

Previsão dos deslocamentos do aterro sanitário de Viçosa, Minas Gerais, Brasil

Displacement evaluation of Viçosa sanitary landfill, Minas Gerais, Brazil

Roberto Francisco de Azevedo*
Izabel Christina Duarte Azevedo**
Alessandro Saraiva Loreto***
Adinele Gomes Guimarães****

RESUMO - O presente artigo trata dos deslocamentos que ocorrem em resíduos sólidos urbanos (RSU) devidos a processos mecânicos. São apresentados resultados de ensaios de compressão confinada em amostras cilíndricas de RSU da cidade de Viçosa, com cerca de 100 cm de diâmetro e 175 cm de altura. Descreve-se a aparelhagem utilizada nos ensaios, bem como a determinação dos parâmetros de compressibilidade dos resíduos. Por fim, com estes parâmetros, é realizada uma estimativa dos deslocamentos que deverão ocorrer no aterro sanitário da cidade de Viçosa, usando-se o método dos elementos finitos.

SYNOPSIS - The present paper deals with municipal solid waste (MSW) displacements due to mechanical processes. Results of confined compression tests performed in cylindrical samples having 100 cm diameter and 175 cm height on MSW of Viçosa city are presented. The equipment used in the experiments is described as well as the procedure followed to determine the compressibility parameters of the MSW. Finally, with the parameters, an estimate of the expected displacements in the sanitary landfill of Viçosa city is calculated using the finite element method.

* Professor Titular,
Departamento de
Engenharia Civil,
Universidade Federal de
Viçosa, E-mail:
razevedo@ufv.br

** Professora Adjunta,
Departamento de
Engenharia Civil,
Universidade Federal de
Viçosa, E-mail:
iazevedo@ufv.br

*** Professor, Fundação
Educativa de Caratinga,
E-mail: razevedo@ufv.br

**** Mestranda,
Departamento de
Engenharia Civil,
Universidade Federal de
Viçosa, E-mail:
razevedo@ufv.br

Palavras-chave – Resíduos sólidos urbanos; deslocamentos; ensaios de laboratório; métodos dos elementos finitos.

1 - INTRODUÇÃO

No último século, o crescimento do consumo de produtos industrializados e o aumento populacional das cidades fizeram com que a quantidade de resíduos sólidos urbanos crescesse exponencialmente.

Diversas técnicas são utilizadas para o tratamento e disposição final de RSU, como a incineração, a triagem e compostagem, os aterros sanitários, etc.. Até o momento, por simplicidade e economia, os aterros sanitários têm sido a técnica mais utilizada.

No Brasil, produzem-se cerca de 230.000 toneladas de RSU por dia, sendo que na maioria dos 5561 municípios do país, os resíduos são dispostos de forma inadequada em "lixões" ou vazadouros.

A crescente geração de RSU e a dificuldade em se encontrar áreas de disposição, próximas aos grandes centros urbanos, têm feito com que os aterros tenham alturas cada vez maiores. Com isso, os aterros experimentam maiores deslocamentos e maiores riscos de instabilidade dos seus taludes.

O cálculo de deslocamentos em aterros sanitários permite um melhor dimensionamento do sistema de cobertura final dos RSU, bem como dos sistemas de coleta de águas pluviais, líquidos percolados e gases. Além disso, possibilita a determinação mais precisa da vida útil dos aterros, fator importante no gerenciamento dos RSU, e o desenvolvimento de estudos para o reaproveitamento das áreas ocupadas após o encerramento dos aterros.

De acordo com Grisolia e Napoleoni (1996) e Van Meerten *et al.* (1995), os RSU são meios multifásicos particulados, constituídos por sólidos (partículas inertes estáveis, elementos muito deformáveis de comportamento anisotrópico e elementos biodegradáveis), líquidos e gases.

Sowers (1973) e Manassero *et al.* (1996) descreveram os mecanismos que produzem deformações em aterros de RSU da seguinte forma. *Solicitação mecânica*: consiste na ocorrência de distorção, dobra, esmagamento, quebra e rearranjo de partículas. *Ravinamento interno*: consiste na erosão e migração de partículas finas para vazios existentes entre as partículas maiores. *Alterações físico-químicas*: corrosão, oxidação e combustão de partículas. *Biodegradação*: degradações biológicas, que correspondem à fermentação e degradação de partículas, levando à transferência da massa da fase sólida para as fases líquidas e gasosas. *Interação*: interação entre mecanismos, por exemplo: a geração de ácidos orgânicos a partir da biodegradação pode alterar física e quimicamente outros materiais; a alteração do volume pela solicitação mecânica pode provocar ravinamento interno; etc. *Dissipação dos excessos de pressões de líquidos e gases existentes nos poros*: consiste na deformação decorrente da

dissipação destes excessos de poro-pressão ao longo do tempo.

De acordo com Boscov e Abreu (2000), a maioria de autores considera que, à semelhança de solos, as deformações dos aterros sanitários podem ser divididas, ao longo do tempo, em três fases, *compressão inicial*, *compressão primária* e *compressão secundária*. A *compressão inicial* corresponde aos deslocamentos instantâneos que ocorrem quando as solicitações externas, peso próprio e/ou sobrecargas, são aplicadas ao aterro sanitário. Este tipo de deformação é análogo à compressão não-drenada que ocorre nos solos saturados. A *compressão primária* corresponde aos deslocamentos derivados da dissipação dos excessos de poro-pressões (líquido e gás) existentes nos vazios e geralmente ocorre nos primeiros 30 dias após a aplicação de carga (Sowers, 1973; Wall e Zeiss, 1995). A *compressão secundária* corresponde aos deslocamentos devidos à deformação lenta (creep) e a degradação biológica (biodegradação) dos RSU. A compressão secundária pode durar décadas, atingindo 25% da espessura total do aterro e ser responsável pela maior parcela das deformações dos aterros sanitários. Naturalmente, esta divisão do desenvolvimento dos deslocamentos em fases é uma simplificação, uma vez que certamente eles ocorrem simultaneamente (Boscov e Abreu, 2000).

