

Níveis de Alerta para Monitoramento de Aterros Sanitários Encerrados

André Alberto Angra Rocha

Fral Consultoria Ltda., São Paulo, Brasil, andre@fralconsultoria.com.br

Ana Elisa Silva Abreu

Escola de Engenharia de São Carlos, EESC-USP, a_e_abreu@yahoo.com.br

Francisco José Pereira de Oliveira

Fral Consultoria Ltda., São Paulo, Brasil, franciscojpoliveira@fralconsultoria.com.br

Thelma Sumie Maggi Marisa Kamiji

Fral Consultoria Ltda., São Paulo, Brasil, thelma@fralconsultoria.com.br

RESUMO: Este artigo apresenta a experiência na análise das velocidades de deslocamentos verticais e horizontais dos marcos superficiais instalados no Aterro Sanitário Sítio São João – município de São Paulo – SP, após seu encerramento. O objetivo desta avaliação foi verificar a possibilidade da redução dos limites dos níveis de alerta utilizados no monitoramento dos marcos superficiais instalados em aterros sanitários nesta fase. Após a análise dos dados, constatou-se uma tendência à estabilização destas velocidades, sendo as mesmas muito inferiores aos limites de alerta recomendados durante a fase de operação. De acordo com os resultados apresentados, definiu-se para o monitoramento geotécnico deste aterro, como aceitáveis, as velocidades de deslocamentos inferiores a 1cm/dia. Sugere-se que estes valores sejam utilizados como orientadores para o monitoramento geotécnico de aterros encerrados no Brasil. Ressalta-se, entretanto, que os mesmos devem ser aferidos, tendo como referência os valores desenvolvidos com base em observações diretas realizadas no monitoramento de cada aterro específico.

PALAVRAS-CHAVE: Aterro sanitário, Monitoramento geotécnico, Níveis de alerta, Velocidades de deslocamento horizontal e vertical, Marcos superficiais.

1. INTRODUÇÃO

Segundo ABRELPE (2014) o Brasil possui uma geração anual de, aproximadamente, 78,6 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos (RSU) com um crescimento anual da geração de 2,9%, tendo como principal disposição final ambientalmente adequada o aterro sanitário. Este tipo de disposição vem sendo adotada pela maioria dos municípios brasileiros, com grande expansão desde a década de 70. O monitoramento geotécnico foi implantado nas operações dos aterros sanitários com o objetivo de garantir a estabilidade global do maciço sanitário, evitando potenciais riscos ambientais e garantindo a integridade dos

colaboradores do empreendimento e circunvizinhança, quando houver.

A partir da década de 90, estes empreendimentos começaram a entrar em uma nova etapa, a de encerramento, sendo necessárias adequações dos procedimentos e parâmetros utilizados no monitoramento geotécnico, para acompanhamento técnico dessa nova fase.

Neste sentido, o objetivo deste trabalho é apresentar uma análise dos dados do monitoramento geotécnico realizado no Aterro Sanitário Sítio São João, após o seu encerramento, a fim de propor uma escala de níveis de alerta para a realização do monitoramento dos maciços sanitário após o

encerramento da disposição de resíduos.

2. METODOLOGIA

2.1 Aterro Sanitário Sítio São João

O Aterro Sanitário Sítio São João está localizado na periferia da cidade de São Paulo e iniciou sua operação em novembro de 1991. Foi inicialmente projetado para receber 2.500 toneladas de RSU por dia, chegando a 6.600 toneladas por dia durante o período de operação. O aterro passou por várias fases de ampliação, tendo o encerramento de suas atividades ocorrido em Outubro de 2009. A infraestrutura do empreendimento inclui o sistema de drenagem interno para o controle de líquidos percolados, de drenagem de biogás e impermeabilização de base.

2.2 Instrumentação instalada e níveis de alerta

Em outubro de 2015 o sistema de monitoramento geotécnico no Aterro Sanitário Sítio São João contava com instrumentação constituída por 42 piezômetros para monitoramento das poropressões geradas no maciço de resíduos e 241 marcos superficiais para monitoramento do deslocamento vertical e horizontal do maciço, além de medidores de vazão de lixiviados na entrada das lagoas de armazenamento e de vazão de biogás produzidos pelo aterro.

