

### III-114 - MONITORAMENTO DE RECALQUES DE LONGO PRAZO NO ANTIGO VAZADOURO DE MARAMBAIA, NOVA IGUAÇU - RJ

**Leandro Rangel Corrêa** <sup>(1)</sup>

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal Fluminense (UFF) e Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ).

**Ana Ghislane Henriques Pereira van Elk** <sup>(2)</sup>

Professora Adjunta da Universidade do estado do Rio de Janeiro (UERJ), Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente.

**Elisabeth Ritter** <sup>(3)</sup>

Professora Adjunta da Universidade do estado do Rio de Janeiro (UERJ), Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente

**Endereço**<sup>(2)</sup>: Rua Francisco Xavier, 524, Pavilhão João Lyra, Sala 5029F, Maracanã, Rio de Janeiro, CEP: 24550- 400 Tel: (21) 2334 0311 - e-mail: anavanelk@gmail.com

#### RESUMO

O presente trabalho versa sobre a análise da compressibilidade dos RSU do antigo vazadouro da Marambaia, localizado no município de Nova Iguaçu – RJ, que operou durante o período de 1987 a 2003 como lixão, foi remediado e operou como aterro controlado durante os anos de 2001 a 2004. O trabalho foi levado a cabo através de dados de monitoramento de recalque superficial obtidos por meio de marcos superficiais em um período de 2008 a 2015. Com o monitoramento foi possível avaliar a compressibilidade dos RSU, permitindo observar que os recalques variaram entre 79 e 204 mm, representando deformações na faixa de 0,16 a 0,41%. As velocidades de recalques estavam entre 0,029 e 0,333 mm/dia.

**PALAVRAS-CHAVE:** Resíduos Sólidos, Recalque, Monitoramento, Lixões, Vazadouros, Compressibilidade.

#### INTRODUÇÃO

A questão dos efeitos da compressibilidade dos RSU em aterros sanitários tem sido bem estudada nos últimos anos, inclusive em aterros brasileiros, devido ao aumento no número dessas unidades de destino final e a necessidade de conhecer o comportamento mecânico dos resíduos, para evitar riscos de rupturas dos taludes dos aterros, como também para aproveitamento das áreas onde as atividades de recebimento de resíduos foram encerradas.

Os elementos sólidos presentes nos RSU podem variar em forma e volume, devido aos processos de degradação. A resultante perda desta massa dos resíduos implica na geração de novos vazios no interior do maciço sanitário e, conseqüentemente, na ocorrência de recalques, que podem ser definidos como movimentações verticais e horizontais da superfície de um aterro sanitário. O ritmo de produção de recalques em um aterro sanitário varia de acordo com a idade dos resíduos, apresentando velocidades de recalque que diminuem com o tempo, mas que, em todo caso, se mantêm perceptíveis durante anos (Espinace et al., 1999).

Segundo Machado et al. (2008), as condições favoráveis a degradação no interior dos maciços também são responsáveis por modificar as propriedades de componentes dos RSU menos degradáveis, como plásticos, o principal componente da fração de fibras dos resíduos.

Portanto, é de se esperar que a biodegradação dos resíduos orgânicos e outros processos físico-químicos que ocorrem durante a vida útil de um aterro contribuam significativamente para modificar o comportamento compressivo do resíduo com o tempo, influenciando assim o desempenho de todo o aterro.

Diferentes abordagens foram apresentadas nos últimos anos, numa tentativa de se compreender o comportamento compressivo dos RSU. De acordo com Machado et al. (2002), a aplicação de conceitos e teorias da mecânica de solos para o estudo da compressibilidade apresentou resultados razoáveis em alguns casos, embora não tenham sido capazes de reproduzir todo o fenômeno envolvido no processo. Pereira (2000),

Abreu (2000) e Palma (1995) ressaltam que a definição apropriada do componente tempo é de suma importância na maioria das abordagens existentes, assim como).

