

Retroanálise da Ruptura de um Aterro Experimental Instrumentado Situado em Macaé – RJ

Pedro Nolasco Castro Nascimento

Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, Brasil –
pedro_1nascimento@hotmail.com

Luisa Muyllaert de Menezes Póvoa

Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, Brasil –
lulumuyllaert@hotmail.com

Paulo César de Almeida Maia

Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, Brasil –
maia@uenf.br

RESUMO: Devido ao crescimento da ocupação territorial nos centros urbanos, torna-se necessário a exploração de novas áreas, que antes eram evitadas devido suas caracterizações geológicas-geotécnicas, como por exemplo: solos de baixíssima capacidade de suportar carga, elevada compressibilidade, baixa resistência e elevados valores de umidades. Embora muitos estudos sobre esse tipo de depósito existem disponíveis na literatura, muitos são os desafios encontrados em construir sobre este tipo de solo, devido as grandes deformações e acréscimos de tensões geradas nesse solo. O presente trabalho tem o objetivo de analisar o comportamento de um aterro experimental instrumentado em região de baixada de Macaé – RJ, no que diz respeito a ruptura, realizando uma retroanálise para tal, utilizando o programa comercial Slide, da empresa Rocscience, e formulações consagradas pela literatura. O aterro experimental foi subdividido em 4 aterros, sendo 2 aterros reforçados e 2 sem reforço, com alturas diferentes. A instrumentação foi composta por: piezômetros, placas de recalque e marcos superficiais. Quando o aterro menor chegou a 3,1 m de altura, este foi interrompido e o alteamento seguiu apenas no aterro maior, até alcançar a ruptura. Vale destacar que a ruptura ocorreu apenas no aterro maior. A retroanálise teve um resultado satisfatório, sendo observado uma pequena diferença entre o valor obtido através de formulações da literatura e o valor que foi extraído do programa Slide, o que é muito aceitável tendo em vista a proximidade entre os valores e as condições que cada método proposto utiliza. Foi observado também uma proximidade com o valor encontrado através de ensaios triaxiais realizados na área.

PALAVRAS-CHAVE: Solo Mole, Aterro, Ruptura, Retroanálise.

1 INTRODUÇÃO

Devido ao enorme crescimento da construção civil vários são os locais que encontram-se sobrecarregados para novas construções. Com isso os locais antes desprezados, por serem compostos por solos de baixíssima capacidade de suportar carga, elevada compressibilidade, baixa resistência, elevados valores de umidades, hoje são amplamente buscados para novas construções.

Construção sobre solos dessa categoria são ainda um grande desafio para engenheiros geotécnicos, mesmo os mais experientes. A complexidade do problema está relacionado com a magnitude do recalque e como o mesmo ocorre ao longo do tempo.

A construção de aterros experimentais, quando possível, é uma boa oportunidade para estudar o comportamento do solo de fundação quando submetido a acréscimo de carga.

O presente trabalho tem o objetivo de obter o

valor da resistência não drenada do solo mole através de retroanálise da ruptura de um aterro experimental. Para isso foi utilizado o programa comercial Slide, da Rocscience.

2 ESTUDO DE CASO

O presente trabalho trata de um estudo da ruptura de um aterro experimental, que foi construído, para fins exclusivos de pesquisa, em região de baixada de Macaé – RJ.

O terreno onde foi construído o aterro experimental possui cerca de 0,8 km², onde sua vegetação tem predominância de pasto e em alguns locais podem ser encontrados taboas. Ao Norte o terreno possui um maciço no qual foi retirado todo material para construção do aterro e onde está instalado o marco fixo para leituras topográficas dos instrumentos do aterro.

Póvoa (2016) caracterizou uma parte do maciço de solo mole da Região de Macaé-RJ, onde foram retiradas amostras do local do aterro experimental do presente trabalho. A Tabela 1 traz alguns dos parâmetros obtidos por Póvoa (2016) em seu trabalho.

A construção do aterro deu-se da seguinte maneira: limpeza do terreno, construção do acesso das máquinas, construção do aterro de conquista e camada drenante, instalação da geogrelha, instalação dos piezômetros e placas de recalque, execução do aterro por camadas, compactação de cada camada, ruptura do aterro, construção das bermas de equilíbrio e instalação dos marcos superficiais.

Destaca-se que o aterro foi subdividido em 2 aterros, o aterro 1 que foi finalizado quando atingiu uma altura de 3,1 m e o aterro 2, que foi alteado até alcançar a ruptura, que ocorreu em 3,5 m. A parte central de cada um dos 2 aterros foi reforçada com a geogrelha FORTRAC® 80T, fornecida pela Empresa HUESKER.

