

ESTUDO DOS RECALQUES DE ATERROS SANITÁRIOS

Cláudio Luis de Araújo Neto¹, Breno Moura de Araújo Nobrega², Arthur de Oliveira Gomes Diniz³, Márcio Camargo de Melo⁴, Veruschka Escarião Dessoles Monteiro⁵

Universidade Federal de Campina Grande, claudioluisneto@gmail.com

Universidade Federal de Campina Grande, breno.moura.n@gmail.com

Universidade Federal de Campina Grande, dinizarthur1@gmail.com

Universidade Federal de Campina Grande, melomc90@gmail.com

Universidade Federal de Campina Grande, veruschkamonteiro@hotmail.com

RESUMO: Dentre as tecnologias usadas para tratar Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), a mais utilizada é o aterro sanitário, devido a sua praticidade e baixo custo. Porém, durante a disposição dos resíduos e, mesmo após o seu fechamento, os aterros sanitários estão sujeitos a ações de vários agentes mecânicos, físicos, químicos e biológicos, que são responsáveis pelos deslocamentos verticais (recalques) dos maciços sanitários. Quando se monitoram os recalques pode-se garantir o controle da estabilidade dos taludes e a integridade dos sistemas de drenagem de líquidos e gases, assim como melhorar o aproveitamento do volume útil. Por isso, este trabalho, tem como objetivo analisar os recalques dos resíduos sólidos urbanos dispostos em uma célula experimental, que simula um aterro sanitário. Para o desenvolvimento desta pesquisa construiu-se uma célula experimental com 3,5 m de altura, 2,0 m de diâmetro e volume de aproximadamente 11 m³. A célula foi preenchida com uma amostra representativa de resíduos da cidade de Campina Grande - PB. Esta célula foi instrumentada com placas superficiais e em profundidades para leitura dos recalques do maciço sanitário. Através do monitoramento realizado na célula experimental, observou-se que os maiores recalques ocorreram nas placas superficiais, uma vez que eles refletem o recalque total da célula experimental. As placas em profundidade que apresentaram maiores recalques foram as localizadas mais próximas da superfície externa. Logo, pode-se concluir que os recalques ocorrem de forma mais intensa na zona superior dos aterros, e na zona inferior eles são mais brandos.

Palavras-chave: resíduos sólidos urbanos, célula experimental, deslocamento vertical.

INTRODUÇÃO

O crescimento populacional acelerado e a grande concentração em áreas urbanas ocasionam aumento da utilização dos recursos naturais disponíveis, e conseqüentemente, na quantidade de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU). Portanto, a disposição final dos RSU é uma problemática mundial, quando não são gerenciados de forma correta. Segundo Karak et al. (2012) o controle e tratamento dos RSU deve ser realizado através de um sistema inteligente que minimiza os impactos negativos no meio ambiente. Segundo Castilhos Jr (2003) os aterros sanitários tem sido a forma mais utilizada para a disposição de resíduos no Brasil. Ling et al. (1998) afirmam que é um dos meios mais econômicos e viáveis de tratamento dos RSU.

Durante a disposição dos resíduos no aterro sanitário, e mesmo após seu fechamento, o maciço sanitário está sujeito a ações de vários agentes mecânicos, físicos, químicos e

biológicos, os quais são responsáveis pelas deformações que ocorrem no maciço ao longo do tempo. Estas deformações podem chegar à ordem de 30% a 40% da altura inicial do maciço sanitário (LING et al., 1998).

Os deslocamentos verticais em aterros sanitários correspondentes à redução de volume e perda de massa que ocorrem devido à aplicação de tensões, redução dos vazios e expulsão descendentes de líquidos percolantes e ascendentes de gases gerados pela degradação, são denominados de recalques (FARIAS, 2014). Para Araújo Neto (2016), os recalques são decorrentes dos processos de compactação, compressibilidade (física, química e biodegradativa) e adensamento do maciço sanitário. De modo geral, a NBR 6122 (ABNT, 1994) determina recalque como movimento vertical descendente de um elemento estrutural.