Segundo Wall e Zeiss (1995), os recalques em aterros de RSU variam entre 2,5% e 5,0% da altura inicial dos resíduos.

Jessberger e Kockel (1993) apresentam resultados de um ensaio de compressão confinada realizado em um equipamento de grandes dimensões com 1 m de diâmetro e 20 cm de altura. O ensaio foi realizado em uma amostra de RSU de aproximadamente 15 anos. Os autores apresentam curvas de recalque com o tempo para vários níveis de tensão vertical. Apresentam, também, uma faixa de valores dentro da qual se situam os módulos de elasticidade encontrados no ensaio.

Van Impe (1998) apresenta duas curvas que limitam superior e inferiormente os valores de módulos de elasticidade de RSU em função da tensão vertical encontrados por diversos autores.

Alciturri *et al.* (1995) apresentaram os resultados de três anos de monitoramento dos deslocamentos ocorridos no Aterro Sanitário de Meruelo, na região da Cantabria, no norte da Espanha. Os resultados mostraram que os deslocamentos verticais foram da ordem de 3 a 4% da altura do aterro e os deslocamentos horizontais foram bem menores que os verticais.

Junqueira e Palmeira (1999) apresentaram as curvas de recalque com o tempo de duas células piloto de 12 m x 5 m x 2 m preenchidas com os RSU das cidades de Gama e Sobradinho. Foram medidos recalques de aproximadamente 20 cm, correspondentes à deformação específica de 10%,

nas duas células, durante os nove primeiros meses do experimento.

Jucá e Melo (1999) apresentaram as curvas de recalque com o tempo de duas células do Aterro Sanitário de Aguazinha, que atende ao município de Olinda, na região metropolitana da cidade de Recife, em Pernambuco. Os recalques nas diferentes placas das duas células variaram de 1 a 4 m durante cerca de um ano e meio.

Kaimoto *et al.* (1999) analisaram recalques de marcos superficiais em quatro sub-aterros (AS-1, AS-2, AS-3 e AS-4) do Aterro Sanitário Bandeirantes/SP que recebe, há cerca de 21 anos, aproximadamente 80.000 kN de resíduos por dia, dispostos em uma área de 1.500.000 m². O aterro está sendo construído pelo método da rampa e a espessura de resíduos varia entre 30 e 100 m. Ao fim de 15 anos, as deformações específicas medidas variaram entre 20 e 35%.

Bosco e Abreu (2000) apresentaram recalques dos sub-aterros (AS-2 e AS-5) do Aterro Sanitário Bandeirantes/SP. Os recalques do sub-aterro AS-2 atingiram valores em torno de 15 m, aproximadamente 10 anos após o fechamento da célula monitorada. Já os recalques monitorados no sub-aterro AS-5 foram muito menores, entre 4 e 5 m, pouco menos de 3 anos após o encerramento da célula monitorada.

Jucá (2003) apresentou curvas de recalques superficiais e em profundidade variando com o tempo na célula 4 do Aterro da Muribeca, na cidade de Recife, em Pernambuco. A partir das medições de recalque, no período de 1999 a 2002, o autor comenta que estão sendo feitos estudos de associação entre os recalques e a biodegradação dos RSU.

Carvalho *et al.* (2003) estudaram recalques em RSU através de ensaios de laboratório e dados de monitoramento no Aterro Sanitário Bandeirantes/SP, em São Paulo. Os ensaios de laboratório realizados com um consolidômetro, com 37 cm de diâmetro e 40 cm de altura, mostraram que os RSU apresentaram uma compressão inicial, um trecho de compressão primária relativamente curto e um trecho de compressão secundária caracterizado por um aumento linear das deformações com o logaritmo do tempo. No monitoramento de campo, a relação recalque versus tempo apresentou um recalque imediato seguido por um comportamento linear dos deslocamentos com o logaritmo do tempo e, finalmente, ainda um comportamento linear dos deslocamentos com o logaritmo do tempo, mas com uma inclinação diferente da anterior. Esta última iniciou-se, aproximadamente, 200 dias após a aplicação do carregamento, quando os recalques resultam, basicamente, do processo de biodegradação do RSU.

Dando seqüência a estes trabalhos, este artigo trata dos deslocamentos que ocorrem em RSU

devidos a processos mecânicos. Apresentam-se resultados de ensaios de compressão confinada em amostras cilíndricas de RSU da cidade de Viçosa, com cerca de 1 m de diâmetro e 2 m de altura. Com estes parâmetros, são realizadas estimativas dos deslocamentos que poderão vir a ocorrer no aterro sanitário da cidade de Viçosa, utilizando o método dos elementos finitos.

2 - MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 - Descrição do caso estudado

O Município de Viçosa está localizado no Estado de Minas Gerais, sudeste brasileiro, numa região conhecida como Zona da Mata. O município é montanhoso e tem uma altitude média de 650 m.

O clima predominante é o subtropical úmido caracterizado por duas estações marcantes, inverno seco e verão chuvoso. A temperatura e a precipitação média anual, nos últimos 20 anos, são, respectivamente, 19,8 °C e 1227,1 mm.