Nesse contexto, tem-se a medição e análise de recalques nos aterros de resíduos sólidos urbanos como importante contribuição para a salvaguarda destes empreendimentos, já que estes sofrem reduções volumétricas significativas que podem impactar diretamente na avaliação das condições de estabilidade dos maciços de resíduos, na estimativa da vida útil dos mesmos, na avaliação da integridade dos sistemas de revestimento, de cobertura e dos dispositivos de drenagem de lixiviados e gases, bem como no desenvolvimento de estudos para reaproveitamento das áreas ocupadas após o fechamento dos aterros (Pereira, 2000, Simões & Catapreta, 2009, Babu et al., 2010, McDougall 2011).

Esse artigo tem por objetivo analisar a compressibilidade dos resíduos sólidos do antigo vazadouro de Marambaia, que operou de 1987 a 2003 e foi remediado entre 2001 e 2004, por meio de dados de monitoramento dos recalques superficiais, realizado no período de 2008 a 2015, totalizando um período de aproximadamente 8 anos de observação.

## **METODOLOGIA**

O desenvolvimento do artigo teve como base a análise do monitoramento dos recalques realizado no antigo vazadouro de Marambaia no período de fevereiro de 2008 até setembro de 2015, totalizando um intervalo de tempo de 2771 dias.

A área em questão, conhecida como “Lixão de Marambaia”, atendeu o município de Nova Iguaçu-RJ de 1987 até 2003, quando se procedeu a remediação ambiental do vazadouro. Tal ação contou com cercamento e isolamento da área, conformação de bermas e taludes, implantação de sistemas de captação e queima de gases, captação e acúmulo de lixiviado, impermeabilização e cobertura final, bem como de sistema de drenagem de águas pluviais.

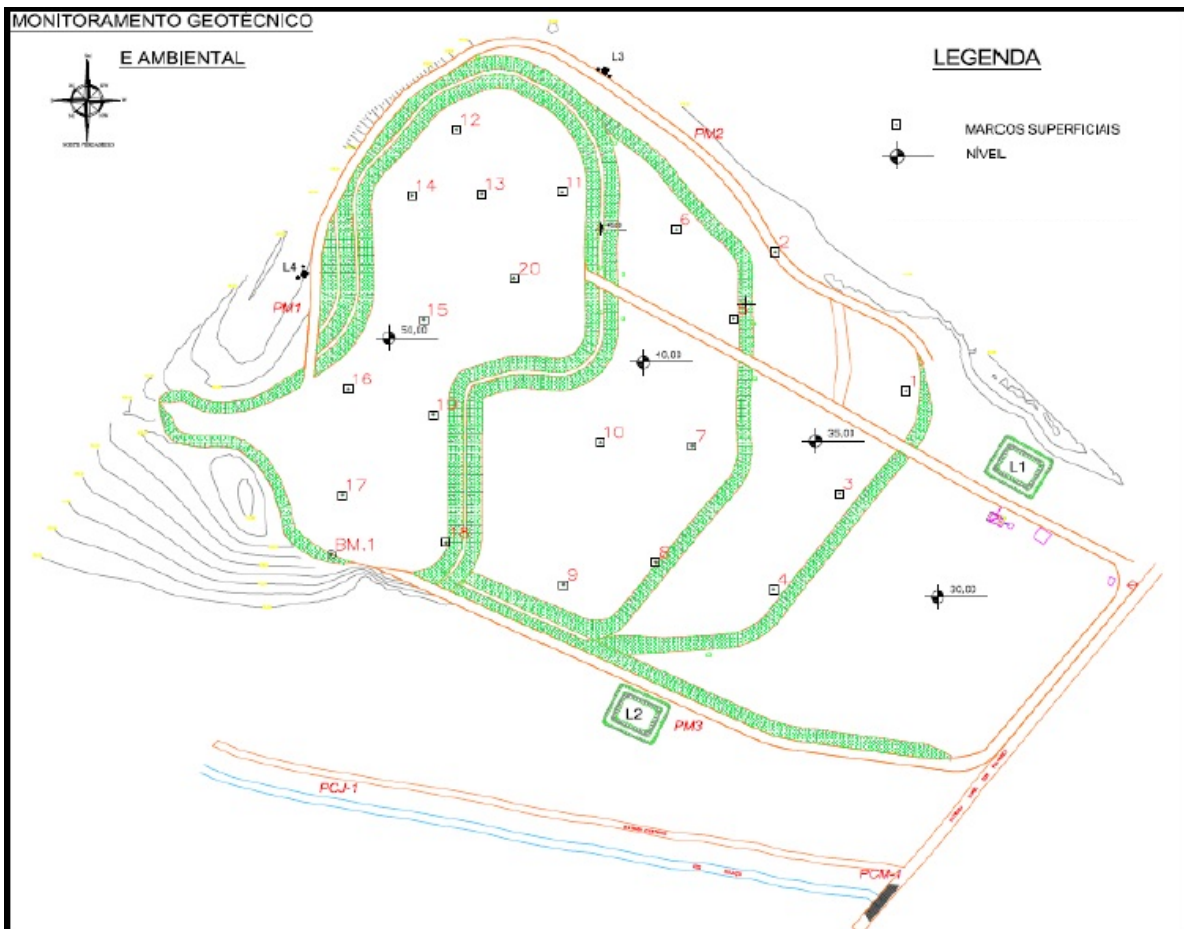
O monitoramento geotécnico dos recalques no aterro remediado da Marambaia contou com a instalação de 20 marcos superficiais (MS), numerados de MS-01 a MS-20, distribuídos por toda área do aterro, sendo que, para este estudo, foram analisados os dados de recalque dos marcos MS-01, MS-03, MS-04, MS-11 a MS-16 e MS-18 a MS-20, isto é, em 12 marcos superficiais.

