

### III-313 - PREVISÃO DE RECALQUES A LONGO PRAZO DA MASSA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DO VAZADOURO DE MARAMBAIA ATRAVÉS DO MODELO HIPERBÓLICO.

**Thiago Paulo da Silva** <sup>(1)</sup>

Engenheiro Civil pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ).

**Leandro Rangel Correa** <sup>(2)</sup>

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

**Ana Ghislane Henriques Pereira van Elk** <sup>(3)</sup>

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

**Elisabeth Ritter** <sup>(4)</sup>

Professora Associada 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 trata de um estudo de previsão de recalques utilizando o modelo hiperbólico de Ling et al (1997), que foi calibrado com dados de monitoramento de marcos superficiais instalados após o encerramento das operações no antigo vazadouro de Marambaia. Este vazadouro, conhecido com lixão de Marambaia, situa-se em Nova Iguaçu (RJ) e atendeu o município durante 16 anos, sendo encerrado em fevereiro de 2003 depois de passar por um processo de remediação. Os recalques foram registrados durante um período de 8 anos evidenciando que o maciço continua sofrendo deformações, porém de baixa magnitude. A previsão de recalques utilizando o modelo de Ling mostrou que a massa de resíduos do vazadouro de Marambaia seguirá se deformando, evidenciando que os processos de degradação dos resíduos, mesmo em climas propícios como é o caso do Rio de Janeiro, seguem por um horizonte de mais de 30 anos após encerramento do vazadouro.

**PALAVRAS-CHAVE:** Recalques, Compressibilidade dos Resíduos Sólidos, Modelos de Previsão de Recalques, Vazadouro de Marambaia, Resíduos Sólidos

#### INTRODUÇÃO

A geração de resíduos sólidos urbanos no Brasil chegou ao patamar de 79,9 milhões de toneladas em 2015, segundo o panorama de resíduos sólidos urbanos divulgado pela Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2016). O problema é que 41,3% desses resíduos ainda são destinados de forma inadequada, como lixões e aterros controlados. Realidade não muito diferente da América Latina e Caribe, já que apenas 54,4% dos resíduos gerados são dispostos em aterros sanitários, de acordo com o Relatório de Avaliação Regional da Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos na América Latina e Caribe (AVAL, 2010).

Uma questão importante com respeito à destinação final dos resíduos em aterros sanitários é que como as grandes cidades tem no seu entorno uma região metropolitana, é mais difícil encontrar áreas disponíveis para a construção de aterros sanitários e por isto os aterros estão ficando cada vez mais altos, podendo atingir até 160 metros de altura. Neste sentido o estudo da compressibilidade é fundamental para garantir a estabilidade do maciço e aumentar o ganho de vida útil do aterro.

Existem vários modelos na literatura técnica de previsão de recalques em aterros, alguns baseados em biodegradação, outros em ajustes de curvas através de funções hiperbólicas, exponencial e logarítmica, modelos baseados na teoria da consolidação dos solos e modelos constitutivos que são mais sofisticados. A questão é saber quais modelos apresentam resultados razoáveis, sem que se exijam difíceis parâmetros de entrada.

O objetivo deste trabalho é fazer uma previsão de recalque em 20 anos usando o modelo hiperbólico de Ling et al (1997), calibrado com dados de recalques do Vazadouro de Marambaia, através de marcos superficiais, durante um período de 8 anos.

### MODELO DE LING ET AL (1997)

Ling et al (1997) utilizaram funções logarítmicas e hiperbólicas para reproduzir as curvas de recalques observados. Com relação às funções hiperbólicas, os autores propuseram uma formulação que incorpora em uma única equação os recalques primários e secundários, sendo o tempo inicial ( $t_0$ ) correspondente ao início das medidas de recalque (equação 1).

$$\Delta H = t / [1/\rho_0 + t / (\Delta H_{ult})] \quad \text{equação(1)}$$

Onde  $\rho_0$  é a taxa de recalques inicial ( $\Delta H/\Delta t$ ) e  $(\Delta H)_{ult}$  é o recalque final esperado (tempo infinito).

Para o caso das funções logarítmicas, os recalques ( $\Delta H$ ) podem ser analisados a partir da integração da equação básica que foi proposta por Yen & Scanlon (1975), admitindo como tempo inicial ( $t_0$ ) o tempo correspondente ao início das medidas de recalque, resultando em:

$$\Delta H = [a - b (\log t - 1)] / t \quad \text{equação(2)}$$

Onde a e b são os parâmetros do modelo e t é o tempo decorrido após o início das leituras de campo.