Para construção do aterro experimental foram executados ensaios de compactação, caracterização completa e cisalhamento direto nos três tipos de solo que o maciço, ao norte do terreno, possui. Os ensaios foram realizados para melhor escolha de quais materiais seriam utilizados em cada etapa do aterro experimental.

A instrumentação do aterro contou com a instalação de 12 piezômetros de corda vibrante,

12 placas de recalque, instaladas ao lado de cada piezômetro, 72 marcos superficiais e medidor de nível d'água.

Tabela 1. Parâmetros do solo mole da área de estudo (Póvoa, 2016)

Espessura (m)	5-12
w_{nat} (%)	200
LL (%)	180
IP(%)	110
% argila	60-80
γ (kN/m ³)	12,6
e_0	5,2
CR	0,46
Cc	2,6 a 3,0
c_v (cm ² /s) x 10 ⁻⁷	1,2
S_u (kPa) (UU)	5,0-7,5

A ruptura do aterro experimental ocorreu 31 dias após o início da construção do aterro. Após a ruptura fez-se um levantamento para saber exatamente em qual altura ocorreu a ruptura. Destaca-se que antes de ocorrer a ruptura foram observadas trincas no aterro. Essas trincas foram observadas pouco antes da ruptura e, a altura de ruptura será considerada a altura de quando surgiram as trincas no aterro, que foi de 3,5 m. É importante destacar que o aterro veio a um colapso significativo quando alcançou a altura de 3,7 m.

A cada camada lançada do aterro foi retirado material do aterro para determinar seu peso específico. Sendo assim, foi possível conhecer detalhadamente cada camada do aterro, até a ruptura. Com isso, a modelagem do problema foi também feita por camadas. Foi utilizado o programa comercial Slide, da Rocscience, para efetuar as análises.

Em cada camada foi calculado um valor de submersão do aterro, conforme proposto por Martins e Abreu (2002).

Os valores dos pesos específicos de cada camada do aterro são apresentados na Tabela 2.

Conforme observado na Tabela 1, o valor da resistência não drenada obtida através de ensaios de laboratório, foi de 7,5 kPa.

Massad (2003) traz uma fórmula simples para cálculo de altura crítica de aterros, que é apresentada na Equação 1:

$$H_c = \frac{5,5 \times Su}{\gamma_{at}} \quad (1)$$

onde Su é a resistência não drenada do solo mole e γ_{at} é o peso específico do aterro. Como a altura de ruptura é conhecida, o Su torna-se a incógnita da equação. A solução da equação nos forneceu um valor de 12 kPa de resistência não drenada.

Os valores da resistência não drenada obtidos pela Equação 1 e em laboratório foram um limite para a retroanálise da ruptura do aterro.

Tabela 2. Resumo do controle das camadas de campo

Camada	γ_d (g/cm ³)
Conquista	1,3
1ª camada	1,7
2ª camada	1,75
3ª camada	1,85
4ª camada	1,8
5ª camada	1,7
6ª camada	1,8
7ª camada	1,7
8ª camada	1,7
9ª camada	1,65
10ª camada	1,6
11ª camada	1,6
12ª camada	1,6

Foram realizados ensaios de cisalhamento direto no material do aterro para ser obtido os parâmetros necessários para a retroanálise. Os valores obtidos nos ensaios estão resumidos na Tabela 3.

Para uma retroanálise eficaz foi necessário um mapeamento das trincas, para saber exatamente como ocorreu a ruptura no campo. Foi medido também a distância de levantamento do terreno natural ao lado do aterro. As figuras 1, 2 e 3 ilustram a ruptura do aterro, enquanto a Figura 4 traz o mapa das trincas do aterro.

Tabela 3. Resultado dos ensaios do material do aterro e do aterro de conquista

	c'	Φ'	γ_m (kN/m ³)
Aterro de conquista	3	38	15
Corpo do Aterro	5	34	18,7



Figura 1. Levantamento lateral de solo (Nascimento, 2016)



Figura 2. Ruptura do Aterro 2 (Nascimento, 2016)



Figura 3. Detalhe das trincas no plator do aterro 2 (Nascimento, 2016)