Sowers (1973) afirma que o recalque de maciços sanitários pode ser dividido em três fases ao longo do tempo: compressão inicial, ocorre quando há aplicação de uma carga externa e, conseqüentemente, a redução do índice de vazios, compressão primária, promovido pela dissipação das pressões neutras ou poro-pressões nos vazios e compressão secundária, equivalente ao creep e à biodegradação.

É de fundamental relevância que haja o acompanhamento geotécnico de todas estas fases ao longo do tempo, garantindo então o controle da estabilidade dos taludes, melhor aproveitamento do volume útil do aterro e garantia da integridade dos sistemas de drenagem de líquidos e gases. Para Swati e Joseph (2007), compreender os padrões de recalques dos RSU é fundamental para manter e preservar os vários elementos do aterro sanitário, assim como prever os espaços que podem ser recuperados para posterior preenchimento com RSU.

Células experimentais permitem acompanhar e compreender o comportamento de um aterro sanitário em escala real. Segundo Melo (2011) as células experimentais retratam uma técnica com a finalidade de conhecer melhor o funcionamento de aterros de RSU. Conforme Youcai et al. (2002) a utilização de células experimentais para simulação de aterros sanitários é válido, confiável e fidedigna quando as escalas e a geometria atenderem as necessidades do projeto. E ainda de acordo com Aires (2013), através de estudos em células experimentais pode-se compreender todas as dinâmicas que ocorrem na massa de resíduos aterradas, bem como a avaliação do seu comportamento quanto aos aspectos físicos, químicos e microbiológicos.

Segundo Benatti et al. (2013) analisar as variáveis que governam o comportamento dos RSU tem fundamental importância para a geomecânica de aterros sanitários. Através do acompanhamento dos recalques pode-se evitar danos no sistema de coleta de líquidos e gases,

fissuras na camada de cobertura e no sistema de revestimento do aterro, instabilidade da massa de RSU e ainda prolongar a vida útil do aterro. Por isso, este trabalho, tem como objetivo analisar os recalques dos resíduos sólidos urbanos dispostos em uma célula experimental.

METODOLOGIA

A pesquisa foi desenvolvida na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), onde se estudou os recalques dos RSU em uma célula experimental que simula um aterro sanitário.

Para o desenvolvimento da pesquisa construiu-se uma célula experimental (Figura 1) em alvenaria de tijolos maciços, com diâmetro interno de 2,0 m e altura de 3,5 m, com volume de aproximadamente 11 m³. Tem um formato de estrutura cilíndrica rígida com seção circular visando facilitar a distribuição e a compactação dos resíduos no seu interior, uniformizar a distribuição das pressões laterais na parede interna da célula experimental, evitar caminhos preferenciais de percolação do lixiviado e reduzir a área de superfície lateral interna, diminuindo, o contato entre os resíduos e a parede interna. A estrutura foi apoiada sobre uma base de concreto, fixada com auxílio de argamassa. Em suas camadas de base e cobertura foi empregado um solo com baixa permeabilidade ($k= 10^{-7}$ cm/s).

Figura 1 - Célula experimental.



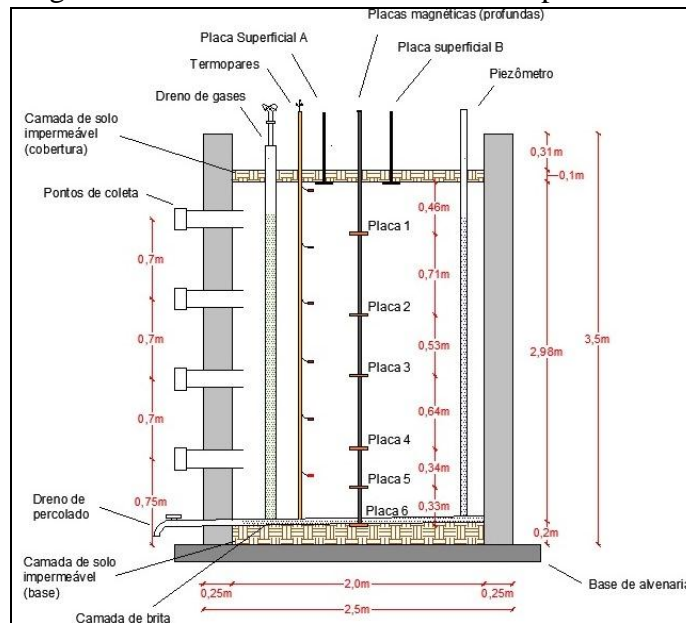
Fonte: Dados da pesquisa (2011).

