

III-431 - AVALIAÇÃO DA EVOLUÇÃO DOS RECALQUES DE LONGO PRAZO EM UM ATERRO SANITÁRIO EXPERIMENTAL

Cicero Antonio Antunes Catapreta

Eng. Civil, Mestre e Doutor em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos (UFMG), Engenheiro Sanitarista da Superintendência de Limpeza Urbana de Belo Horizonte, MG, Brasil.

Gustavo Ferreira Simoes

Eng. Civil (UFMG), Mestre e Doutor em Engenharia Civil (PUC-Rio), Professor Associado do Departamento de Engenharia de Transportes e Geotecnia da UFMG, Belo Horizonte, MG, Brasil.

Endereço⁽¹⁾: Superintendência de Limpeza Urbana de Belo Horizonte – SLU/BH. Departamento de Tratamento e Disposição Final de Resíduos. Rodovia BR 040 – Km 531 – Jardim Filadélfia - Belo Horizonte – MG. Brasil - Tel: (31) 3277-9808 – e-mail: catapret@pbh.gov.br

RESUMO

O presente trabalho tem objetivo apresentar e discutir os resultados do monitoramento de recalques que vem sendo realizado há aproximadamente 9,5 anos em um aterro sanitário experimental de grandes dimensões. As curvas de recalques obtidas para os medidores de recalques apresentaram padrões semelhantes e coerentes com registros típicos de aterros sanitários reais. De uma forma geral, o comportamento observado aproxima-se de uma função bilinear, com velocidades iniciais mais elevadas e sem uma tendência clara de estabilização dos recalques. Destaca-se que os valores médios de deformação específica se encontram próximos a 37% no período monitorado. Considerando todo o conjunto de medidores, os resultados indicam que a compactação inicial, e consequentemente o peso específico inicial médio dos RSU por faixa de trabalho, exerceu influência sobre o desenvolvimento de recalques. Quando são analisados outros aspectos, tais como a existência de regiões no aterro que tiveram a compactação dificultada, o estabelecimento de relações entre os pesos específicos iniciais e os recalques fica dificultada.

PALAVRAS-CHAVE: Aterro Sanitário, Destinação Final, Resíduos Sólidos, Recalques, Monitoramento.

INTRODUÇÃO

Os resíduos sólidos urbanos (RSU) dispostos em aterros sanitários sofrem grandes recalques, ocasionando reduções significativas de volume e consequente aumento da sua capacidade de armazenamento, além de danos aos sistemas de cobertura e de drenagem desses aterros sanitários. Estes fatos têm propiciado a realização de inúmeros estudos objetivando entender o comportamento de compressibilidade dos RSU e a proposição de modelos de previsão de recalques em longo prazo. Além de permitir a avaliação contínua da vida útil dos aterros sanitários, esse entendimento pode contribuir para a avaliação da segurança estrutural e das fases de degradação dos RSU dispostos nos aterros sanitários.

Estimativas de recalques totais de aterros sanitários variam de 25 a 50 % (Wall & Zeiss, 1999). Segundo Ling *et al.* (1998), os recalques finais dos aterros sanitários podem ser de 30 a 40% da altura inicial, ao longo de sua vida útil.

Os mecanismos responsáveis pela ocorrência desses recalques são complexos e menos conhecidos que em solos, podendo ser atribuídos em parte à heterogeneidade dos resíduos; ao tamanho, forma e compressibilidade intrínseca dos componentes e à perda de sólidos em função da biodegradação. Além desses fatores, conforme destaca Simões (2000), aspectos relacionados às condições iniciais de disposição (peso específico, teor de umidade e índice de vazios), geometria, técnica de compactação empregada, existência de pré-tratamentos nos resíduos (incineração, compostagem, mistura, fragmentação etc.), existência e eficiência de sistemas de drenagem e/ou extração de líquidos e gases, tem influência direta na compressibilidade dos RSU.

Segundo Hossain *et al.* (2003) com o avanço da decomposição dos resíduos, as propriedades de compressibilidade e, consequentemente, as taxas e a magnitude dos recalques também mudam. Segundo Simões (2000), a identificação dos mecanismos responsáveis pelo desenvolvimento de recalques em aterros

sanitários é de extrema importância para a interpretação do comportamento, proposição de modelos de previsão e realização de simulações.