A topografia do terreno com informação das cotas de cada região do aterro foi obtida na etapa de conformação dos taludes, durante execução do projeto de remediação da área, e as alturas iniciais de cada MS foram obtidas através de nova leitura topográfica realizada no início do monitoramento. Para a aferição topográfica de cada marco foi utilizada a Estação Total da marca TOPCON, modelo GTS 212, com precisão angular de 6” e precisão linear de  $\pm 3 \text{ mm} + 5 \text{ ppm}$ .

O período de leitura topográfica dos MS durante o monitoramento seguiu a cronologia indicada na Tabela 1. A última leitura foi feita no período da coleta dos dados com o corpo técnico da empresa que cedeu as informações, Haztec CTR Nova Iguaçu. A Figura 1 mostra a localização dos MS na área de estudo.

**Tabela 1: Período de leitura dos MS – Data e tempo (dias).**

<b>01/02/08</b>	<b>01/04/08</b>	<b>01/07/08</b>	<b>01/08/08</b>	<b>15/09/08</b>	<b>16/10/08</b>	<b>02/12/08</b>	<b>30/12/08</b>	<b>12/03/09</b>	<b>15/09/10</b>
0	60	151	182	227	257	304	332	404	956
<b>28/06/11</b>	<b>28/09/11</b>	<b>07/11/11</b>	<b>29/12/11</b>	<b>13/02/12</b>	<b>10/04/12</b>	<b>18/07/12</b>	<b>28/09/12</b>	<b>12/12/12</b>	<b>04/09/15</b>
1242	1334	1374	1426	1472	1529	1628	1700	1775	



**Figura 1: Localização dos MS na área em estudo.**

## RESULTADOS OBTIDOS

A análise teve como finalidade avaliar o comportamento compressivo do aterro, por meio dos dados de monitoramento e comparando estes valores com os dados encontrados na literatura técnica.

É importante destacar que, devido ao fato dos recalques observados terem sido obtidos entre 2008 e 2015 e o antigo vazadouro da Marambaia ter sido encerrado em 2003, os recalques se devem exclusivamente aos processos de compressão secundária, definidos por Sowers (1973) como processos devidos a ação dos mecanismos de decomposição biológica, creep, alterações físico-químicas e ravinamento interno, conforme também afirma McDougall (2011). Cabe ressaltar, conforme assinalado por Pereira (2000) que os recalques oriundos destes tipos de mecanismos podem ocorrer simultaneamente.

As Figuras 2 e 3 mostram as curvas de recalques verticais medidos em função do tempo de monitoramento considerado de aproximadamente 5 e 8 anos, respectivamente.

