

Análise da Estabilidade de Aterro Sobre Solo Mole em Obra Rodoviária.

Engº. Rodrigo Fábio Silva de Oliveira

Mestrando PROEC/UFS, Aracaju, Brasil - rodrigofabiooliveira@gmail.com

Dr. Fernando Silva Albuquerque

Pesquisador PROEC/UFS, Aracaju, Brasil - albuquerque.f.s@uol.com.br

Dr. Erinaldo Hilário Cavalcante

Pesquisador PROEC/UFS, Aracaju, Brasil - erinaldo@ufs.br

Dr. Osvaldo de Freitas Neto

Pesquisador DEC/UFS, Aracaju, Brasil - osvaldocivil@yahoo.com.br

RESUMO: Para atender à crescente demanda de tráfego, o governo brasileiro está implantando várias obras de adequação de capacidade e implantação de rodovias. Com as obras em andamento, as empresas executoras se deparam com problemas envolvendo a construção de aterros sobre maciços compressíveis moles, ocasionando, algumas vezes, a interrupção dos serviços de pavimentação para a solução dos problemas associados ao adensamento do solo mole e a ruptura dos aterros construídos sem os devidos estudos técnicos. Este trabalho tem por objetivo apresentar e discutir as análises de estabilidade do aterro sobre solo mole em duas situações: primeiro, a situação de projeto, e, no segundo caso, a situação que apresenta um perfil geológico tipicamente de solo mole identificado após investigação geotécnica mais detalhada, com furos de sondagem SPT, realizada depois do aparecimento de uma fissura, com 90 m de extensão, de alto grau de severidade, que indicava aparente movimentação do aterro. A análise das configurações geométricas e geotécnicas das situações do aterro permitiu realizar uma análise da estabilidade do aterro para cada situação, possibilitando a determinação do coeficiente de segurança mínimo contra a ruptura do talude. Concluiu-se que o solo mole apresentava iminência de ruptura, mesmo sem a execução do aterro, fato que ressalta a importância de investigação geotécnica detalhada nas áreas onde solo mole for identificado, com ensaios de laboratório e de campo adequados.

PALAVRAS-CHAVE: solo mole, fator de segurança, análise de estabilidade, ruptura de aterro.

1 INTRODUÇÃO

Os solos argilosos compressíveis, que também são conhecidos como solos moles, são geralmente formados por material orgânico com elevado teor de umidade e que apresentam baixa resistência aos esforços de cisalhamento. Portanto, são materiais bastante complexos para as obras rodoviárias.

Segundo Palmeira (2002), as condições topográficas e geológicas de certas regiões do Brasil favorecem a formação de grandes zonas

de alagamento, que se caracterizam pela presença de solos moles.

Quando o projeto geométrico não consegue evitar que o traçado da rodovia contemple aterro sobre esse material, a viabilidade técnica e econômica dos projetos de soluções especiais de aterros sobre solos moles tornam-se um desafio para as engenharias rodoviária e geotécnica.

Este estudo tem como objetivo analisar a solução especial de aterro sobre solo mole considerada em projeto de uma obra rodoviária com a situação real, encontrada após

investigações geotécnicas mais detalhadas, mostrando uma seção transversal do solo local com perfil geotécnico que apresentou condições totalmente distintas das condições consideradas em projeto.

2 ATERROS SOBRE SOLO MOLE

Segundo Palmeira (2002), no passado, mantas de raízes, galhos e plantas eram utilizadas como reforço do solo. A substituição total ou parcial do solo mole por solo de jazida também é bastante utilizada. De acordo com a norma DNER – PRO 381/98, essa solução até profundidades rasas (até 3,00 m) é economicamente viável.

Segundo Massad (2003), *apud* Borba (2007), para o dimensionamento de aterros sobre solos moles, devem ser analisadas a estabilidade do aterro logo após a construção e os recalques previstos ao longo do tempo. As análises de estabilidade de aterros sobre solos moles compreendem três casos: instabilidade interna (aterro), instabilidade externa (fundação) e instabilidade global (aterro + fundação), cujos modelos de ruptura são ilustrados na Figura 1.

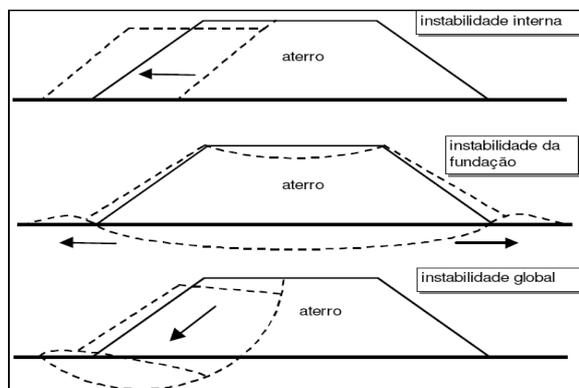


Figura 1. Modos de ruptura de aterros sobre solos moles (Fonte: Almeida e Marques, 2010).

