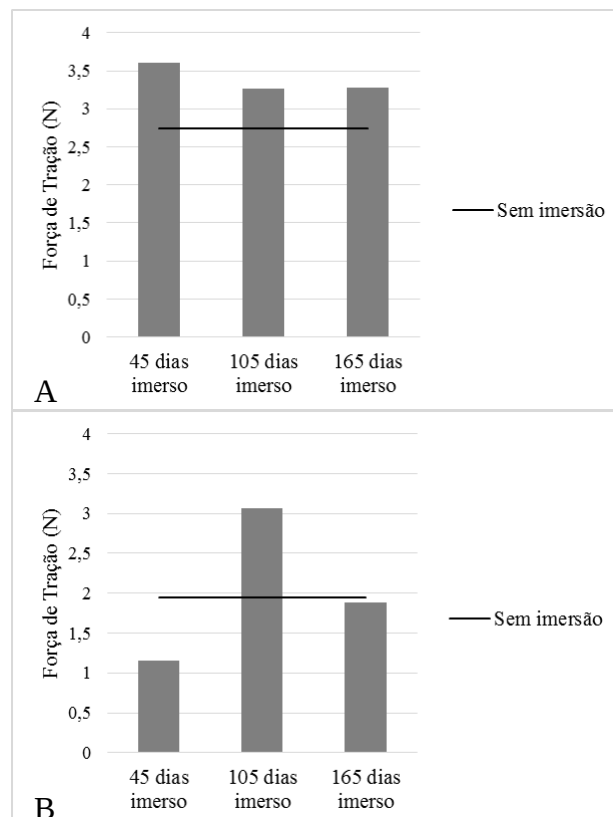


Figura 7. Comparação entre a força de tração obtida com o plástico mole não imerso no lixiviado com a força de tração obtida com plástico imerso no lixiviado em diferentes tempos para ensaios com: A) largura 1 cm e distância entre as ancoragens de 0 cm. B) largura 1 cm e distância entre as ancoragens de 21 cm.

Nos ensaios executados com largura de 0,5 cm, independentemente da distância entre as ancoragens utilizada, a força de tração resultante aos 45 e 105 dias de imersão, foi superior à força de tração do ensaio sem imersão do plástico mole no lixiviado, enquanto aos 165 dias o contrário ocorreu (Figura 8).

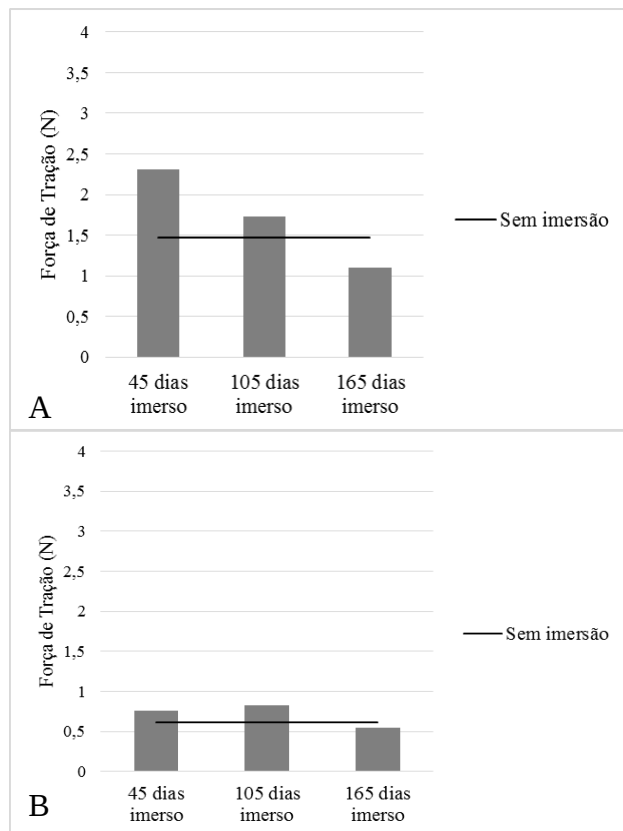


Figura 8. Comparação entre a força de tração obtida com o plástico mole não imerso no lixiviado com a força de tração obtida com plástico imerso no lixiviado em diferentes tempos, para ensaios com: A) largura 0,5 cm e distância entre as ancoragens de 0 cm. B) largura 0,5 cm e distância entre as ancoragens de 21 cm.

Através do teste t de Student, verificou-se que, para todos os ensaios aos 45 dias, a imersão do plástico mole no lixiviado influenciou significativamente a força de tração resultante, fato este ocorrido também aos 105 dias apenas nos ensaios com distância entre as ancoragens de 21 cm. Já aos 165 dias de imersão do plástico mole no lixiviado, a imersão não foi significativa para nenhum dos ensaios executados (Tabela 2).