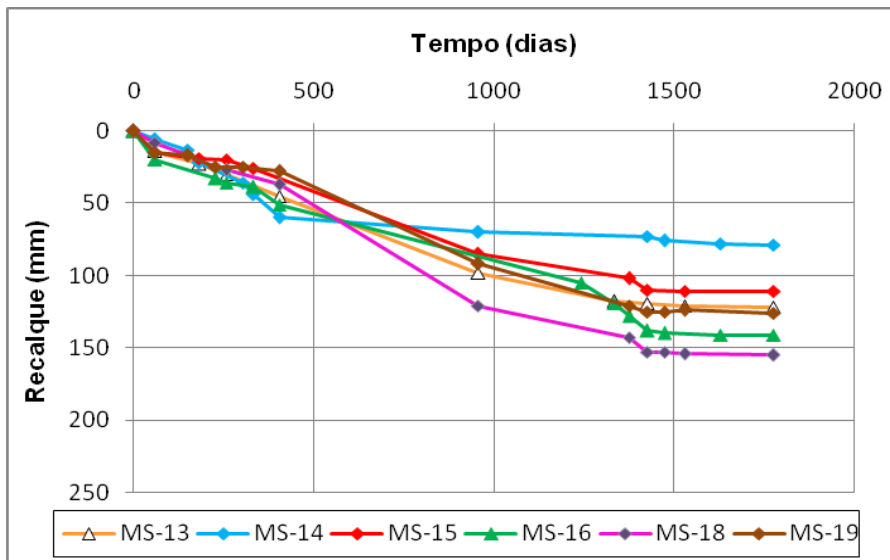


Figura 2: Medidas de recalque dos MS que tiveram 5 anos (1775 dias) de observação.

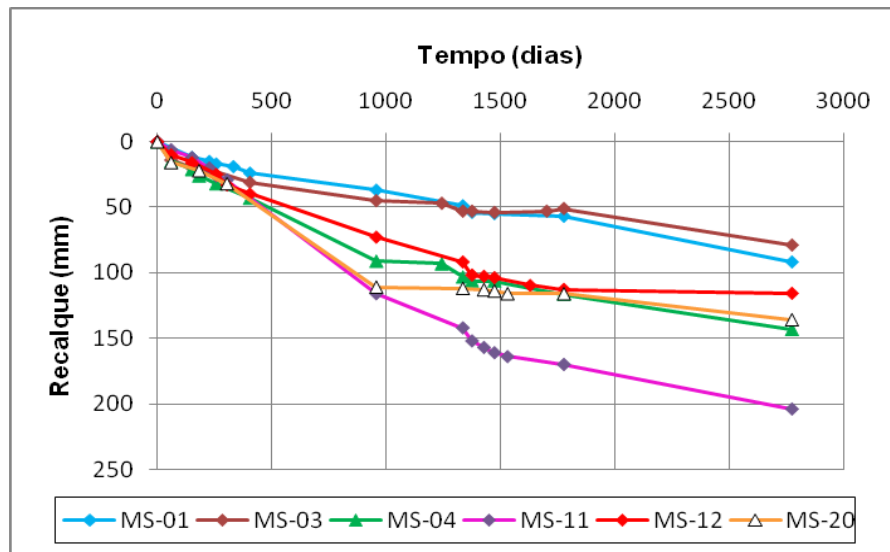


Figura 3: Medidas de recalque dos MS que tiveram 8 anos (2771 dias) de observação.

O resumo das características encontradas nos marcos em estudo, bem como a altura inicial do maciço sob o ponto monitorado, o recalque e a deformação observados estão apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2: Resumo dos dados dos MS monitorados.**

MS	Altura Inicial (m)	Recalque (mm)	Deformação (%)
1	35,876	92	0,26
3	35,854	79	0,22
4	35,439	143	0,40
11	49,783	204	0,41
12	51,120	116	0,23
13	50,608	122	0,24
14	50,756	79	0,16
15	50,324	111	0,22
16	50,193	141	0,28
18	50,293	155	0,31
19	49,677	126	0,25
20	50,199	136	0,27

Observa-se nas Figuras 2 e 3 que os recalques apresentaram valores que variaram entre 79 mm e 204 mm, representando deformações na faixa de 0,16% a 0,41%. Observa-se que a magnitude dos recalques é pequena no período monitorado, porém, como o vazadouro operou de maio de 1987 a fevereiro de 2003 e as medidas de recalque foram iniciadas apenas em 2008, é muito provável que os recalques mais elevados já tivessem ocorrido.