Segundo Lima (2012), em aterros de obras rodoviárias é comum ocorrer recalques maiores na região central do aterro. Mesmo assim, a estabilidade lateral do aterro também deve ser verificada.

Segundo Oliveira (1999), os deslocamentos verticais e os horizontais estão relacionados de alguma maneira que nem sempre se pode expressar essa relação através de uma única

teoria. O autor acrescenta ainda que as variações nas características geotécnicas de cada caso alteram os resultados, mas, de maneira geral, alguns parâmetros podem ser utilizados como referência na comparação com situações novas.

Segundo Almeida e Marques (2010), todos os modos de ruptura devem ser analisados rigorosamente, mas, em geral, os modos de ruptura que governam o problema de aterro sobre solos moles são os de ruptura da fundação e ruptura global.

2.1 Fator de segurança (FS)

A análise da estabilidade de taludes pode ser prevista utilizando-se métodos determinísticos ou probabilísticos, geralmente realizada para identificação das condições de segurança contra a ruptura do aterro. Nas análises determinísticas convencionais, o cálculo do fator de segurança contra a ruptura de taludes envolve dados que podem apresentar significativa variabilidade, devido à própria heterogeneidade natural dos solos. (Maia *et. al.*, 2010).

A avaliação probabilística da estabilidade de um talude é feita considerando-se usualmente o fator de segurança médio (FS) como uma função de variáveis aleatórias e independentes, que representam os parâmetros geotécnicos do solo e geométricos do aterro. Pode-se obter a probabilidade de ruptura do talude como sendo igual à área sob a curva da distribuição de FS definida por $FS \leq 1,0$ (Maia *et. al.*, 2010).

Segundo Almeida (2010), no geral, utilizam-se valores de FS superiores a 1,5, sendo aceitos valores menores (até 1,3) no caso de cálculo de estabilidade para uma condição temporária, como aterro construído em etapas com monitoramento de inclinômetros e sem que haja construções próximas.

Segundo a norma DNER-PRO 381/98, aterros classe III admitem Fator de Segurança mínimo da ordem de 1,2. Ressalta-se que valores menores podem resultar em deformações prejudiciais ao uso da rodovia.

3 SOLUÇÕES PARA OBRAS DE ATERROS SOBRE SOLO MOLE

3.1 Aterros leves

O uso de materiais mais leves proporciona a melhoria das condições de estabilidade permitindo também a implantação mais rápida da obra diminuindo os recalques (Roza, 2012).

O material leve mais utilizado em obras rodoviárias é Poliestireno expandido – EPS – Isopor com peso específico de 0,15 a 0,30 (kN/m³).

3.2 Aterros sobre drenos verticais

Denomina-se aterro sobre drenos a técnica de cravação de drenos verticais de brita, areia ou materiais sintéticos e posterior execução do aterro sobre o solo mole. Os drenos diminuem a distância de drenagem dentro da massa de solo compressível, o que dissipa as poropressões mais rapidamente, acelerando os recalques (Roza, 2012).

3.3 Combinação de aterro com sobrecarga temporária e drenos

A função da sobrecarga temporária é acelerar os recalques primários e compensar total ou parcialmente os secundários causados pelos fenômenos viscosos não relacionados com a dissipação das poropressões (Roza, 2012).

Segundo Palmeira (2002), os drenos verticais aceleram os recalques por adensamento e reduzem os deslocamentos horizontais do solo mole. A drenagem radial produz uma considerável redução nos deslocamentos horizontais do solo mole, que ocorre devido à rápida dissipação do excesso de poro-pressão induzida pela construção do aterro.

Os principais tipos de drenos são de materiais granulares, geodrenos e drenos fibroquímicos (Palmeira, 2002).

3.4 Aterros construídos em etapas, uso de bermas, reforço e drenos

Aterros em etapas são utilizados quando o fator de segurança à ruptura da etapa única é baixo. Uma técnica visando o aumento do fator de segurança contra a ruptura é a utilização de bermas de equilíbrio para estabilizar e suavizar

a inclinação média do talude de um aterro (Roza, 2012).

O uso de geossintéticos ou outros materiais são maneiras de prover forças resistentes ao maciço para aumentar o fator de segurança do aterro. Segundo Palmeira (2002), os resultados obtidos em seu trabalho mostram a eficiência da utilização combinada de camadas de reforço e drenos verticais para o aumento da estabilidade e redução de deslocamentos horizontais do solo mole, com repercussão benéfica para fundações de estruturas vizinhas.