Segundo Yen & Scanlon (1975), Ling *et al.* (1998) e Bjarngard & Edgers (1990) os resíduos são comprimidos pelo seu peso próprio e pela ação de sobrecargas e cargas externas, como as induzidas pela compactação, conduzindo à redução de vazios.

Assim, percebe-se que a compactação dos RSU em um aterro sanitário pode influenciar a ocorrência de recalques, em todas as fases de operação e manutenção destas unidades.

O presente trabalho tem objetivo apresentar e discutir os resultados do monitoramento de recalques que vem sendo realizado em um aterro sanitário experimental de grandes dimensões. A relação entre ocorrência de recalques de longo prazo e as condições iniciais de compactação dos RSU também é avaliada.

METODOLOGIA

ATERRO EXPERIMENTAL

O aterro experimental está localizado na Central de Tratamento de Resíduos Sólidos (CTRS) da BR-040 em Belo Horizonte/MG e foi implantado entre os anos de 2004 e 2005. Possui uma área de cerca de 5,260 m² e uma altura total inicial de 3,8 m (3,2 m de resíduos e 0,60 m de cobertura final). Foram dispostos nesse aterro cerca de 8.600 t de RSU, o que corresponde a 11.550 m³. Detalhes sobre a construção deste aterro experimental são apresentados em Catapreta (2008). A Figura 1 apresenta detalhes da localização do aterro sanitário experimental.

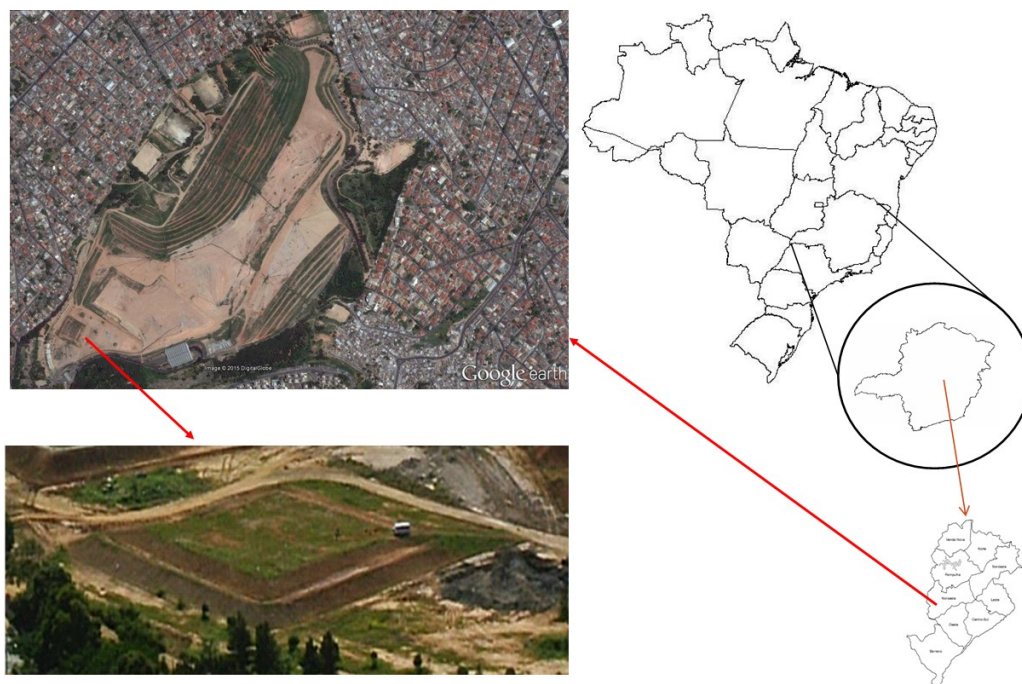


Figura 1 – Detalhes da localização do aterro sanitário experimental

Com o objetivo de avaliar a influência da operação no comportamento dos RSU, a área do aterro foi dividida em 6 faixas de trabalho (células), onde os resíduos foram compactados em diferentes inclinações e sujeitos a diferentes números de passadas do equipamento compactador. Detalhes sobre a construção deste aterro experimental são apresentados em Catapreta (2008) e Simões e Catapreta (2013).