Os marcos superficiais são instrumentos utilizados para o monitoramento dos deslocamentos verticais e horizontais do maciço sanitário. São elementos estruturais de concreto com um pino metálico referencial engastado em sua extremidade. As leituras periódicas das coordenadas de cada marco instalado no aterro (x, y, z) são realizadas por uma equipe de topografia equipada com uma estação total. Por meio da comparação entre as leituras realizadas ao longo do tempo pode-se determinar as velocidades e direção dos deslocamentos dos marcos e, conseqüentemente, compreender a movimentação global do maciço.

No monitoramento geotécnico podem ser utilizados diversos métodos de interpretação das leituras de deslocamentos dos marcos

superficiais. Um deles é por meio do cálculo das velocidades dos deslocamentos dos marcos, comparados com recomendações teóricas de limites destas velocidades, tais como as recomendações de níveis de alerta de acordo com a velocidade de deslocamento para marcos superficiais instalados em aterros sanitários proposta por Oliveira(1996) e apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Critérios para velocidades de deslocamento para aterros sanitários (Oliveira, 1996).

Atenção	Alerta	Intervenção
$v \leq 2,5$ cm/dia	$2,5 < v \leq 10$ cm/dia	$v > 10$ cm/dia

2.3 Trabalhos realizados

Com base nos dados históricos do monitoramento geotécnico do Aterro Sanitário Sítio São João, foi selecionada uma sequência de 15 marcos superficiais configurada em três seções críticas, determinadas por meio do levantamento topográfico. A localização destas seções é apresentada na Figura 1.

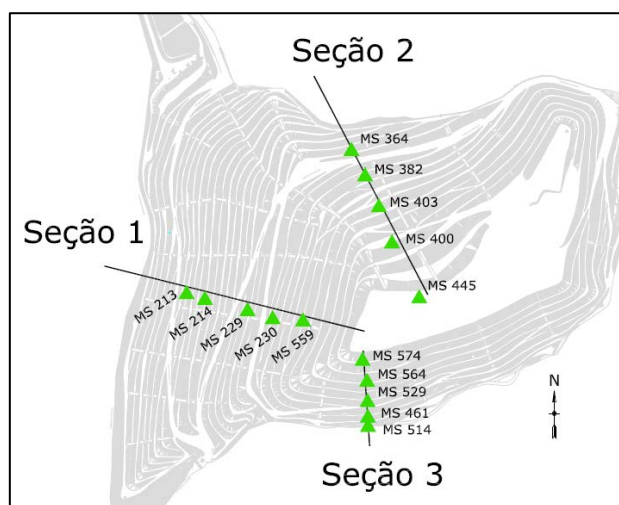


Figura 1. Localização das seções analisadas.

Para os marcos superficiais selecionados foram calculadas as velocidades de deslocamentos verticais e horizontais para os 6 anos seguintes ao encerramento da operação do aterro. Durante este período houve uma grande variação da frequência das realizações das leituras dos marcos superficiais instalados no aterro. A fim de se estabelecer uma uniformidade na frequência das leituras, optou-se por selecionar apenas uma leitura de cada

mês (aquela leitura que mais se aproximava do dia 20). Após esta padronização dos dados foram elaborados gráficos para análise das tendências das velocidades de deslocamentos verticais e horizontais no período analisado. Os resultados foram comparados com o comportamento de outros aterros encerrados descritos na literatura técnica sobre o assunto.

Finalmente, foram propostos níveis de alerta a serem utilizados no aterro após o seu encerramento.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Figuras 2 e 3 apresentam um exemplo dos gráficos elaborados, onde pode-se observar que as velocidades de deslocamento vertical e horizontal dos marcos superficiais analisados apresentam tendência a estabilização.