Os autores também propuseram a utilização de uma equação logarítmica simples para a previsão de recalques futuros, como se vê abaixo:

$$\Delta H = a' - b' \log t \quad \text{equação(3)}$$

Com o parâmetro t definido da mesma forma, e a' e b' são os parâmetros do modelo.

As funções hiperbólicas são amplamente utilizadas para representar deformações em solos, mas também podem ser utilizadas para o caso dos resíduos. Para tanto, a função hiperbólica proposta foi modificada de tal forma que o decaimento da massa orgânica pudesse ser acoplado aos parâmetros de resistência do material (Simões, 2000; Melo, 2003). Esta proposição incorpora em uma única equação os recalques primários e secundários. A escolha pelo modelo hiperbólico deveu-se ao fato de ser um modelo de fácil aplicação e, também por se dispor de uma série de recalques já registrados. Com isso é possível traçar as curvas finais de recalques.

Para se determinar os parâmetros do modelo foram feitas transformações na equação original para uma reta (linearização). As relações foram do tipo:

$$t / \Delta H = 1/\rho_0 + (1/\Delta H_{ult}) t \quad \text{equação (4)}$$

### MATERIAIS E MÉTODOS

A área em estudo foi o vazadouro de Marambaia situado no Município de Nova Iguaçu (RJ), que operou durante mais de 20 anos, sendo encerrado e remediado em 2003. O antigo lixão de Marambaia possui área de aproximadamente 20 ha e recebia diariamente 490 toneladas de resíduos. Durante sua vida útil o aterro era operado de forma bastante precária e informal, os resíduos eram dispostos e espalhados com um trator de esteira. A falta de recobrimento dos resíduos e de qualquer dispositivo para drenagem dos gases gerados também ocasionavam permanentes focos de autocombustão. Esse fato agravava ainda mais o quadro de degradação ambiental tanto pela poluição atmosférica, como os riscos à segurança da comunidade e das pessoas.

A recuperação da área degradada e o encerramento técnico do vazadouro, impuseram a implantação de estruturas de engenharia tais como cercamento e isolamento da área, sistemas de drenagem de águas pluviais e de gases, captação e tratamento do lixiviado, além de promover a impermeabilização e cobertura final das áreas aterradas. Na figura 1 mostra a vista aérea do vazadouro já em processo de remediação



**Figura 1. Vista aérea do vazadouro de Marambaia em 2003**

O instrumento de coleta de dados consistiu no monitoramento dos recalques ocorridos no vazadouro, que foi realizado pela equipe técnica da Haztec CTR Nova Iguaçu, por um horizonte de aproximadamente 8 (oito) anos, especificamente de fevereiro/2008 a setembro/2015. Esses dados foram feitas as análises de regressão linear para encontrar os parâmetros de calibração do modelo. Por fim, foram feitas previsões de recalques para um horizonte de 20 anos, contados a partir das leituras iniciais em campo.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta pesquisa foram analisados dados de 6 Marcos Superficiais (MS) dos 20 (vinte) instalados em diferentes pontos do vazadouro.

Através de análises de regressão linear foram encontrados os parâmetros do modelo para cada um dos seis marcos superficiais (Tabela 1). Com base nos estudos estatísticos, pode-se dizer que a correlação entre os dados é forte, fornecendo  $R^2$  entre 0,81 e 0,92.

**Tabela 1 – Parâmetros encontrados – modelo hiperbólico.**

Ponto	$\rho_0$ (mm/dia)	$\Delta H_{nfr}$ (mm)
MS - 01	0,068	135,14
MS - 03	0,126	80,00
MS - 12	0,135	192,31
MS - 13	0,160	232,56
MS - 16	0,178	256,41
MS - 20	0,179	196,08

A partir dos parâmetros encontrados estimaram-se os recalques a longo prazo, que no caso do presente trabalho foi adotado 20 anos. As figuras 3 a 5 ilustram a evolução dos recalques observados em campo, e compara com os recalques previstos através do modelo. Foram observados recalques entre 3,96 mm (para 2 meses) e 237,62 mm (para 20 anos).