A célula experimental possui uma instrumentação constituída de sistema de drenagem de líquidos e gases, piezômetro para medição do nível de líquidos, placas magnéticas

circulares para medição de recalques superficiais e em profundidade e termopares para medição da temperatura em profundidade.

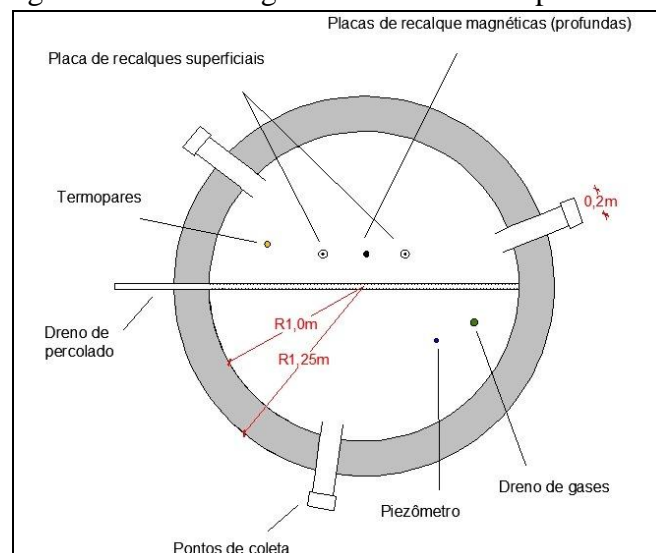
As Figuras 2 e 3 apresentam o desenho esquemático da célula experimental com o posicionamento das instrumentações instaladas para o monitoramento do maciço sanitário.

Figura 2 – Corte transversal da célula experimental.



Fonte: Dados da pesquisa (2016).

Figura 3 – Corte longitudinal da célula experimental.



Fonte: Dados da pesquisa (2016).

Para o enchimento da célula experimental, realizou-se um planejamento estatístico. Este baseou-se nas informações obtidas junto a Diretoria de Limpeza Urbana (DLU) e ao

Instituto Brasileiro de Geografia Estatística (IBGE). Para isso, foram utilizados dados do censo populacional do IBGE (2010), juntamente com dados da geração de resíduos da cidade fornecidos pelo DLU e, em seguida foi desenvolvida uma metodologia de amostragem, com o intuito de representar fielmente a composição dos resíduos sólidos gerados na cidade de Campina Grande - PB. A Tabela 1 apresenta a massa de resíduos coletados por bairro para garantir a representatividade da amostra.

Tabela 1 – Massa de resíduos coletados nos bairros amostrados.

Zona	Bairro	Resíduos (Kg)
Norte	Conceição	271,13
	Nações	110,85
	Palmeira	448,66
Sul	Estação Velha	261,20
	Jardim Paulistano	632,84
	São José	311,41
	Velame	475,90
Leste	José Pinheiro	1.270,24
	Nova Brasília	739,97
Oeste	Dinamérica	431,95
	Malvinas	3.052,04
	Quarenta	393,87
Total		8.400,06

Fonte: Dados da pesquisa (2011).

As medições dos recalques ocorreram através placas circulares em profundidade e duas placas superficiais, todas confeccionadas em aço e revestidas com uma película anticorrosiva.

Os monitoramentos dos recalques superficiais consistiram em esticar uma corda horizontalmente, fixando-a na borda da célula experimental que representava o referencial fixo das medições, em seguida com auxílio de uma trena realizou-se a medição da distância vertical entre a parte inferior da corda até o início das hastes.

Já as leituras dos recalques em profundidade foram realizadas a partir da introdução de um guia com sensor magnético na ponta, revestido com mangueira graduada, no interior no interior do tubo de PVC instrumentado no centro da célula experimental com o intuito de identificar a localização das placas magnéticas. O sensor foi acoplado a um ohmímetro digital, que exibia uma oscilação negativa quando se aproxima das placas metálicas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 apresenta o posicionamento inicial e final das placas de recalques instaladas na célula experimental, assim como os recalques ocorridos em cada placa. Possuindo como ponto de referência a base da célula experimental. A posição inicial das placas foi registrada no dia 10 de setembro de 2011, que corresponde à data do enchimento da célula experimental, e a posição final foi monitorada do dia 23 de janeiro de 2015.