CARACTERÍSTICAS DOS RSU

A composição gravimétrica média (em base úmida) dos RSU dispostos no aterro foi: matéria orgânica (62%); papel e papelão (10%); plásticos (11%); metais (2%); vidros (3%); resíduos de construção e demolição - RCD (3%); borracha, espuma e materiais cerâmicos (1%); madeira, tecidos e couro (4%) e outros (5%). Observa-se que, mesmo dentro dos resíduos sólidos domésticos, a presença de entulho, em proporções reduzidas. Outros constituintes estão dentro das faixas normalmente observadas para cidades semelhantes à Belo Horizonte. Destaca-se o alto teor de matéria orgânica presente (62%), o qual propiciou um teor de umidade inicial em torno de 60% (base úmida).

Conforme descrito em Catapreta (2008), o peso específico inicial dos resíduos aterrados foi avaliado por meio do controle topográfico da frente de operação e dos valores diários de pesagem de resíduos. Os valores de peso específico foram obtidos em base úmida.

MEDIÇÃO DE RECALQUES

O monitoramento de recalques foi realizado em 18 medidores, sendo 3 em cada célula. A Figura 2 apresenta um esquema do aterro sanitário experimental, com indicação das placas (SP 01 a SP 18). Os medidores são formados por uma base de concreto, instalada entre o topo dos resíduos e a camada de cobertura final, e uma haste de aço. Os recalques foram medidos utilizando estação total e prisma ótico.

Destaca-se que o objetivo das diferentes faixas de trabalho (células) era avaliar a influência de aspectos operacionais durante o enchimento, principalmente a energia de compactação utilizada (baseada no número de passadas do equipamento compactador), no comportamento geomecânico do aterro experimental. No entanto, os pesos específicos iniciais obtidos em 4 células foram muito similares (entre 8,0 e 8,2 kN/m³). Além disso, foram observadas algumas restrições operacionais na porção final de enchimento das células (área sombreada indicada na Figura 2), onde a compactação se mostrou menos eficiente.

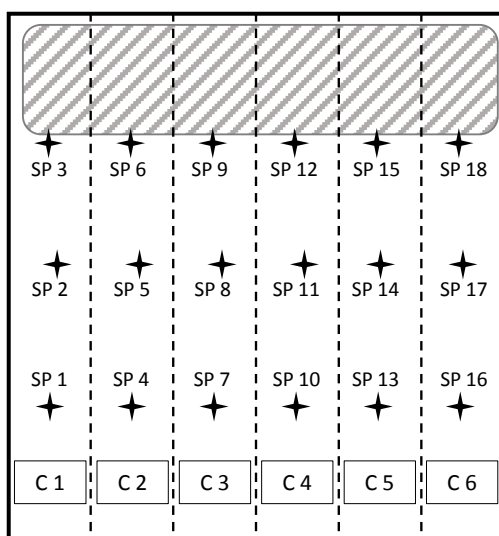


Figura 2. Esquema do aterro sanitário, com identificação das células, posição dos medidores de recalques e área onde a compactação foi menos eficiente.

RESULTADOS E ANÁLISES PRELIMINARES

A Tabela 1 apresenta os valores de recalques finais observados e as médias por faixa de trabalho para um período de 3.500 dias (aproximadamente 9,5 anos).

Nas Figuras 3 a 8 são apresentadas as curvas da evolução dos recalques medidos em função do tempo de monitoramento. Pode-se observar que os medidores apresentaram um padrão de movimentação semelhante, porém com valores máximos e velocidades diferentes para cada faixa de trabalho.

De uma forma geral, o comportamento observado aproxima-se de uma função bilinear, com velocidades iniciais mais elevadas e sem uma tendência clara de estabilização dos recalques. Destaca-se que os valores médios de deformação específica se encontram próximos a 37% no período monitorado.