3.5 Aterros sobre estacas com reforço de geogrelha

Segundo Nascimento e Marques, (2010), neste tipo de solução utilizam-se capitéis para transferir a carga do aterro e do tráfego para as estacas e para camadas de solo com maior capacidade de carga. As geogrelhas utilizadas na base do aterro tem a função de redistribuir os esforços do aterro e tráfego para os capitéis e, conseqüentemente, para as estacas.

4 O CASO EM ESTUDO

4.1 Situação de projeto

O estudo de caso que subsidiou este trabalho consiste num aterro rodoviário com 940 m de extensão, construído sobre um perfil de argila caracteristicamente compressível, conforme indicado pelas sondagens tipo SPT realizadas no eixo da plataforma de terraplenagem, ou seja, a presença de camada de solo mole com aproximadamente 4,0 metros de espessura. A complementação da investigação geotécnica ocorreu após o aparecimento de uma fissura com alto grau de severidade (ver Fig. 2), sem que as leituras da instrumentação instalada não apresentassem nenhuma indicação de anormalidade na execução do aterro.

A solução especial adotada nesse aterro foi a execução de um aterro com altura média de 3,00 m e uma sobrecarga de 2,00 m com taludes de inclinações de 1(V):1,5(H).

O método construtivo contemplou a remoção parcial do talude do aterro existente, execução

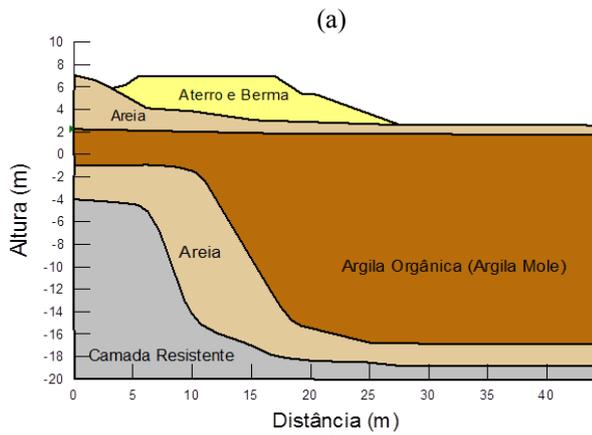


Figura 4. Seções transversais utilizadas na análise de estabilidade do aterro: (a) seção de projeto; (b) seção após sondagens tipo SPT.

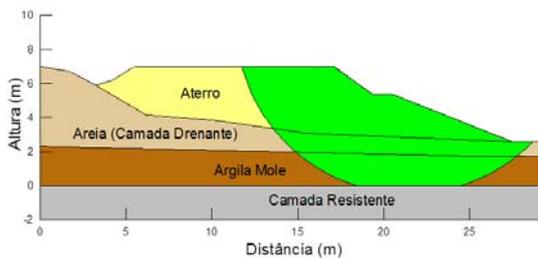


Figura 5. Análise de estabilidade do aterro com situação de projeto.

Os resultados obtidos com os métodos de análise de estabilidade do aterro propostos por Fellenius e Bishop indicaram $FS=1,2$ e $FS=1,15$, respectivamente. Observou-se uma pequena variação do FS entre os métodos analisados para a situação de aterro. Como a solução especial para esse aterro possui método construtivo em etapas, com monitoramento dos deslocamentos verticais e horizontais através de instrumentação (piezômetros, placas de recalque, inclinômetros) e velocidade de construção compatível com o adensamento do solo e dissipação da poropressão, os valores de FS obtidos podem ser considerados aceitáveis. O perfil geotécnico encontrado no local em estudo apresenta, de acordo com os resultados do software utilizado, situação iminente de ruptura para o solo mole, mesmo sem execução do aterro com sobrecarga. A Figura 6 mostra a superfície potencial de ruptura coincidindo com a localização da fissura que motivou este estudo.

Observa-se ainda na Figura 6 uma berma de equilíbrio com seção de 2,0 m de altura por 3,5 m de largura.

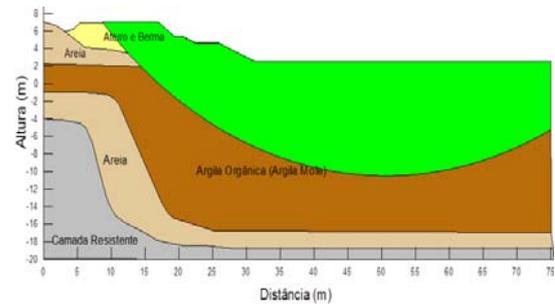


Figura 6. Análise de estabilidade do aterro após execução da berma de equilíbrio.