Tabela 2 – Recalques monitorados na célula experimental.

Placa	Posição inicial (cm)	Posição final (cm)	Recalque total cumulado (cm)	Recalque total não cumulado (cm)
Placa A	321	226	95	30
Placa B	321	228	93	28
Placa 1	272	207	65	15
Placa 2	201	151	50	15
Placa 3	148	113	35	18
Placa 4	84	67	17	5
Placa 5	50	38	12	12
Placa 6	17	17	0	0

As maiores deformações observadas na Tabela 2 foram nas placas superficiais A e B. Como ambas estão situadas no mesmo nível de cota da célula experimental, já se esperava

que elas apresentassem comportamento semelhante. As diferenças dos recalques ocorridos entre estas placas estão associados à heterogeneidade dos resíduos. É evidente que as placas superficiais refletem o recalque total da célula experimental. Alcântara (2007) também verificou que as maiores deformações ocorrem nas placas que estão mais próximas da superfície do maciço.

A ocorrência de um recalque total médio de 94 cm na célula experimental durante 1231 dias viabiliza a inserção de uma nova camada de aproximadamente 3 m³ cúbicos de resíduos. Esta operação possibilita uma maximização na vida útil desses sistemas de tratamento, permitindo a disposição de novos resíduos.

Nas Figura 3 e 4 pode ser observada a amplitude do recalque ocorrido durante o período de monitoramento, realizado através das placas superficiais e magnéticas. Em um aterro sanitário o volume dessas deformações se mostra de forma mais intensa, e tem como consequência o aumento da vida útil do aterro, contudo caso não monitoradas de forma correta podem comprometer a estrutura da obra.