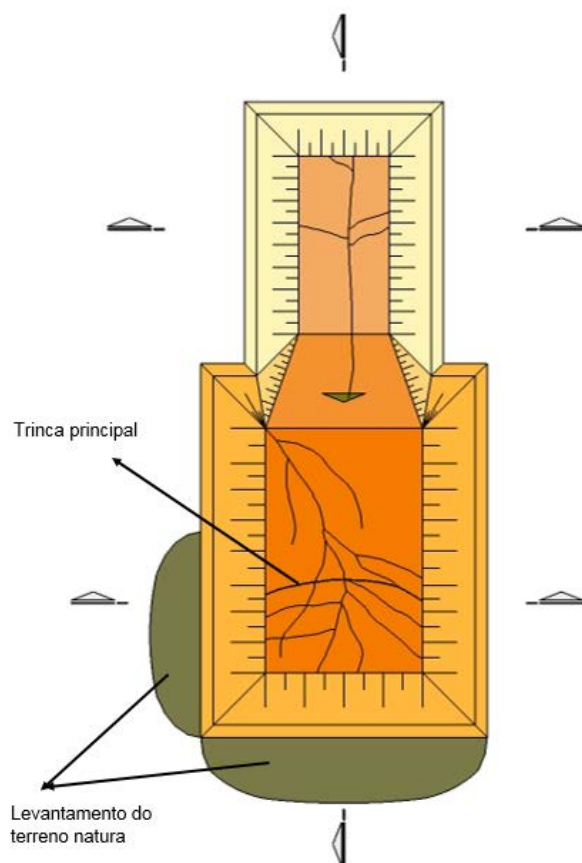


Figura 4. Trincas no Aterro Experimental

3 RESULTADOS

Após a conclusão que a ruptura ocorreu na seção longitudinal do aterro, fez-se uma figura, Figura 5, com a nomeação das seções estudadas.

Após um estudo do caso, iniciou-se as análises no Slide, onde todas as tentativas de análises estão apresentadas na Tabela 4.

Destaca-se que as análises foram feitas utilizando vários métodos consagrados da literatura, mas os resultados apresentados são do método de Bishop Simplificado. A escolha pelo método de Bishop deu-se pelo fato de ser um método simples e eficaz para cálculo de fator de segurança de aterros sobre solos moles.

A Figura 6 traz a análise de estabilidade para condição de ruptura do aterro 2.

Com o valor da resistência não drenada do solo mole foi possível uma estimativa da variação do fator de segurança com o alteamento do aterro, como pode ser observado pela Figura 7. Destaca-se que foi adicionado o FS após a construção da berma de equilíbrio ao gráfico.

Tabela 4. Relação das tentativas de encontrar a resistência não drenada do solo mole

Su	FS
12	1,345
11	1,238
10	1,130
9	1,022
8,9	1,011
8,8	1,000

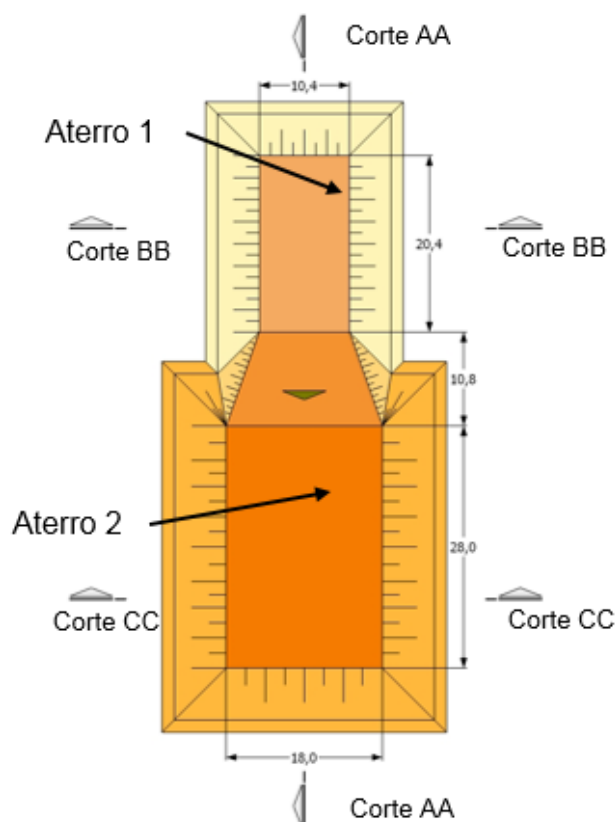


Figura 5. Sessões analisadas na análise de estabilidade do aterro

O dimensionamento da berma de equilíbrio foi possível após encontrar o valor da resistência não drenada do solo mole. Foram feitas análises para as seções 1, 2 e 3, de acordo com a Figura 5. Os resultados dos FS encontram-se na Tabela 5. A nomenclatura seção 1 – LE e seção 1 – LD é para análises feitas no aterro maior e menor, respectivamente.

Foram realizadas diversas tentativas para construção da berma de equilíbrio. A geometria final, cujo FS correspondente encontra-se na Tabela 5, está ilustrado na Figura 8.