Observa-se que os medidores localizados na área final de enchimento das faixas de trabalho, que, conforme mencionado anteriormente, tiveram a compactação dificultada devido ao espaço requerido pelo equipamento compactador, apresentaram padrões de recalques diferentes dos demais, sendo superiores em todas as faixas de trabalho, com exceção da faixa 1.

Considerando todos os medidores, a faixa de variação dos recalques situa-se entre 1,06 m e 1,41 m. Uma faixa de variação menor, entre 1,07 m e 1,30 m, pode ser obtida quando são eliminados os medidores localizados na área final de cada faixa de trabalho, que tiveram a compactação dificultada.

Tabela 1 - Recalques observados nos medidores

Faixa	Medidor	Recalque (m)		Peso Específico Inicial Médio (kN/m ³)
		Máximo Observado	Média	
C 1	1	1,19		
	2	1,12	1,12	7,3
	3	1,06		
C 2	4	1,17		
	5	1,07	1,15	5,8
	6	1,22		
C 3	7	1,16		
	8	1,12	1,19	8,1
	9	1,30		
C 4	10	1,30		
	11	1,18	1,28	8,2
	12	1,35		
C 5	13	1,14		
	14	1,14	1,22	8,1
	15	1,38		
C 6	16	1,11		
	17	1,08	1,20	8,0
	18	1,41		

Dentre os fatores que influenciam o desenvolvimento dos recalques em aterros sanitários, pode-se citar a composição dos resíduos, principalmente do teor de matéria orgânica putrescível, a relação entre o volume de resíduos e o volume de material de cobertura intermediária e as condições iniciais de umidade e densidade dos resíduos. A compactação tende a reduzir os vazios na massa de resíduos e permitir a disposição de uma maior quantidade de resíduos dentro de um perfil fixado, que aliado a outros processos que afetam os recalques como a migração de partículas e a biodegradação, poderiam influenciar a taxa de recalques de longo prazo.

Considerando todos os medidores, o comportamento observado no aterro sanitário experimental sugere que os recalques totais observados foram influenciados pelo peso específico inicial médio dos resíduos compactados. Os dados sugerem que as faixas com menores pesos específicos iniciais médios (5,8 kN/m³ e 7,3 kN/m³) resultaram em menores recalques médios observados (1,12 m e 1,15 m). Para as faixas com maiores pesos específicos iniciais médios (8,0 kN/m³, 8,1 kN/m³ e 8,2 kN/m³) foram observados os maiores recalques médios (entre 1,19 m e 1,28 m). O maior recalque médio observado foi de 1,28 m, para um peso específico inicial de 8,2 kN/m³ e o menor, 1,12 m, para a densidade inicial de 7,3 kN/m³.

Caso os resultados sejam interpretados eliminando os medidores localizados nas áreas finais de enchimento de cada faixa de trabalho, observa-se uma diferença menor entre os valores médios entre as faixas, o que dificulta o estabelecimento de uma relação entre os pesos específicos iniciais e o desenvolvimento dos recalques. A Figura 9 apresenta a evolução das deformações para este caso, onde observa-se uma faixa de deformações de menor amplitude.

Analisando os medidores individualmente, observa-se que os recalques apresentaram valores que variaram entre 1,06 m (Medidor 6, Faixa 1) e 1,41 m (Medidor 18, Faixa 6).