Observou-se uma variação nos resultados, porém, nota-se que há uma leve tendência a força de tração resultante com o plástico mole

imerso no lixiviado ser superior a força de tração com o plástico mole não imerso no lixiviado. Este fato pode estar relacionado a deposição de material sólido proveniente do lixiviado tornando o plástico mole com maior espessura e mais resistente a força de tração, porém, estudos mais prolongados devem ser realizados para verificar como o plástico mole se comporta quanto a resistência.

Tabela 2. Valor-p obtidos através do teste t de Student para cada ensaio

Ensaio	45 dias de imersão	105 dias de imersão	165 dias de imersão
L 1 cm DA 0 cm	*0,05	0,15	0,12
L 1 cm DA 21 cm	*0,01	*0,01	0,75
L 0,5 cm DA 0 cm	*0,01	0,21	0,07
L 0,5 cm DA 21 cm	*0,03	*0,03	0,26

L – Largura, DA – Distância entre as ancoragens

*Valor- $p \leq 0,05$.

3.2 Largura

Observa-se que os ensaios executados com largura da tira de plástico mole de 1 cm, resultaram em forças de tração superior aos ensaios executados com a largura da tira de plástico mole de 0,5 cm (Figura 9).

Correa, Jucá e Motta (2015) encontraram valores de força de tração de 6,74 N para sacolas de supermercado com dimensões de 25 x 75 mm e taxa de carregamento de 10 mm.s⁻¹.

Neste contexto, pode-se afirmar que quanto maior as dimensões do plástico mole presente na massa de resíduos maior será a força de tração suportada pelo material.

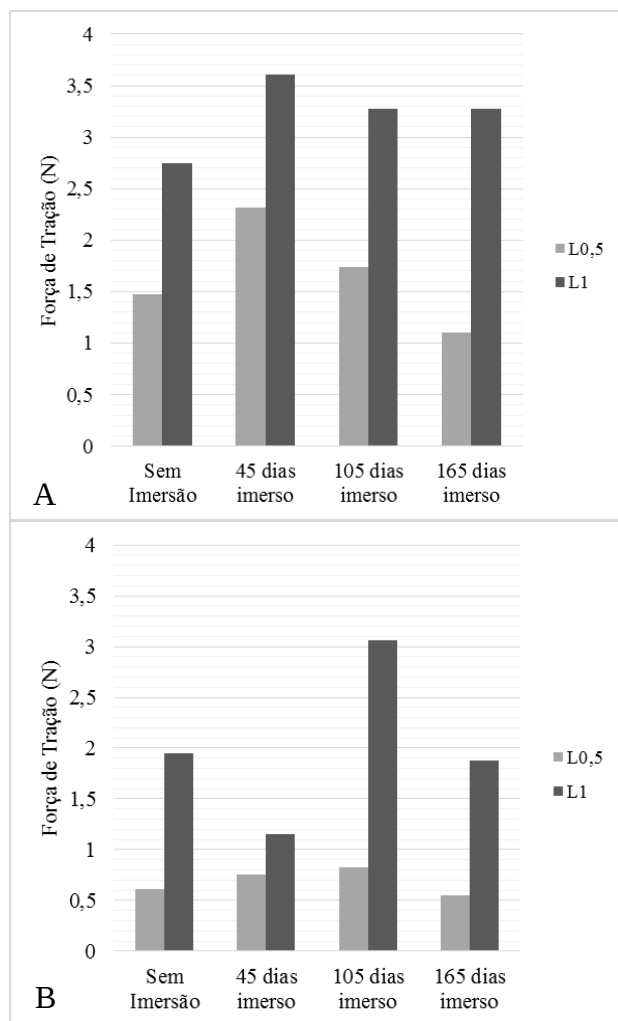


Figura 9. Análise da influência da largura do plástico mole na força de tração resultante para ensaios com: A) distância entre as ancoragens de 0 cm. B) distância entre as ancoragens de 21 cm.

3.3 Distância Entre as Ancoragens

A partir da avaliação das distâncias entre as ancoragens, foi possível verificar que a força de tração resultante para os ensaios executados com distância entre as ancoragens menor foi superior à força de tração resultante com os ensaios executados com distância entre as ancoragens maior (Figura 10), fato observado também por Gawlik (2014). Este fato está ligado à dissipação de energia aplicada, quando se tem menor distância entre as ancoragens a energia fica mais concentrada e o material resiste a uma maior força de tração, enquanto que, quando se tem maior distância entre as ancoragens a energia é dissipada e o material não resiste, na mesma magnitude, a força de tração aplicada.