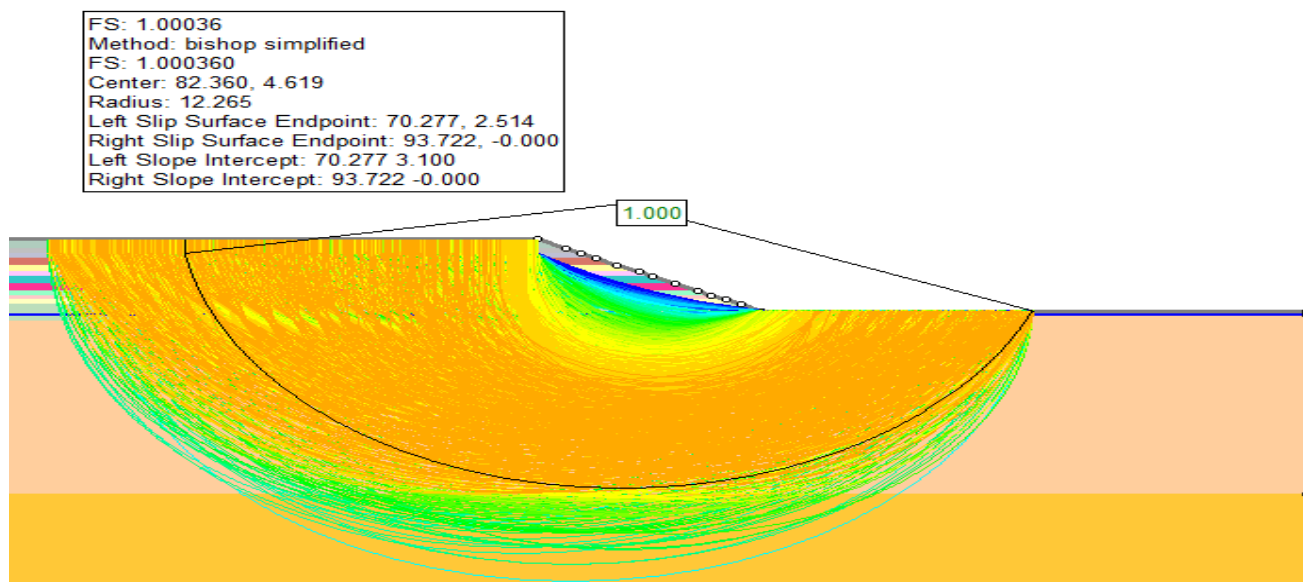


Figura 6. Análise de Estabilidade do Aterro - Sessão 1

Tabela 5. FS encontrados para as bermas de equilíbrio.

	Seção 1 - LE	Seção 1 - LD	Seção 2	Seção 3
Bishop Simplificado	1,565	1,387	1,474	1,659
Janbu Simplificado	1,522	1,326	1,377	1,553
Spencer	1,564	1,386	1,481	1,655
GLE/Morgenstern-Price	1,564	1,384	1,478	1,655