Levando-se em conta os resultados que constam na literatura técnica pode-se constatar que os valores obtidos se encontram na mesma ordem de valores encontrados por Carneiro (2013), média de 20 mm, que trabalhou com dados de monitoramento de recalque, realizado durante 335 dias, no Aterro Sanitário Metropolitano Oeste de Caucaia, no Ceará, região de estações mais secas, em uma célula que teve início de operação em 1991 e foi encerrada em 2008, representando condições semelhantes ao monitoramento do vazadouro de Marambaia, ou seja, iniciou-se o monitoramento quando já havia transcorrido grande parte dos recalques.

Os dados encontrados no presente estudo também se encontraram na mesma faixa de valores obtida por Gomes & Caetano (2010), que foi de 120 mm em média. Porém os autores trabalharam com dados de monitoramento de seis marcos superficiais, durante 2 anos, em um aterro sanitário de pequeno porte localizado em Presidente Lucena (Rio Grande do Sul).

Comparando-se com os dados de Pereira (2000), em média 1290 mm, os valores de Marambaia foram bastante inferiores. A autora analisou resíduos com 4 anos de aterramento e monitorou os recalques por um período aproximado de 600 dias. A referida autora, em parte de seu trabalho, analisou os recalques imediatos, primários e secundários em pontos topográficos de referência superficiais alocados em uma célula experimental localizada no aterro controlado de Valdemingómez em Madri (Espanha), que se encontra em uma região de contrastes térmicos, com invernos severos e verões quentes, possuindo precipitação média anual de 430 mm.

Também se apresentaram inferiores os dados de Marambaia com relação aos valores reportados por Denardin (2013), que analisou dados de monitoramento de dois aterros, ambos inseridos em regiões de temperaturas médias inferiores as da área de estudo, sendo eles, uma célula encerrada do Aterro Sanitário de Minas do Leão, no Rio Grande do Sul (RS), o qual atende 150 cidades com uma média de 50.000 ton/mês e uma área já encerrada do Aterro Sanitário de São Leopoldo, RS, sendo esta área correspondente a um antigo lixão (Fase 1), esse possuindo uma demanda de 500 ton/mês. No primeiro aterro foram analisados 5 MS, no período de 1800 dias, com início no ano de 2007 e término no ano de 2012, tendo os recalques observados variado entre 2300 mm e 3950 mm. No segundo aterro foram analisados também 5 marcos superficiais, no período entre 1458 e 2067 dias, com início no ano de 2006 e término no ano de 2011, tendo os recalques medidos variado entre 680 mm e 2360 mm.

Também se apresentaram inferiores em comparação com a faixa de valores definida por Eyay (2016), 432 mm em média. O autor, trabalhando no Aterro Sanitário de São Leopoldo, na área definida como Fase 2, encerrada em 2014, analisou resultados de monitoramento de recalque de quatro marcos superficiais, durante um período de 16 meses.

As Figuras 4 e 5 mostram as curvas de velocidade, ou seja, taxa de recalque medidas em função do tempo de monitoramento considerado.

