



Artigo submetido ao Curso de Engenharia Civil da UNESC -  
como requisito parcial para obtenção do Título de Engenheiro Civil



## RETROANÁLISE DO MOVIMENTO DE MASSA EM TALUDE – ESTUDO DE CASO.

Heloisa da Silva Meller (1); Clóvis Norberto Savi (2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense  
(1) [helo\\_meller@hotmail.com](mailto:helo_meller@hotmail.com) (2) [clovis@unesc.net](mailto:clovis@unesc.net)

### RESUMO

Devido aos problemas relacionados à movimentação de massas, ocasionadas pela falta de fiscalização das áreas de riscos e ocupação urbana inadequada, é imprescindível um estudo apurado relacionado a geotecnia com a finalidade de eliminar ou minimizar os mesmos. Com isto o objetivo de estudo deste trabalho é determinar a causa dos fatores que levaram ao rompimento do talude localizado no Anel de Contorno Viário, no município de Içara/SC por meio de uma retroanálise. Para a realização dos estudos deste trabalho, há a necessidade da análise geológica local e geotécnica. Para isso se faz necessário refazer o talude original “pré-ruptura”, por levantamento topográfico. Com estes dados, definiu-se a seção crítica e superfície de ruptura, bem como a resistência ao cisalhamento desejada e o parâmetro de ângulo de atrito ( $\varphi$ ) e intercepto coesivo ( $c$ ), pelo ensaio de cisalhamento direto, e o peso específico ( $\gamma$ ). Determina-se ainda, os ensaios necessários para a obtenção dos parâmetros físicos, classificando-se o tipo de solo. De posse dos dados, foi possível realizar a retroanálise, pelo uso do *software* Slide, da empresa Rocscience, pelo método de Janbu simplificado (1973), ideal para ruptura irregular, que é o caso em estudo, deste trabalho. Verificou-se, que o movimento de massa ocorreu devido a redução da resistência ao cisalhamento do solo, causada por uma trinca de tração, típica daquela unidade geológica.

*Palavras-chave: Resistência ao cisalhamento; parâmetros físicos; retroanálise.*

### 1. INTRODUÇÃO

A expansão urbana desordenada, por falta de planejamento, gera deficiência habitacional pela ocupação inadequada de áreas de risco, interferindo no meio ambiente, o que pode provocar movimentos de massas. Com base nesses aspectos, é relevante um estudo geotécnico mais criterioso, para a definição e caracterização das áreas de risco, para propor ações estruturais e não estruturais, com o intuito de minimizar ou mesmo evitar a ocorrência dos mesmos.

Segundo Guidicini e Nieble (1983, p. 1):

Movimentos de massas, ou movimentos coletivos de solos e de rochas, têm sido objeto de amplos estudos nas mais diversas latitudes, não apenas por sua importância como agentes atuantes na evolução das formas de relevo, mas também em função de suas implicações práticas e de sua importância do ponto de vista econômico.

Os agentes dos movimentos de massas que geram instabilidades em encostas ou taludes, ocorrem quando há uma redução da resistência do solo causadas por aumento da poropressão, intemperismo e outros agentes externos, ou pelo acréscimo de tensões cisalhantes no solo, devido ao descarregamento na base (erosões), escavações, sobrecargas no topo etc., sendo que a massa se rompe quando essa resistência é excedida.

Segundo Guidicini e Nieble (1983, p. 112), afirmam que “quando um talude sofre colapso, está se admitindo que o fator de segurança, no momento da ruptura, tenha caído ao valor da unidade”.

Para fazer esta verificação da ruptura, a forma mais adequada para este estudo, é a retroanálise:

Um método apropriado, bastante rápido e de baixo custo, de avaliação da estabilidade de massas terrosas e rochosas consiste certamente na observação e na análise de casos de colapso já ocorridos. Dada uma determinada área a ser estudada (área montanhosa, mineração a céu aberto etc.), [...]. (Guidicini e Nieble, 1983, p 112).