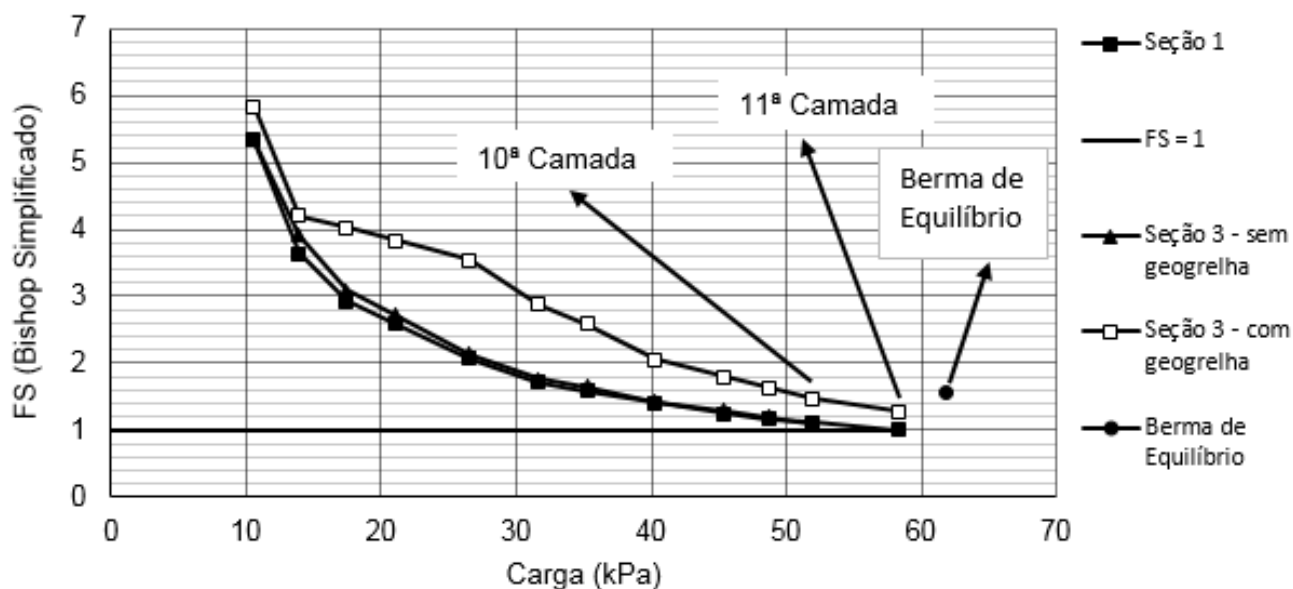


Figura 7. Variação do Fator de Segurança com a carga até o final da construção do aterro.

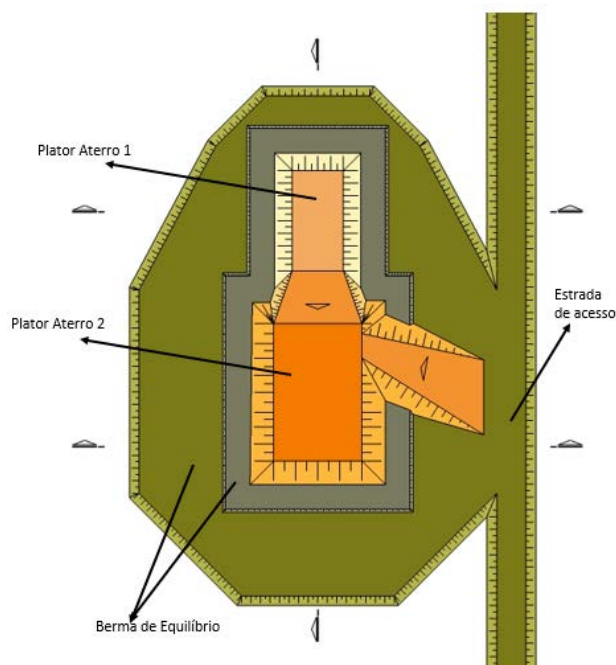


Figura 8. Layout do projeto do aterro experimental com as bermas de equilíbrio.

4 CONCLUSÕES

A retroanálise do aterro teve um resultado satisfatório, tendo em vista que foi encontrado uma resistência não drenada de 8,8 kPa e, de acordo com a Tabela 1, a resistência não drenada pelo ensaio triaxial UU foi de 7,5 kPa. Embora os valores não sejam iguais eles apresentam uma boa proximidade. Essa diferença pode ser explicada pelas condições de contorno que são diferentes de campo e do laboratório. Pode-se dizer também que, no processo de retirada de amostra, está sempre sofrerá alívio de tensões, por melhor que seja a amostragem, o que vai acarretar em uma diferença, embora pequena, no resultado final.

As bermas de equilíbrio foram bem dimensionadas, sendo observado também FS mínimos, conforme DNER-PRO (DNER, 1998).

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio financeiro dado pela FAPERJ e ao Laboratório de Engenharia Civil da UENF (LECIV) pelo ambiente de trabalho para a realização do estudo.

Agradecemos também ao empreendedor que financiou a execução e instrumentação do aterro experimental e à HUESKER, em especial aos Eng. André e Thiago.

REFERÊNCIAS

- DNER. (1998) Projeto de aterros sobre solos moles para obras viárias. DNER: Rio de Janeiro. 227p.
- Martins, I. M., Abreu, F. (2002) Uma Solução Aproximada para o Adensamento Unidimensional com Grandes Deformações e Submersão de Aterros. Solos e Rochas, n. 25, p. 3-14.
- Massad, F (2003) Obras de Terra – Curso Básico de Geotecnia. São Paulo: Oficina de Textos, 216p.
- Nascimento, P. N. C. (2016) Análise de um Aterro Experimental Levado à Ruptura Situado em Região de Baixada de Macaé – RJ. Tese (Mestrado em Engenharia Civil). Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, 127p.
- Póvoa, L. M. M. (2016) Caracterização Geotécnica de um Depósito de Solo Mole em Área de Baixada Localizada em Macaé-RJ. Tese (Mestrado em Engenharia Civil). Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, 155p.