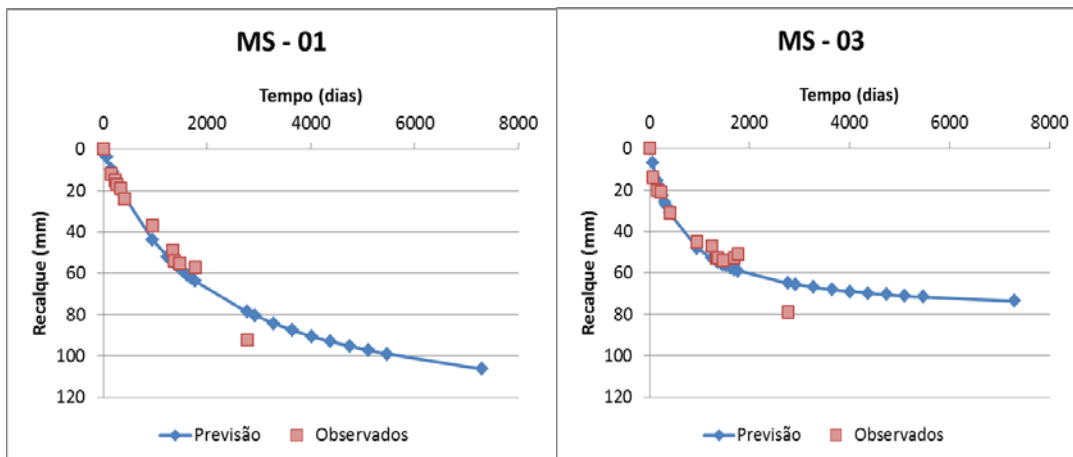


Figura 3. Previsão de recalque para os dados do marco superficial 1 e 3.

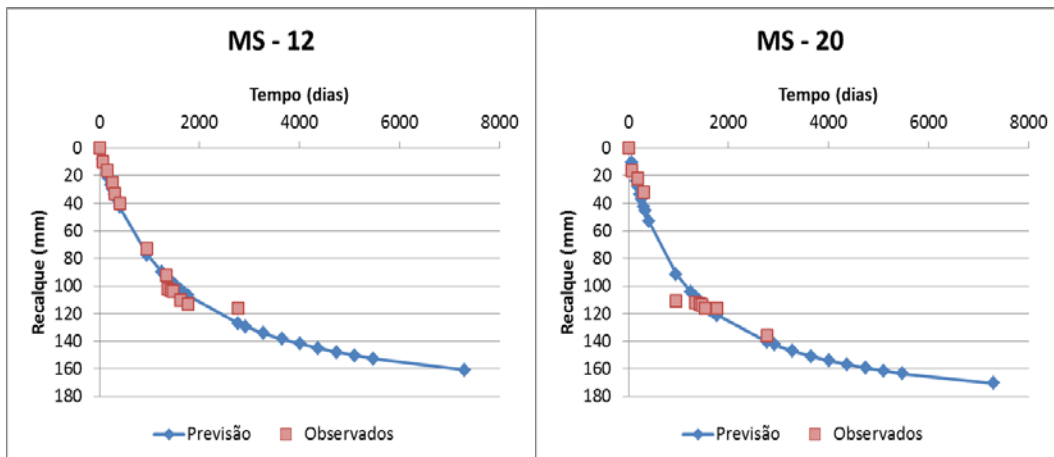


Figura 4. Previsão de recalque para os dados do marco superficial 12 e 20.

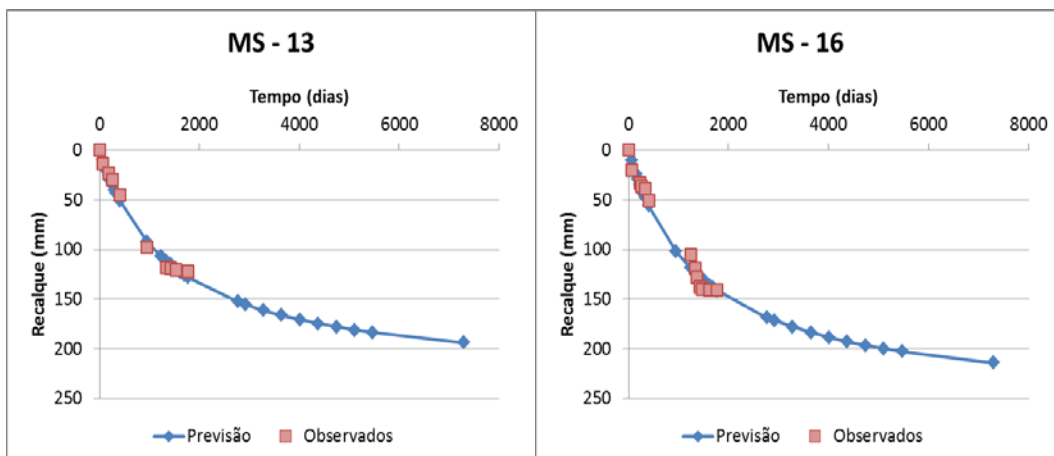


Figura 5. Previsão de recalque para os dados do marco superficial 13 e 16.