A área do aterro sanitário de, aproximadamente, quinze hectares, está localizada no morro de Seriquite, na latitude 20°43'35" sul e longitude 42°56'15" oeste a, aproximadamente, oito quilômetros do centro urbano.

Para a caracterização dos solos existentes na área do aterro foram realizados ensaios de sondagem à percussão no campo e ensaios de laboratório (Azevedo, 2002).

As sondagens determinaram um perfil de intemperismo típico de solo residual de gnaisse, com a predominância de duas camadas: uma de argila siltosa, por vezes arenosa, de cor variada; enquanto que a outra, subjacente à primeira, de uma areia fina, argilosa, por vezes siltosa, também de cor variável. Estes dois solos apresentam-se em camadas de diferentes espessuras e situam-se sobrejacentes à camada de alteração de rocha.

O programa de ensaios de laboratório constou de ensaios de caracterização, compactação, permeabilidade dos solos no estado natural e compactado, e resistência ao cisalhamento do solo areia-fina-siltosa no estado natural (Azevedo, 2002).

A concepção geral do projeto é apresentada na Figura 1. Nela aparecem os diversos componentes do aterro sanitário: as plataformas para disposição de resíduos domiciliares, o sistema de drenagem de águas pluviais, o sistema de tratamento de percolados, as valas para resíduos de saúde e animais mortos, etc.

O aterro sanitário foi projetado para receber o lixo municipal da cidade Viçosa-MG durante 15 anos, sem reciclagem e/ou compostagem dos RSU. Naturalmente, a vida útil do aterro poderá ser prolongada se forem implementados projetos de minimização de geração de resíduos, bem como se a

usina de reciclagem e compostagem existente no município funcionar a contento.

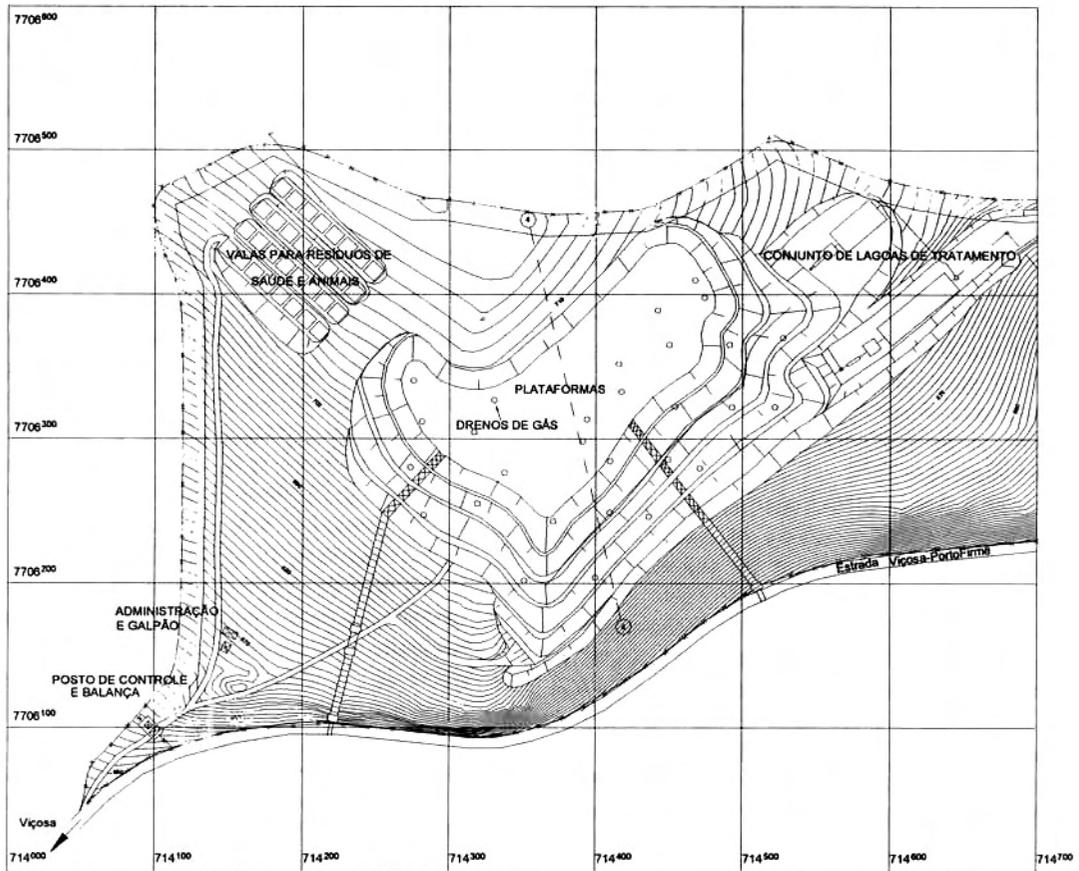


Fig. 1 – Conceção geral do projeto do aterro sanitário de Viçosa, Minas Gerais, Brasil.