A compactação dos RSU está diretamente ligada a distância entre as ancoragens, se o aterro sanitário possuir boa compactação o plástico mole se encontrará em uma distância entre as ancoragens menor, e por consequência haverá melhor interação do plástico mole com o restante dos resíduos sólidos urbano, otimizando a resistência ao cisalhamento proporcionada pelo plástico mole em taludes de aterros sanitários.

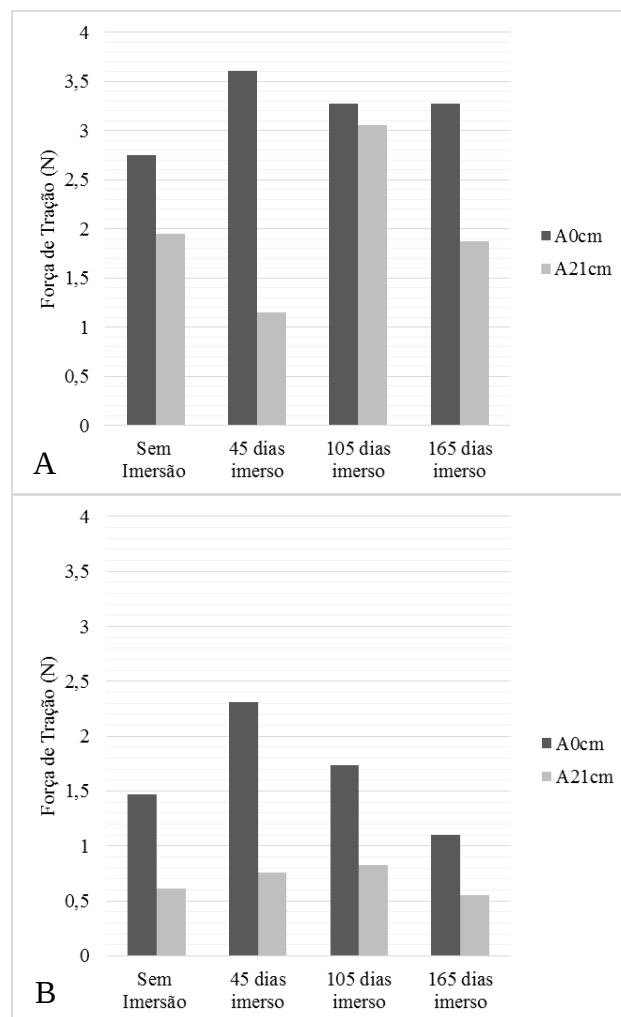


Figura 10. Análise da influência da distância entre as ancoragens na força de tração resultante para ensaios com: A) largura de 1 cm. B) largura de 0,5 cm.

4 CONCLUSÃO

Esforços voltados à geotecnia de aterros sanitários são imprescindíveis, principalmente no que diz respeito ao aumento da resistência ao cisalhamento proporcionada por materiais com comportamento fibroso.

Com o presente estudo foi possível verificar que o contato do plástico mole com o lixiviado interfere na força de tração resultante, porém não foi possível verificar uma tendência, fato ocorrido pela interação do plástico mole com componentes presentes no lixiviado.

No que diz respeito à largura e à distância entre as ancoragens, foi verificado que quanto maior as dimensões do plástico mole maior é a força de tração suportada pelo material, e que quanto menor esta distância, maior é a força de tração suportada pelo material, fato ligado a dissipação de energia no plástico mole.

É de fundamental importância que projetistas de aterros sanitário levem em consideração em seus projetos fatores como estes apresentados na presente pesquisa.

AGRADECIMENTOS

À UTFPR pela estrutura oferecida e a CAPES pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. *Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2014*. 11. ed. São Paulo: ABRELPE, 2015. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2014.pdf>>. Acesso em: 29 jan. 2016.
- Correa, C; Jucá, J. F. e Motta, E. Análise da influência do plástico mole na resistência ao cisalhamento de resíduos sólidos urbanos, *Engenharia Sanitária e Ambiental*, Rio de Janeiro, Vol. 20, p. 427-436.
- De Lamare Neto, A. (2004) *Resistência ao cisalhamento de resíduos sólidos urbanos e de materiais granulares com fibras*, Tese de Doutorado em Ciências em Engenharia Civil-Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 214f.
- Gawlik, F. M. (2014) *Estudo da variação da resistência ao cisalhamento do RSU devido a presença de plástico mole*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil-Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba.
- Kölsch, F. (1995) Material values for some mechanical properties of domestic waste. In: *Fifth International Landfill Symposium*, S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy, p. 711-729.