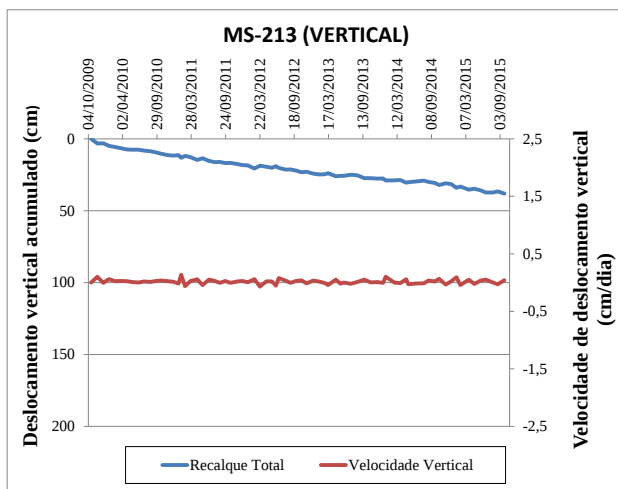


Figura 2. Gráfico da velocidade de deslocamento vertical.

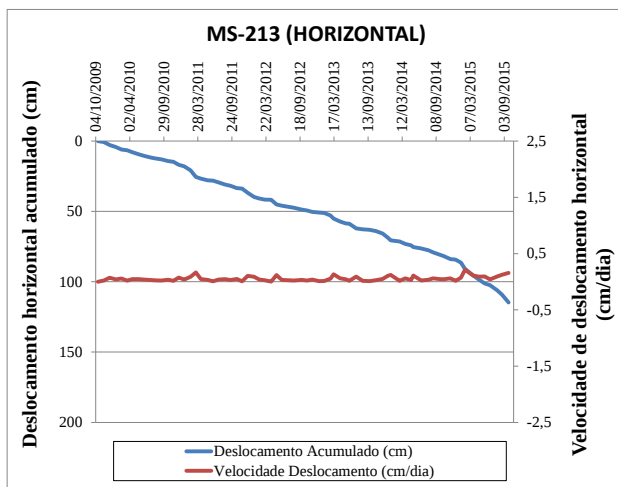


Figura 3. Gráfico da velocidade de deslocamento horizontal.

De acordo com as Figuras 2 e 3, pode-se observar que os módulos máximos das velocidades de deslocamentos horizontais e verticais, dos marcos analisados, apresentaram valores inferiores a 0,50 cm por dia.

A Tabela 2 apresenta os módulos máximos das velocidades de deslocamento vertical e horizontal para os marcos superficiais analisados.

Tabela 2. Tabela dos módulos máximos das velocidades de deslocamento verticais e horizontais dos Marcos Superficial analisados.

MS	H (espessura da massa de resíduos sobre o marco) (m)	Módulo de velocidade de deslocamento máximo (cm/dia)	
		Vertical	Horizontal
MS-213	24,6	0,14	0,21
MS-214	33,3	0,28	0,29
MS-229	57,6	0,19	0,43
MS-230	71,6	0,23	0,39
MS-559	86,5	0,26	0,68
MS-364	12,7	0,15	0,13
MS-382	47,2	0,20	0,15
MS-400	99,1	0,49	0,29
MS-403	83,1	0,34	0,24
MS-445	80,7	0,45	0,67
MS-461	43,1	0,92	0,42
MS-514	40,2	0,21	0,29
MS-529	42,6	0,43	0,65
MS-564	36,6	0,42	0,37
MS-574	40,6	0,57	0,41

De acordo com os dados apresentados na Tabela 2, verifica-se que a maioria dos marcos superficiais analisados apresentaram módulo de velocidade de deslocamento máximo inferior a 0,50 cm/dia.

Foi realizada uma comparação com dados apresentados por Coumoulos & Koryalos (1997). Para esta comparação foi necessária a adimensionalização dos recalques históricos dos marcos do Aterro Sanitário Sítio São João, utilizando a Equação 1:

$$Y = \frac{H}{\Delta H} \quad (1)$$

Em que:

H: Espessura da massa de resíduos sob o marco (m)

ΔH : recalque ocorrido entre um determinado

intervalo de tempo (m)

Os dados obtidos por meio da equação 1 foram comparados com as curvas limites da análise proposta por Coumoulos & Koryalos (1997) ($Ca=0,02$ e $Ca=0,25$), representadas pela Equação (2):

$$y = \frac{0,434 \cdot C_a}{t} \quad (2)$$

Em que:

C_a : Coeficiente de compressão secundária do resíduo

t: tempo decorrido desde o encerramento

A Figura 4 apresenta os resultados obtidos.