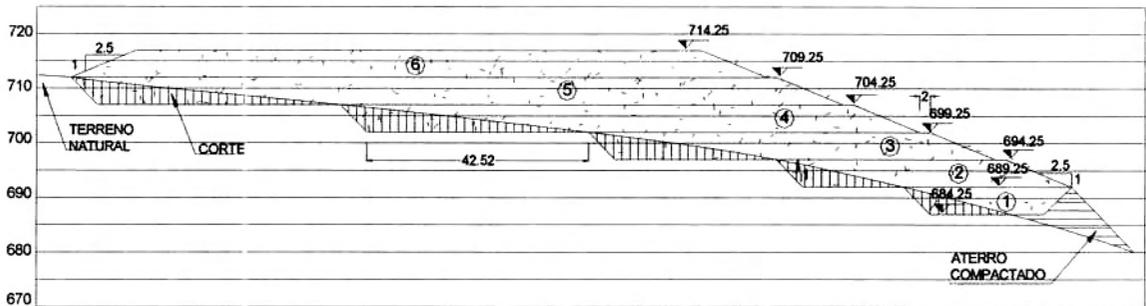


Fig. 2 – Seção transversal 4-4 (Figura 1).

O aterro sanitário está sendo construído pelo método da rampa em seis grandes plataformas de largura e comprimento variáveis e 5 m de altura. Na construção dos taludes das plataformas, o solo residual foi escavado com inclinação de 1(V) para 1(H). Todas as plataformas terão uma declividade longitudinal de aproximadamente 1%. Os taludes de RSU foram projetados para terem inclinação de 1(V) para 3(H) (Figura 2).

2.2 - Descrição do ensaio de compressão confinada

A Figura 3 apresenta um desenho esquemático do equipamento construído no Laboratório de Geotecnia do Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, para realizar ensaios de compressão confinada em amostras de RSU de grandes dimensões (Loreto, 2003). O equipamento é composto de uma célula cilíndrica de paredes rígidas na qual a amostra é compactada e

ensaiada, de um sistema de aplicação de carga e um sistema de medição de deslocamento.

A célula cilíndrica é composta de duas manilhas de concreto armado reforçado, cada uma com diâmetro interno de 1 m e altura de 1 m.

O sistema de aplicação de carga consiste de uma placa de carregamento rígida, de 76 cm de diâmetro e 3 cm de espessura, ligada a uma haste rígida através de uma rótula. Estas três peças são feitas de aço de grande resistência. A haste rígida, na sua extremidade superior, é conectada a uma viga metálica que serve para amplificar o carregamento, por meio do princípio de alavanca. A força aplicada na amostra de RSU origina-se no enchimento de uma caixa d'água de 500 litros e é amplificada cerca de quatro vezes e meia por este sistema de alavanca.

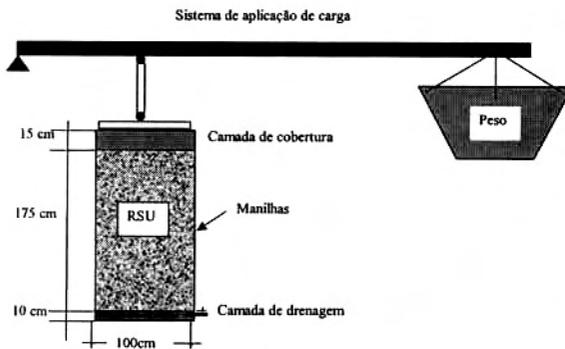


Fig. 3 – Vista esquemática do equipamento para realização de ensaios de compressão confinada em amostras de RSU de grandes dimensões.

O sistema de medição de deslocamento consiste de um nível topográfico de placas planas paralelas, e duas referências: uma móvel, na haste de carregamento, e outra fixa, na parede, atrás das manilhas.

As Figuras 4 e 5 mostram o equipamento durante a realização de um ensaio.

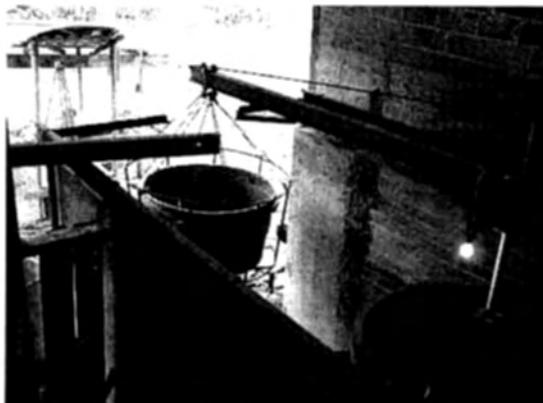


Fig. 4 – Fotografia lateral do equipamento para realização dos ensaios.

2.3 - Metodologia usada nos ensaios

Os ensaios foram realizados na seguinte seqüência:

a) *Coleta dos resíduos.* Nesta etapa, recebia-se, numa área vizinha à área na qual os ensaios foram executados, um caminhão com RSU recém-coletados em diversos bairros da cidade.

b) *Determinação da composição gravimétrica dos resíduos.* Nesta etapa, adotaram-se os seguintes componentes para caracterização da composição gravimétrica dos RSU: matéria orgânica, papel e papelão, plásticos, vidros, alumínio, metais ferrosos, borracha, couro, madeiras, trapos e outros.



Fig. 5 – Fotografia frontal do equipamento para realização dos ensaios.

c) *Compactação das amostras de RSU.* Os resíduos eram dispostos nas manilhas em camadas compactadas de aproximadamente 15 cm de espessura. As amostras ensaiadas tinham 175 cm de altura e diâmetro igual a 1 m. Visando obter-se um peso específico inicial igual a 7 kN/m^3 , valor normalmente adotado nos projetos de aterro sanitários, cada camada de resíduo pesava 88 kg (Figura 6).

d) *Carregamento em etapas.* Nesta fase, aplicavam-se vários estágios de carregamento vertical nas amostras de RSU, procurando-se sempre aumentar a carga anterior em incrementos constantes iguais a 10,51 kPa. Iniciou-se com 10,51 kPa e carregou-se até 63,06 kPa (tensão máxima que pode ser usada com segurança, para 500 litros de água). Cada estágio de carregamento durou, em média, 7 dias. Desta forma, cada ensaio levou cerca de 2 meses para ser executado.