O uso do modelo hiperbólico de Ling et al. (1998) mostrou boa aderência entre os valores previstos e os observados em campo para cada um dos marcos superficiais.

As previsões demonstraram boa coesão com os dados observados no monitoramento de campo. O resultado de previsão obtido com o referido marco superficial apresentou um recalque entre 70 e 230 mm

aproximadamente em um horizonte de 20 anos. Este resultado é considerado de baixa magnitude tendo em vista que é um recalque de longo prazo. No entanto os marcos superficiais só foram instalados no aterro depois de 5 anos de encerrada as suas atividades, de modo que grande parte dos recalques no aterro já haviam ocorrido.

Mesmo assim, a previsão de recalques utilizando o modelo de Ling mostra que a massa de resíduos do vazadouro de Marambaia seguirá se deformando, evidenciando que os processos de degradação dos resíduos, seguem, após encerramento do vazadouro, por um horizonte maior que 30 anos.

Segundo Abreu (2000) as vantagens do método hiperbólico são a flexibilidade por poder ser aplicado a partir de um tempo inicial qualquer, mesmo quando há alterações no carregamento, e a praticidade, facilidade de aplicação e possibilidade de traçar o histórico de eventuais carregamentos pela análise da curva de recalque. A desvantagem principal é a impossibilidade da previsão de recalques em projeto, uma vez que é necessário ter medidas de recalques inicial para poder ser obtida a curva final.

A utilização desta previsão de recalques a longo prazo, utilizando o modelo de Ling et al (1997), com alguns ajustes, poderia ser recomendada para conhecer a magnitude dos recalques, caso interesse de usar a área do vazadouro para outros fins.

## CONCLUSÕES

Este trabalho possibilitou uma análise dos dados do monitoramento de recalques do vazadouro de Marambaia. Ao fazer análises de regressão linear, os dados foram tratados à luz do modelo hiperbólico de Ling et al. (1998). A proposta do modelo é justificável ao presente trabalho por se dispor de uma série de dados de recalques registrados por aproximadamente 8 anos.

Observaram-se pequenos valores de recalques e deformações para o vazadouro, mesmo para um horizonte de 20 anos. A baixa magnitude dos recalques observados deve-se ao fato dos resíduos serem mais velhos e de que os marcos superficiais terem sido instalados 5 anos após o encerramento das operações no vazadouro. Portanto, os resíduos já tinham sofrido, em grande proporção, os processos de degradação ocorridos no maciço. Mesmo assim, a previsão de recalques utilizando o modelo de Ling mostra que a massa de resíduos do vazadouro de Marambaia seguirá se deformando, evidenciando que os processos de degradação dos resíduos, mesmo em climas propícios, caso do Rio de Janeiro, seguem por um horizonte de mais de 30 anos, após encerramento do vazadouro.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, 2016. 92 p. <http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2015.pdf>. Acesso em 20/09/2016
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, 2004. Resíduos Sólidos: Classificação – NBR 10.004/2004. <http://www.abnt.org.br> Acesso em 16/10/2016.
3. AVAL - Relatório de Avaliação Regional da Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos na América Latina e Caribe. 2010.
4. PEREIRA, A. G. H. **Compresibilidad de los residuos sólidos urbanos**. 2000. Tese de doutorado, Dpto de Explotación y Prospección de Minas, Universidad de Oviedo, Espanha, 281p.
5. LING, H. I.; LESHCHINSKY, D.; MORHI, Y.; KAWABATA, T. (1998). **Estimation of municipal solid waste landfill settlement**. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, v. 124, n. 1, p. 21
6. SOWERS, G. F. **Settlement of waste disposal fills**. Proceedings, 8th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Moscou: [s.n.]. 1973. p. 207-210.
7. YEN, B. C.; SCANLON, B. S. **Sanitary landfill settlement rates**. Journal of the Geotechnical Engineering Division, 101, n. GT5, 1975. 475-487.
8. MARQUES, A. C. M. Compactação e compressibilidade de resíduos sólidos urbanos. 2001. Tese de doutorado - Escola de Engenharia de São Carlos-Universidade de São Paulo.