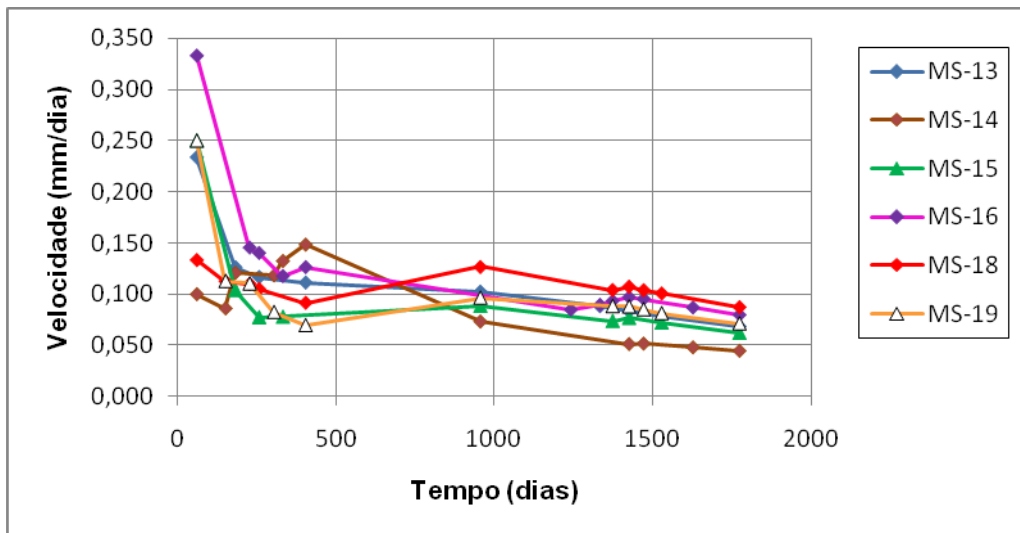


Figura 4: Medidas de velocidade dos MS que tiveram 5 anos (1775 dias) de observação.

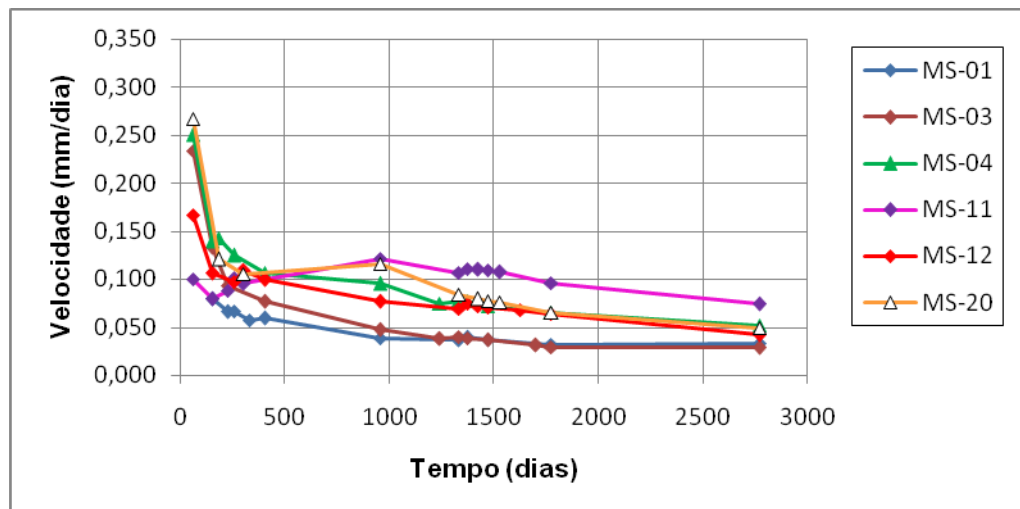


Figura 5: Medidas de velocidade dos MS que tiveram 8 anos (2771 dias) de observação.

Analisando o comportamento da velocidade de recalque, observou-se que os dados apresentam valores que variaram entre 0,333 e 0,029 mm/dia. Pode-se observar que a velocidade de recalque decresce com o transcorrer do tempo, assim como o esperado e apontado por diversos autores na literatura técnica, traduzindo uma estabilização futura do maciço, conforme Sowers (1973), Abreu (2000), Benson et al. (2007), Silva (2010), Caribé (2015), entre outros.

Pereira (2000) obteve valores de velocidade de recalques variando em uma faixa de 63,50 mm/dia a 2,50 mm/dia, já Denardin (2013) obteve valores de velocidades variando na faixa entre 7mm/dia e 3,5 mm/dia, no Aterro de Minas do Leão, e entre 3,2mm/dia e 0,4 mm/dia, no Aterro de São Leopoldo. Por sua vez, Eyay (2016) obteve valores de velocidade variando entre 3,5 mm/dia a 0,5 mm/dia.

Verifica-se que os resultados de velocidade do monitoramento em Marambaia se apresentaram menores em comparação aos supracitados. Tal fato pode ser justificado pela idade avançada dos RSU da área de estudo do presente trabalho e pelo período de monitoramento ter se iniciado cinco anos após o encerramento das atividades, existindo grande possibilidade das maiores velocidade de recalque já terem transcorrido.