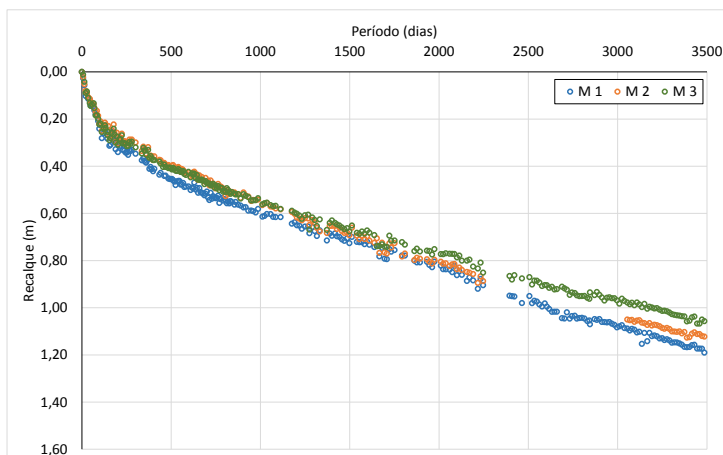


Figura 3 - Recalques observados nos medidores da Faixa de Trabalho 1

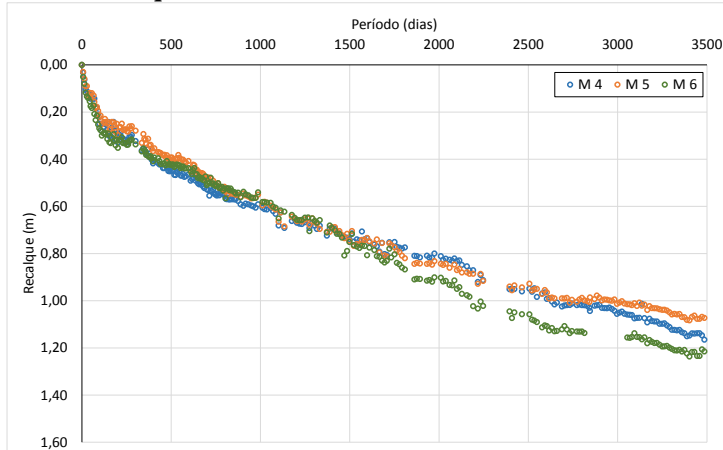


Figura 4 - Recalques observados nos medidores da Faixa de Trabalho 2

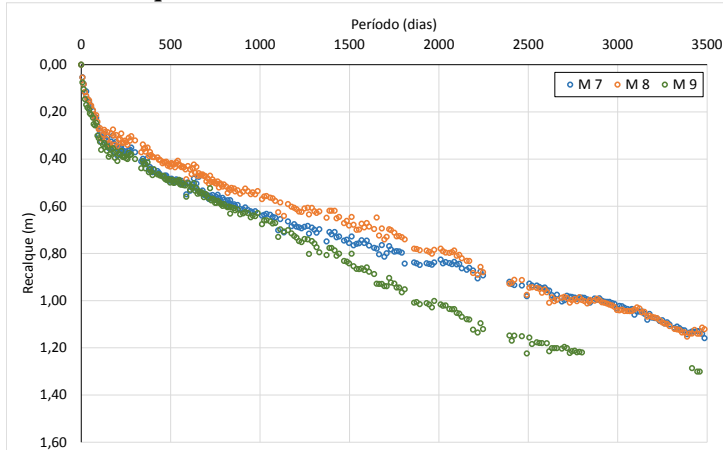


Figura 5 - Recalques observados nos medidores da Faixa de Trabalho 3

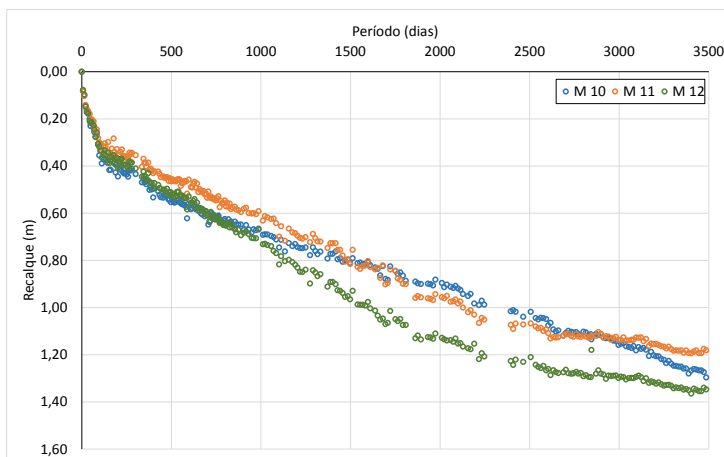


Figura 6 - Recalques observados nos medidores da Faixa de Trabalho 4

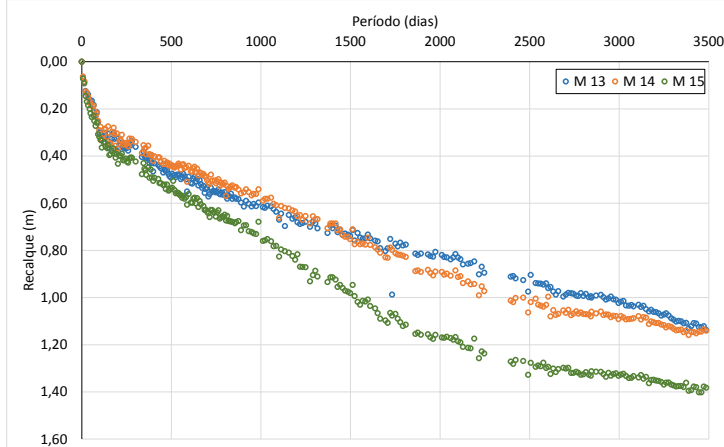


Figura 7 - Recalques observados nos medidores da Faixa de Trabalho 5

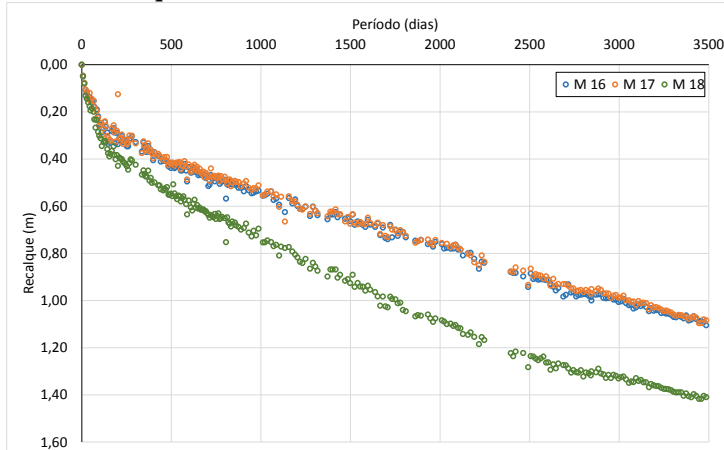


Figura 8 - Recalques observados nos medidores da Faixa de Trabalho 6

Embora com um padrão de movimentação semelhante, os distintos valores finais dos recalques e as diferentes velocidades de deformação para cada faixa de trabalho, sugerem a existência de fatores que influenciaram os resultados, além da heterogeneidade intrínseca dos resíduos sólidos urbanos.

As características dos resíduos, quando avaliadas de forma isolada, sugerem que as deformações poderiam ser semelhantes. Isto porque, os resíduos apresentando as mesmas características, não era de se esperar a ocorrência de recalques muito diferentes entre os medidores. Por outro lado, considerando o complexo regime hidráulico interno e que as reações físico-químicas e biológicas em um aterro sanitário podem variar de um