Fig. 6 – Representação da disposição do RSU em camadas.

e) *Medição dos deslocamentos.* Durante os ensaios, os deslocamentos eram medidos por diferença, visando-se, com o nível topográfico, uma marca no pistão de carregamento que se movia e, em seguida, uma marca fixa na parede, atrás do experimento.

f) *Descarregamento.* Após a aplicação do último estágio de carregamento, a amostra era descarregada, também em etapas.

g) *Encerramento.* Nesta fase, o ensaio era desmontado e determinava-se a umidade do resíduo sólido no final do ensaio.

3 - ANÁLISE DOS RESULTADOS

3.1 - Ensaios de laboratório em grandes dimensões

- Primeiro ensaio

Na Tabela 1, apresenta-se a composição gravimétrica dos RSU utilizados no primeiro ensaio. O teor de umidade dos RSU deste primeiro ensaio foi igual a 90%.

Tabela 1 - Composição gravimétrica dos RSU do primeiro ensaio

Material	Peso Total (kN)	(%)
Matéria Orgânica	1145,8	42,12
Papel e Papelão	668,1	24,56
Plásticos	590,6	21,69
Vidros	97,1	3,57
Alumínio	8,8	0,32
Metais Ferrosos	108,9	4,0
Borracha e Couro	22,6	0,82
Madeiras	12,8	0,47
Trapos	66,7	2,45
Outros	-	-
Total	2721,4	100

Na Figura 7 estão apresentadas as diversas etapas da curva recalque versus tempo do primeiro ensaio.

Na Figura 8 é apresentada a curva de carga versus recalque do primeiro ensaio. Observa-se que o comportamento foi bastante próximo do linear, com exceção das etapas 3 e 4, provavelmente em razão da falta de padronização do tempo de cada etapa de carregamento.

- Segundo ensaio

A Tabela 2 apresenta a composição gravimétrica dos RSU utilizados no segundo ensaio.

O teor de umidade dos RSU deste segundo ensaio foi igual a 65 %.

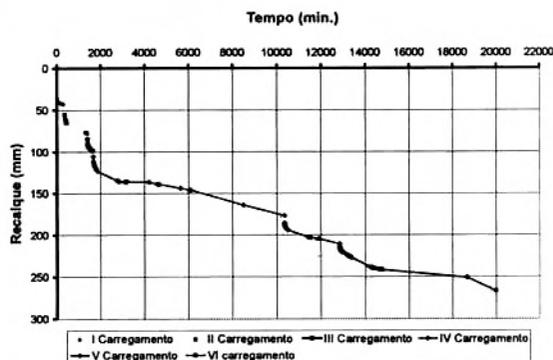


Fig. 7 – Curva recalque versus tempo do primeiro ensaio.

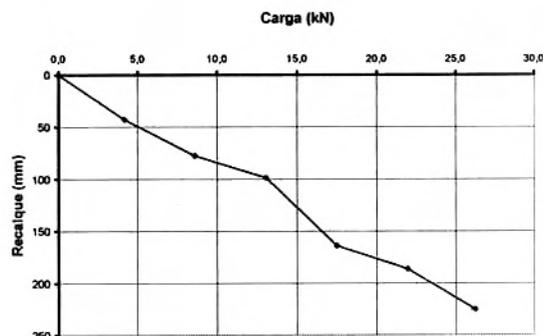


Fig. 8 – Curva carga versus recalque do primeiro ensaio.

Tabela 2 - Composição gravimétrica dos RSU do ensaio 2

Material	Peso Total (kN)	(%)
Matéria Orgânica	2823,3	65,02
Papel e Papelão	616,1	14,19
Plásticos	368,9	8,49
Vidros	45,1	1,04
Alumínio	15,7	0,36
Metais Ferrosos	53,0	1,22
Borracha e Couro	37,3	0,86
Madeiras	19,6	0,45
Trapos	94,2	2,17
Outros **	268,8	6,20
Total	4342,0	100

Na Figura 9 é apresentada a curva recalque versus tempo das diversas etapas de carregamento do segundo ensaio, podendo-se observar que, neste segundo ensaio, o tempo de cada etapa de carregamento foi igual a 24 horas.

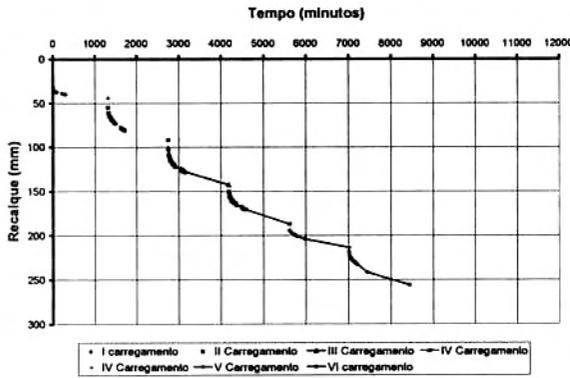


Fig. 9 – Curva recalque versus tempo do segundo ensaio.

Na Figura 10 é apresentada a curva carga versus recalque do segundo ensaio, em que pode ser observada uma relação aproximadamente linear.