## CONCLUSÕES

O monitoramento por meio dos marcos superficiais permitiu avaliar o comportamento compressivo dos RSU no aterro e obter parâmetros dos modelos matemáticos em estudo.

Os resultados permitiram observar que os recalques apresentaram valores que variaram entre 79 e 204 mm, representando deformações na faixa de 0,16 a 0,41% em relação a altura inicial do maciço, e as velocidades de recalque obtidas se encontravam entre 0,029 e 0,333 mm/dia, de modo que, pela magnitude dos recalques, foi possível concluir que há uma tendência de estabilização do maciço. O que significa que há forte possibilidade de se utilizar a área para outras finalidades, cabendo ressaltar que também devem ser avaliadas as questões quanto à contaminação do sítio. Contudo, é importante ressaltar que é recomendável se utilizarem estes dados de monitoramento para fazer uma previsão de recalques de ocorrência de recalques através de modelos matemáticos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABREU, R. Compressibilidade de maciços sanitários. São Paulo, 2000. 127 f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil – Escola Politécnica de São Paulo, 2000.
2. BABU, S. L. G. et al. Prediction of Long-Term Municipal Solid Waste Landfill Settlement Using Constitutive Model. Practice Periodical of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste Management, v. 14, n. 2, p. 139-150, April 2010.
3. BENSON C.H. et al. Practice review of five bioreactor/recirculation landfills. Waste Management, v. 27, n. 1, p 13-29, Jan 2007.
4. CARIBÉ, R. M. Análise multivariada no comportamento dos recalques em célula experimental de resíduos sólidos urbanos. 2015. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal De Campina Grande, Campina Grande.
5. CARNEIRO, A. A. Estudo da capacidade de carga de uma célula experimental de resíduos sólidos urbanos com base em ensaios de laboratório e campo. Fortaleza, 2013. 140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Ceará, 2013.
6. DENARDIN, G. P. Estimativa de recalques no aterro sanitário da Central de Resíduos de Recreio – Minas do Leão/ RS. Santa Maria, 2013. 92 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, 2013.
7. ESPINACE, R. et al. Problemas geotécnicos de los rellenos sanitarios. CEDEX, [S.l.], n. 77, p. 77 - 83, Dec. 1999.
8. EYAY, N. Previsão de recalques em aterros sanitários novos: caso do aterro de São Leopoldo. Porto Alegre, 2016. 110 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civi) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2016.
9. GOMES, P. L.; CAETANO, M. O. Municipal Solid Waste Sanitary Landfill Compressibility Study with Linear Regression Application. Soils and Rocks, v. 33, n. 3, p 145 – 157. Jan 2010.
10. MACHADO, S. L.; CARVALHO, M. F.; VILAR, O. M. Constitutive model for municipal solid waste. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, v. 128, n. 11, p. 940 – 951, Oct 2002.
11. MACHADO, S. L.; VILAR, O. M.; CARVALHO, M. F. Constitutive model for long-term municipal solid waste mechanical behavior. Computers and Geotechnics, v. 35, p. 775 – 790, Jan. 2008.
12. MCDUGALL, J.R. Settlement: the short and the long of it. ASCE Geotechnical Special Publication 209, p 76 – 111, 2011.
13. PALMA, J. H. Comportamiento geotécnico de vertederos controlados de residuos sólidos urbanos. Santander, 1995. 270 f. Tese de Doutorado em Geotecnia - Universidade de Cantabria, 1995.
14. PEREIRA, A.G.H. Compresibilidad de los residuos sólidos urbanos. 300 f. Tese de Doutorado - Universidade de Oviedo, 2000.
15. SILVA, F. H. R. Aplicação de modelos numéricos para estimativa de recalques de uma célula do aterro sanitário de Belo Horizonte. 2010. 120 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
16. SIMÕES, G.F.; CATAPRETA, C.A.A. Settlement Monitoring at Belo Horizonte Sanitary Landfill, Brazil. In: International Waste Management and Landfill Symposium, 12, 2009, Sardinia.
17. SOWERS, G. F. Settlement of waste disposal fills. In: International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Moscow, p. 207–210, 1973.