ponto para outro na massa de resíduos, poderá haver uma degradação mais rápida em determinadas regiões do aterro, levando a diferenças mais significativas entre valores dos recalques observados.

Ainda nesse sentido, outra observação se deve aos fatores físicos que podem afetar a ocorrência de recalques, notadamente a compactação e sua influência no peso específico inicial dos resíduos compactados, seja naturalmente pelo seu peso específico após a compactação ou de forma induzida, pela sobreposição de camadas de resíduos.

No presente estudo, maior ênfase deve ser dada ao primeiro caso, já que não foram realizadas sobreposições de novas camadas de resíduos. Nesse sentido, os recalques verificados parecem estar mais relacionados à compactação dos resíduos e a influência desta nos processos hidráulicos e, conseqüentemente, nos biológicos. Entretanto, destaca-se que na avaliação da ocorrência de recalques, a separação entre os processos físicos e biológicos são difíceis de serem percebidos.

Por fim, deve-se considerar que o peso específico dos resíduos aterrados varia com o tempo e isso pode afetar o comportamento das movimentações e deformações em um aterro sanitário. Contudo, aferir o peso específico dos resíduos aterrados ao longo do tempo é difícil, uma vez que há variação de massa e volume.

Conforme destacado anteriormente, a Figura 9 apresenta a evolução das deformações, excluindo o conjunto de medidores localizados na área final de disposição de cada faixa de trabalho. Nota-se que faixa de valores se torna menor.