Foi observado também que esta consagrada solução praticamente não influenciou a superfície de ruptura encontrada através do software. Para esta condição a análise de estabilidade do aterro apresenta $FS=1,0$, ou seja, indicando iminência da ruptura do aterro, mesmo quando considerada a influência de uma berma de equilíbrio.

Analisando-se o comprimento da cunha da superfície de ruptura nas Figuras 5 e 6, observa-se que a primeira apresenta uma superfície potencial de ruptura ocorrendo até 27 m de distância do eixo de projeto, enquanto que a segunda apresenta uma superfície de ruptura ocorrendo com distância superior a 70 m do eixo de projeto, quando considerada toda a profundidade e largura do solo mole da seção.

Praticamente não houve alteração nos valores de FS encontrados, para os dois métodos de análises utilizados, nas seções transversais, uma sem berma de equilíbrio e outra seção com berma de equilíbrio após investigação geotécnica mais detalhada.

7 CONCLUSÕES

O projeto geométrico de obras rodoviárias, quando possível, deve evitar o traçado sobre solo mole, pois a execução de aterros, neste caso, está associada a elevados custos de implantação e suscetível a recalques diferenciais inadmissíveis ou ruptura.

Este trabalho abordou a construção de aterro sobre um perfil geotécnico constituído de solo argiloso compressível, aterro sobre solo mole, identificado após investigação geotécnica com SPT, cujo perfil sujeitaria a solução especial de

aterro sobre solo mole à ruptura no segmento analisado.

Os Fatores de Segurança encontrados, para os métodos de análise de Fellenius e Bishop para a situação de projeto, foram considerados aceitáveis, visto que o aterro foi construído em etapas e monitorado por instrumentação. Entretanto, a situação real do solo mole indicou um risco iminente de ruptura do aterro, o que poderia ocasionar falta de eficácia de qualquer solução especial de aterro a ser implantada.

O uso de berma de equilíbrio praticamente não influenciou a previsão da superfície potencial de ruptura do aterro obtida pelo software utilizado.

Por fim, cabe destacar a importância de se realizar investigações geotécnicas detalhadas em obras rodoviárias, nas áreas onde solo mole for encontrado, com campanhas de ensaios de laboratório e, principalmente, ensaios *in situ* adequados, bem como análises de estabilidade dos taludes e o monitoramento do aterro através de instrumentação eficiente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, M. S. S. e Marques, E. S. (2010). *Aterros sobre solos moles. Projeto e desempenho*. Editora oficina de textos, São Paulo.

Baroni, M. (2010). *Investigação geotécnica em argilas orgânicas muito compressíveis em depósitos da barra da tijuca*, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro: UFRJ / COPPE.

Borba, A. M. (2007). *Análise de desempenho de aterro experimental na vila panamericana*, Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro: UFRJ / COPPE.

DNER PRO 381/98. (1998) *Projeto de aterros sobre solos moles para obras*. Departamento Nacional de Estradas e Rodagem.

Hartmann, Diego Arthur. (2012). *Modelagem centrífuga de aterros estruturados com reforço de geossintéticos*, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro: UFRJ / COPPE.

Lima, Bruno Teixeira. (2012). *Estudo do uso de colunas*

de brita em solos argilosos muito moles, Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro: UFRJ / COPPE

Maia et al. (2010). *Aplicação de retroanálise probabilística para avaliação da estabilidade de taludes*, VÉRTICES, Campos dos Goytacazes/RJ, v. 12, n. 1, p. 43-52, jan./abr.

Oliveira, Henrique Magnani de. (2006). *Comportamento de aterros reforçados sobre solos moles levados a ruptura*. Tese de Doutorado – Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ/ COPPE.

Oliveira, José Renato Moreira da Silva de, *Controle de estabilidade em aterros sobre solos moles*, Tese de Doutorado - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro: UFRJ / COPPE, 1999.

Palmeira E. M., Fahel A. R.S., Ortigão J. A. R. (2002). *Comportamento de encontros de ponte reforçados com geossintéticos sobre solos moles*. COBRAMSEG, anais..., São Paulo, 2002.

Roza, Felipe Costa. (2012). *Comportamento de obras sobre solos moles com colunas de brita*, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro: UFRJ / COPPE.

Silva, Uilliam Rocha da. (2008). *Análise comportamento de aterros reforçados sobre solos moles: um estudo de caso da rodovia BA-685, Santa Cruz de Cabrália, BA*, Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro: UFRJ / COPPE.