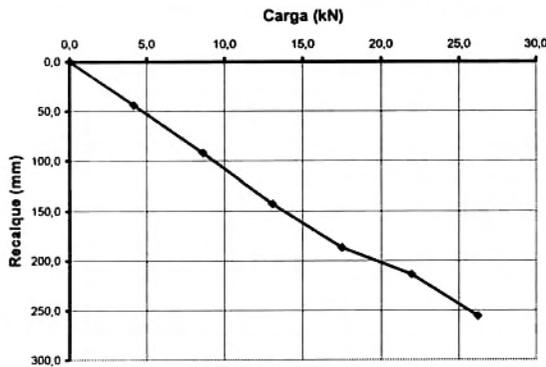


Fig. 10 – Curva carga versus recalque do segundo ensaio.

Na Figura 11 estão apresentadas as curvas de compressibilidade obtidas nos dois ensaios. De acordo com Sowers (1973), a compressão primária de RSU pode ser expressa através da equação:

$$\frac{\rho}{H_0} = C_c \log \left(\frac{\sigma'_0 + \Delta \sigma'}{\sigma'_0} \right) \quad (1)$$

em que:

- ρ é o recalque,
- H_0 é a altura correspondente a σ'_0 ,
- σ'_0 é a tensão antes do acréscimo de tensão $\Delta \sigma'$,
- e,
- C_c é o coeficiente de compressibilidade primária.

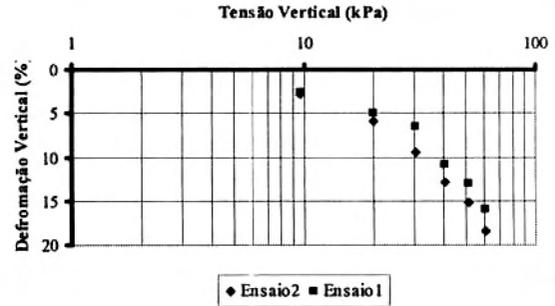


Fig. 11 – Curvas de compressibilidade obtidas nos ensaios.

A partir das curvas de compressibilidade, determinaram-se valores de C_c . Os valores encontrados variavam com o nível de tensão e com os ensaios. A faixa de variação ficou entre 0,10 e 0,25, bem de acordo com valores encontrados em outros trabalhos (Bosco e Abreu, 2000).

3.2 - Determinação do módulo de elasticidade

Na Figura 12 apresentam-se as curvas tensão versus deformação obtidas nos dois ensaios de compressão confinada, além da reta que melhor se ajusta aos resultados experimentais. A inclinação desta reta corresponde ao módulo de compressão confinada (M) dos RSU. Da mesma figura, obtém-se o valor de M igual a 346,7 kPa.

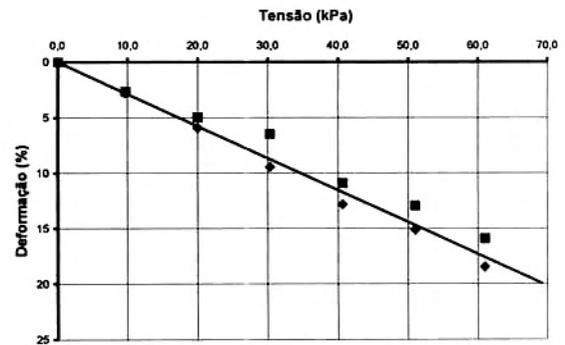


Fig. 12 – Gráfico para determinação do módulo de compressão confinada (M).

A partir do valor de M , calcula-se o módulo de elasticidade (E) através da expressão abaixo, na qual arbitrou-se um valor para o coeficiente de Poisson (ν) igual a 0,2 (Jessberger e Kockel, 1993):

$$E = M \frac{(1 + \nu)(1 - 2\nu)}{(1 - \nu)} = 312,34 \text{ kPa} \quad (2)$$

Para os valores de tensão vertical usados nos ensaios apresentados neste trabalho, o valor do módulo de elasticidade obtido é compatível com os valores apresentados por Van Impe (1998).

3.3 - Cálculo de Recalques no Aterro Sanitário de Viçosa

Os recalques foram calculados com base em uma simulação bi-dimensional da seção 4-4 (Figura 2). A análise computacional foi realizada utilizando o método dos elementos finitos com o programa SIGMAW da Geo-Slope, “ligando-se” as forças de gravidade dos elementos finitos que representam os RSU. Admitiu-se, tanto para os RSU quanto para o solo residual, comportamento linear-elástico, com as propriedades indicadas na Tabela 3. A Figura 13 apresenta a malha de elementos finitos usada e as condições de contorno adotadas.

Tabela 3 – Parâmetros utilizados nas análises realizadas

	γ (kN/m ³)	ν	E (kPa)	c' (kPa)	ϕ' (°)
Solo residual	16	0,2	10000	50	30
RSU	7	0,2	312	10	28

Na Figura 14, estão apresentados os vetores de deslocamentos dos pontos nodais, enquanto que na Figura 15 apresenta-se a malha deformada com os deslocamentos sem amplificação. Nas duas figuras observa-se que os maiores deslocamentos ocorreram na região de maior espessura de resíduos. Além disso, nota-se que a componente vertical do vetor de deslocamento (Figura 16), é bastante maior que a componente horizontal (Figura 17). Esta observação é coerente com o fato de o coeficiente de segurança do talude de RSU, obtido de uma análise de estabilidade de talude, na qual as tensões normais na base de cada fatia foram calculadas através da análise de elementos finitos (Figura 18), ter sido elevado ($F = 3,06$) (Figura 19).