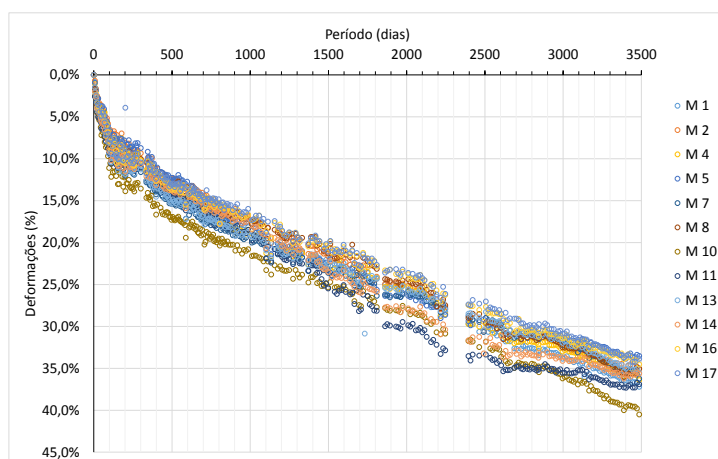


Figura 9 – Evolução das deformações, excluindo os medidores localizados na área final de cada faixa de trabalho

CONCLUSÕES

As curvas de recalques obtidas apresentaram o mesmo padrão, semelhantes a curvas típicas de recalques em aterros sanitários, assim como mostraram que o comportamento dos resíduos é similar em todo o aterro, porém com valores finais e velocidades de recalques diferentes para cada faixa de trabalho.

De uma forma geral, o comportamento observado aproxima-se de uma função bilinear, com velocidades iniciais mais elevadas e sem uma tendência clara de estabilização dos recalques. Destaca-se que os valores médios de deformação específica se encontram próximos a 37% no período monitorado.

Considerando todo o conjunto de medidores, os resultados indicam que a compactação inicial, e conseqüentemente o peso específico inicial médio dos RSU por faixa de trabalho, exerceu influência sobre o desenvolvimento de recalques. Quando são analisados outros aspectos, tais como a existência de regiões no aterro que tiveram a compactação dificultada, o estabelecimento de relações entre os pesos específicos iniciais e os recalques fica dificultada.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus agradecimentos à SLU-PBH (Superintendência de Limpeza Urbana da Prefeitura de Belo Horizonte) por todo o apoio a este estudo; à CAPES (Coordenação para o Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais) e CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo contínuo apoio financeiro.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BJARNGARD, A. E.; EDGERS, L. Settlements of municipal solid waste landfills. In: Annual Madison Waste Conference, 13, 1990, Madison, USA, Proceedings... Madison, 1990, pp. 192-205.
2. CATAPRETA, C. A. A. Comportamento de um aterro sanitário experimental: avaliação da influência do projeto, construção e operação. Belo Horizonte: EE-UFMG, 2008. 337 p. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. UFMG, Belo Horizonte, 2008.
3. HOSSAIN, M. S.; GABR, M. A.; BARLAZ, M. A. Relationship of compressibility parameters to municipal solid waste decomposition. In: Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, v. 129, n. 12, pp. 1251-1158, 2003.
4. LING, H.I.; LESHCHINSKY, D.; MOHRI, Y. E.; KAWABATA, T. Estimation of municipal solid waste landfill settlement. In: Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, v. 124, n. 1, pp. 21-28, 1998.
5. SIMÕES, G. F. Modelo para avaliação de recalques em aterros de disposição de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro: PUC-Rio, 2000. 136 p. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2000.
6. SIMÕES, G.F.; CATAPRETA, C.A.A. Monitoring and modelling of long-term settlements of an experimental landfill in Brazil, Waste Management, Vol.33, 420-430, 2013.
7. WALL, D.K. E ZEISS, C. Municipal landfill biodegradation and settlement. Journal of Environmental Engineering, v. 121, n. 3, pp. 214-224, 1995.
8. YEN, B.C.; SCANLON, B. S. Sanitary landfill settlement rates. In: Journal of the Geotechnical Engineering Division, v. 101, n. GT5, pp. 475-487; 1975.