Figura 3 – célula experimental logo após o enchimento

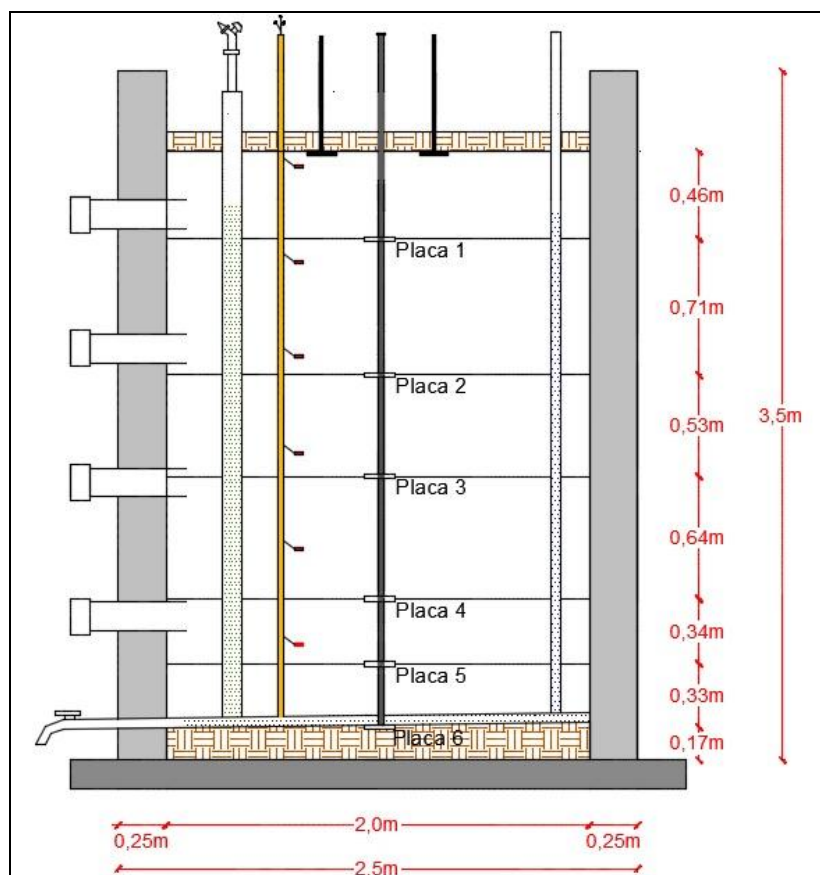
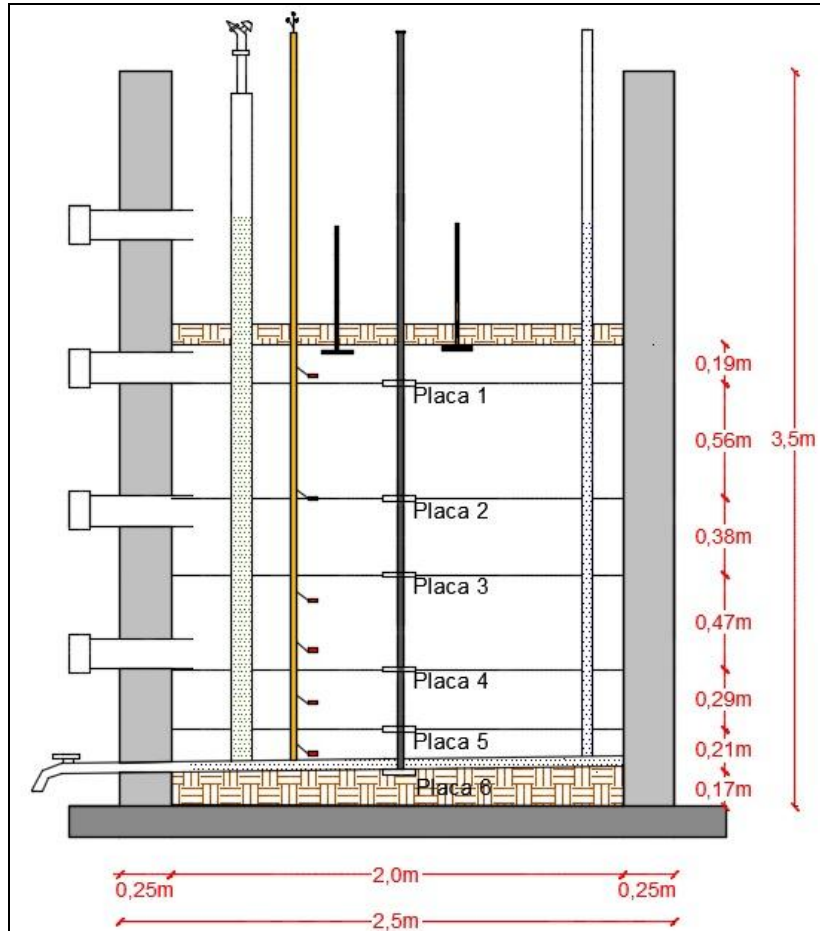


Figura 4 – célula experimental após 1231 dias do enchimento



As placas 1, 2, 3, 4, 5 e 6 permite a identificação de recalques mais intensos em algum nível de profundidade na célula em estudo. A placa 6 não apresentou deslocamento com o tempo por estar acima camada de base que é praticamente incompressível, por isso seu recalque foi nulo durante todo o período de monitoramento.

As placas em profundidade que apresentaram maiores recalques foram as placas 3, 2 e 1, isso provavelmente ocorreu não somente por essa região estar mais próxima a superfície externa facilitando a biodegradação aeróbia, decomposição mais intensa, como também pela possível concentração de lixiviado e substâncias tóxicas que inibiram os processos biodegradativos da zona inferior, desfavorecendo conseqüentemente, os recalques. Contudo podem haver recalques não contabilizados na análise dos dados, o que aumentaria a amplitude dessas deformações, uma vez que durante o enchimento da célula experimental ocorrem recalques na massa de resíduos, em virtude de seu peso próprio e de sua compactação.

A placa 3 apresentou maior recalque em profundidade devido, provavelmente, a condições biodegradativas favoráveis como pH, temperatura e umidade ótimas, como também por possuir a segunda maior camada de resíduos a ser recalçada. Apesar da Placa 1

corresponder a maior zona, em termo de altura de resíduos, da célula experimental, ela não apresentou os maiores recalques. Isso se deu provavelmente as tensões aplicadas, que são inferiores aquelas aplicadas nas camadas subjacentes, além de corresponder a uma zona de transição aeróbia/anaeróbia, caracterizando-a como uma zona instável biologicamente.