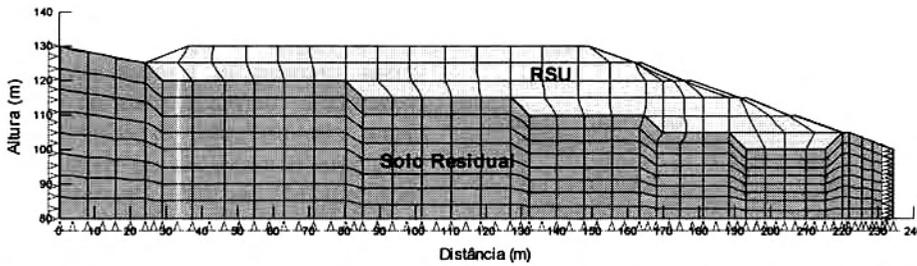


Fig. 13 – Malha de elementos finitos.

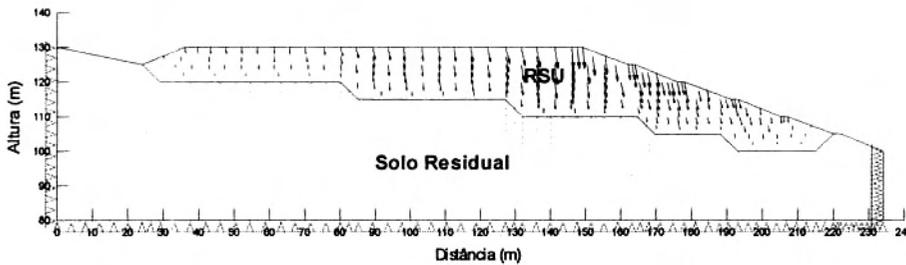


Fig. 14 – Vetores de deslocamentos nodais.

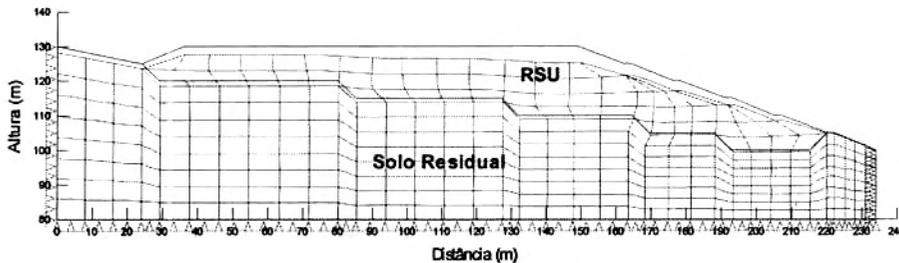


Fig. 15 – Malha deformada com os deslocamentos sem amplificação.

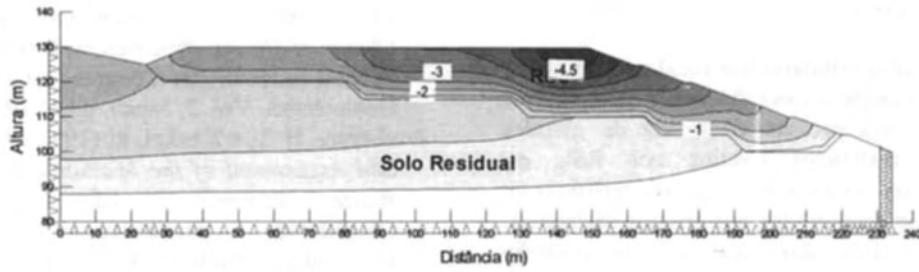


Fig. 16 – Isocurvas de deslocamento vertical.

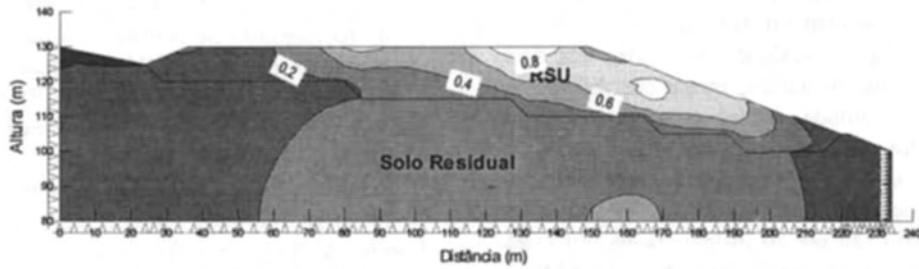


Fig. 17 – Isocurvas de deslocamento horizontal.

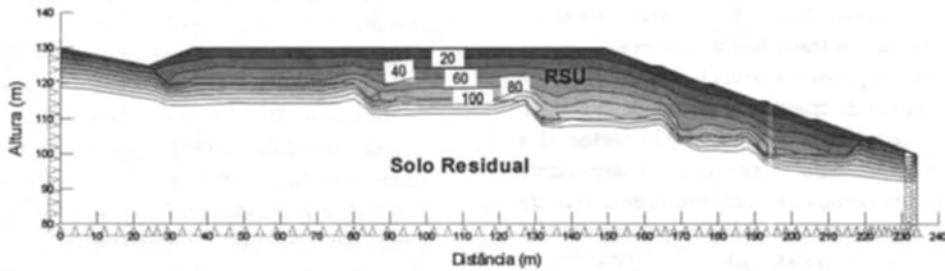


Fig. 18 – Isocurvas de tensões verticais.