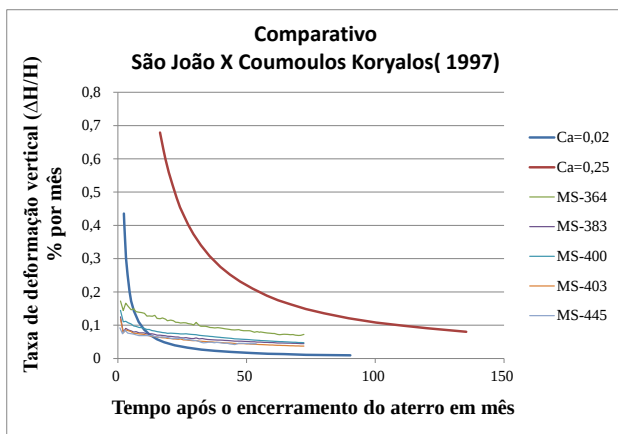


Figura 4 - Taxas de recalques pelo tempo, após o encerramento, apresentadas por Coumoulos & Karyalos (1997) e comparadas com os recalques do Aterro Sanitário Sítio São João.

Pode-se observar que as curvas dos recalques dos marcos superficiais instalados no Aterro Sanitário Sítio São João ficaram dentro das curvas limites ($Ca=0,02$ e $Ca=0,25$) apresentadas por Coumoulos & Koryalos (1997), com inclinação das curvas semelhantes e com tendência à estabilização.

Ressalta-se que a adoção do tempo inicial (t_0) influi diretamente no posicionamento das curvas no tempo. Esta divergência pode ter ocorrido devido às diversas fases de ampliação em que o aterro foi submetido durante a sua operação.

Por meio desta análise pode-se observar que, após o encerramento do Aterro Sítio São João, as velocidades de deslocamentos dos marcos superficiais instalados no mesmo possuem variação média inferiores a 0,5cm/dia.

Desta forma, propõe-se a redução dos valores que caracterizam os limites de alerta para aterros encerrados, definindo que até um ano após o encerramento do aterro devem ser utilizados os mesmos níveis da fase de operação. Após esse período, a variação máxima aceitável pode ser reduzida para 1,0cm/dia, com base nos dados analisados neste estudo. A Tabela 3 apresenta a proposta de redução.

Tabela 3 - Proposta de redução dos limites de alerta para velocidades de deslocamentos verticais e horizontais de marcos superficiais instalados em aterros sanitários encerrados.

Atenção	Alerta	Intervenção
$v \leq 1,0$ cm/dia	$1,0 < v \leq 2,5$ cm/dia	$v > 2,5$ cm/dia

4. CONCLUSÃO

A análise do comportamento dos marcos superficiais instalados no Aterro Sanitário Sítio São João durante seis anos após o seu encerramento revelou claramente a tendência de redução das velocidades de recalque da massa de resíduos.

Em função dos resultados obtidos, sugere-se que sejam adotados níveis de alerta específicos para o monitoramento do comportamento geotécnico de aterros sanitários encerrados, sendo que, decorrido um ano após o encerramento, velocidades de recalques verticais e horizontais inferiores a 1,0cm/dia sejam consideradas aceitáveis e valores superiores a este definam intervalos de alerta e ações para a tomada de decisão sobre as intervenções necessárias ao aterro.

Sugere-se que estes valores sejam utilizados como orientadores para o monitoramento geotécnico de aterros encerrados no Brasil.

Ressalta-se, entretanto, que os mesmos devem ser aferidos tendo como referência os valores desenvolvidos com base em observações diretas realizadas no monitoramento de cada aterro específico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Empresas de Limpeza – ABRELPE. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil.

2014. Disponível em:
<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2014.pdf>

- Coumoulos, D.G.; Koryalos, T.P. (1997). Prediction of attenuation of landfill settlement rates with time. International Society for Soil Mechanics and Foundation Engineering; 3, 14; 1807-1812; Soil mechanics and foundation engineering by A A Balkema.
- Oliveira, F. J. P. (1996). Geotechnical Problems & Solutions for Design & Operation of a Landfill of Municipal Waste. Proceedings of the Fourth International Conference. London.