As placas 4 e 5, as mais profundas, apesar de possuírem um maior carregamento, apresentaram menores recalques quando comparado às outras placas, isso ocorreu porque as zonas de resíduos dessas placas apresentaram menor altura quando comparadas as demais, assim como uma possível inibição dos processos biodegradativos, devido a lixiviação de substancias toxicas para essas zonas..

Em um aterro sanitário é importante, para sua manutenção, que a predominância dos recalques seja na zona intermediaria, visto que, deformações em sua zona inferior podem danificar a instrumentação instalada, e recalques na zona superficial podem causar fissuras na camada de cobertura.

CONCLUSÃO

O recalque total máximo da célula experimental foi obtido através das placas superficiais A e B que se encontram na interface camada de cobertura e resíduos, estes recalques também correspondem aos deslocamentos máximos monitorados na célula experimental.

Os maiores recalques em profundidade, que foram obtidos por placas magnéticas posicionadas em diferentes alturas do maciço sanitário, correspondem aqueles monitorados pelas placas que estão posicionadas entre o centro e a camada de cobertura da célula experimental.

Os recalques ocorrem de forma mais intensa na zona superior da célula, e na zona inferior eles são mais brandos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122**: Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro: ABNT, 1996.

AIRES, K. O. **Monitoramento das concentrações de gases em uma célula experimental de resíduos sólidos urbanos na cidade de Campina Grande-PB**. 2013. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2013.

ALCANTARA, P. B. **Avaliação da influência da composição de resíduos sólidos urbanos no comportamento de aterros simulados.** 2007. Tese de Doutorado. Tese de Doutorado–Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE.

ARAÚJO NETO, C. L. de. **Análise do Comportamento dos Resíduos Sólidos Urbanos e Desenvolvimento de Modelos Estatísticos para Previsão das Deformações de Aterros Sanitários.** 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande – PB.

BENATTI, J. C. B., PAIXÃO FILHO, J. L., LEME, M. A. G., & MIGUEL, M. G. Construction of a large-scale experimental cell to obtain hydro-geomechanical parameters of MSW of the city of Campinas, Brazil. In: **Fourteenth International Waste Management and Landfill Symposium, Margherita di Pula. Proceedings...** Sardinia. 2013.

CASTILHOS JÚNIOR, A. B., LANGE, L., GOMES, L., PESSIN, N.. Principais processos de degradação de resíduos sólidos urbanos. **Resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte.** Rio de Janeiro: ABES, Projeto PROSAB, 2003.

KARAK, Tanmoy; BHAGAT, R. M.; BHATTACHARYYA, Pradip. **Municipal solid waste generation, composition, and management: the world scenario.** Critical Reviews in Environmental Science and Technology, v. 42, n. 15, p. 1509-1630, 2012.

FARIAS, R. M. de S. **Estudo dos recalques em aterros de resíduos sólidos urbanos: uma abordagem estatística e experimental.** 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande – PB.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Contagem Populacional.** 2010.

LING, Hoe I. et al. **Estimation of municipal solid waste landfill settlement.** Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, v. 124, n. 1, p. 21-28, 1998.

MELO, M. C. **Influência da Matéria Orgânica nos Recalques de Resíduos Sólidos Urbanos Aterrados.** 2011. 148 f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Centro de Ciências e Tecnologia. Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2011.

SOWERS, George F. **Settlement of waste disposal fills: Conference.** session four. 6f, 1t, 3r. proc. eighth int. conf. on soil mech. found. engng. moscow, v2. 2, 1973, p207–210. In: International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts. Pergamon, 1975. p. 57-58.

SWATI, M.; JOSEPH, Kurian. Settlement analysis of fresh and partially stabilised municipal solid waste in simulated controlled dumps and bioreactor landfills. **Waste Management**, v. 28, n. 8, p. 1355-1363, 2008.

YOUCAI, Z.; LUOCHUN, W.; RENHUA, H.; DIMIN, X.; GUOWEI, G. A comparison of refuse attenuation in laboratory and field scale lysimeters. **Waste Management**, v. 22, n.1, p. 29-35, 2002.