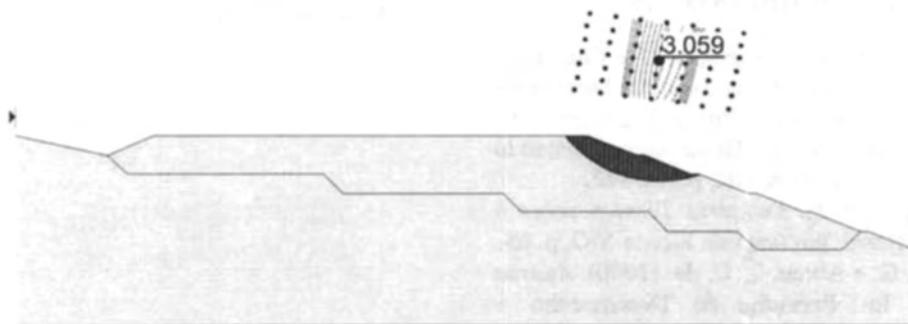


Fig. 19 – Resultado da análise de estabilidade de talude.

4 - CONCLUSÕES

Neste trabalho estudaram-se recalques no aterro sanitário da cidade de Viçosa, MG. Foi desenvolvida uma célula de compressão confinada de grandes dimensões e realizados ensaios nos RSU do município. Posteriormente, com as características de deformabilidade encontradas nos ensaios realizados, fez-se uma previsão dos recalques que poderão ocorrer no aterro sanitário de Viçosa, utilizando-se o método dos elementos finitos.

As principais conclusões obtidas deste trabalho são as seguintes:

- o equipamento desenvolvido mostrou-se adequado e eficiente para determinação de características de deformabilidade de RSU;

- as curvas carga-recalque verificadas nos dois ensaios foram muito próximas, apesar das diferenças nos teores de umidade inicial e na composição gravimétrica dos resíduos; em um dos ensaios, a quantidade de matéria orgânica era cerca de 50% maior do que no outro; isto indica que os recalques inicial e primário são pouco influenciados por estes dois fatores; é natural que a quantidade de matéria orgânica influencie os recalques secundários devidos à biodegradação; entretanto, estes recalques foram pouco significativos nos ensaios realizados;

- o valor do módulo de elasticidade, calculado com base nos ensaios, ficou dentro das faixas de valores encontradas em trabalhos anteriores;

- naturalmente, os maiores deslocamentos ocorreram na região de maior espessura de resíduos; além disso, a componente vertical do vetor dos deslocamentos foi bastante maior que a componente horizontal; esta observação é coerente com o fato do coeficiente de segurança em relação a um eventual deslizamento de talude ser elevado ($F = 3,06$);

- os recalques (imediatos e primários) encontrados ficaram na faixa de 20% da espessura da camada RSU.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alciturri, J. M.; Palma, J.; Sagaseta, C. e Canizal, J. (1993). *Three Years of Deformation Monitoring at Meruelo Landfill*, Proceedings of the Symposium GREEN'93 – Geotechnics Related to the Environment, Bolton, UK, p.365-372.
- Azevedo, R. F. (2002). *Relatório Técnico sobre o Projeto do Aterro Sanitário de Viçosa-MG*, p. 65.
- Boscov, M. E. G. e Abreu, R. C. de. (2000). *Aterros Sanitários*. In: *Previsão de Desempenho – Comportamento Real – Aterros Sanitários, Taludes, Túneis, Fundações, Aterros Sobre Solos Moles*. São Paulo: ABMS/NRSP, p. 7-44.
- Carvalho, M. de F.; Vilar, O. M. e Kaimoto, L. S. (2000). *Estudo da Compressibilidade de Resíduos Sólidos Urbanos*, Revista Solos E Rocha, São Paulo, vol. 23, n.1, p.3-19.

- Grisolia, M. e Napoleoni, Q. (1996). *Geotechnical Characterization of Municipal Solid Waste: Choice of Design Parameters*, Proceedings of the Second International Congress on Environmental Geotechnics, Vol. 2, Japan, p.641-646.
- Jessberger, H. L. e Kockel, R. (1993). *Determination and Assessment of the Mechanical Properties of Waste*, Proceedings of the Symposium GREEN'93 – Geotechnics Related to the Environment, Bolton, UK, p.313-322.
- Junqueira, F. F. e Palmeira, E. M. (1999). *Monitoramento do Comportamento de Lixo em Células Geotecnicamente Preparadas*, IV Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental (REGEO'99), p. 427-432.
- Jucá, J. F. T. e Melo, V. L. A. (1999). *Monitoramento de Sólidos, Líquidos e Gases do Aterro de Aguazinha*, IV Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental (REGEO'99), p. 433-440.
- Jucá, J. F. T. (2003). *Disposição Final dos Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil*, V Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental (REGEO 2003), p. 443-470.
- Loreto, A. S. *Desenvolvimento de um Equipamento para Avaliação da Compressibilidade de Resíduos Sólidos Urbanos: Estudo de Caso do Aterro Sanitário de Viçosa-MG*, Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, p. 84.
- Kaimoto, L. S. A.; Cepolina, M. e Abreu, R. C. de (1999). *Alguns Aspectos sobre Recalques e Deslocamentos Horizontais em Aterros Sanitários*, IV Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental (REGEO'99), p. 462-465.
- Manassero, M.; Van Impe, W.F. e Bovazza (1996). *A Waste Disposal and Containment*, Proceedings of the Second International Congress On Environmental Geotechnics, Osaka, Japan. A.A.Balkeman, Rotterdam, Vol.3, p.1425-1474.
- Sowers, G. F. (1973). *Settlement of Waste disposal Fills*, VIII International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineerings. Moscow, URSS, Vol. 2, Part 2, p. 207-210.