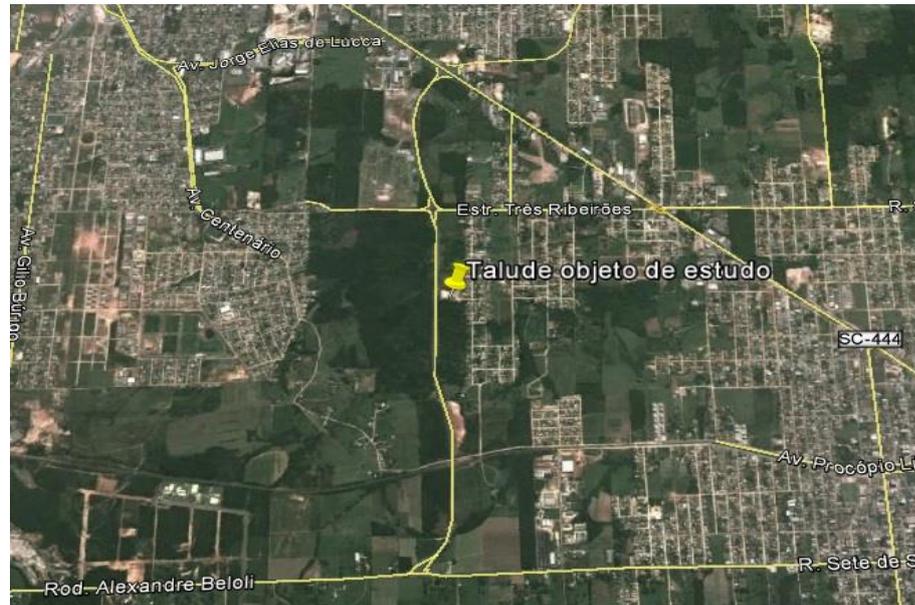
O objetivo de estudo deste trabalho é determinar a causa dos fatores do rompimento de um talude, por meio de uma retroanálise. Sendo que, o talude objeto deste estudo, localiza-se no Anel de Contorno Viário, no município de Içara/SC.

## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1 ÁREA DE LOCALIZAÇÃO DO TALUDE**

O talude objeto de estudo (Figura 1), localiza-se no Anel de Contorno Viário à 1,6 km do trevo de Içara, no município de Içara/SC, seguindo no sentido da rótula da rodovia SC – 444 que liga Criciúma/SC à Içara/SC, correspondendo às coordenadas UTM – Universal Transversa de Mercator E = 663.673,92; N = 6.823.888,74, *datum* SAD-69.

Figura 1: Localização do talude objeto de estudo.



Fonte: Google Earth. 2013.

A Figura 2, ilustra detalhadamente o movimento de massa ocorrido na área em estudo.

Figura 2: Movimento de massa da área em estudo.



Fonte: Do Autor (2013).

## **2.2 GEOLOGIA**

A área de estudo, localiza-se na bacia carbonífera catarinense, caracterizada pela sequência estratigráfica da bacia Sedimentar do Paraná, representada nas rochas sedimentares e ocorrendo também afloramentos de rochas vulcânicas da Formação Serra Geral. A geologia do talude estudado está representada por rochas sedimentares, típicas da Formação Rio Bonito do Grupo Guatá, constituída por arenitos com intercalações siltosas, argilosas e camadas de carvão. Outro aspecto importante que deve ser destacado é a presença de sedimentos do tipo arenitos quartzosos e subarcosianos de coloração amarelada e rocha com pontuações brancas devido a presença de feldspato.

## **2.3 LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO**

Após a análise da geologia do talude em estudo, para a determinação dos fatores de segurança por meio da retroanálise, é primordial a reconstituição da geometria do talude pré-ruptura, o que foi atingido pela reordenação das curvas de nível que continuaram intactas.

Com o auxílio do receptor GNSS modelo Trimble® R6, obtiveram-se os perfis das áreas movimentadas representadas por mais de uma seção transversal, efetuadas pela equipe de topografia do IPAT – Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas da Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC.

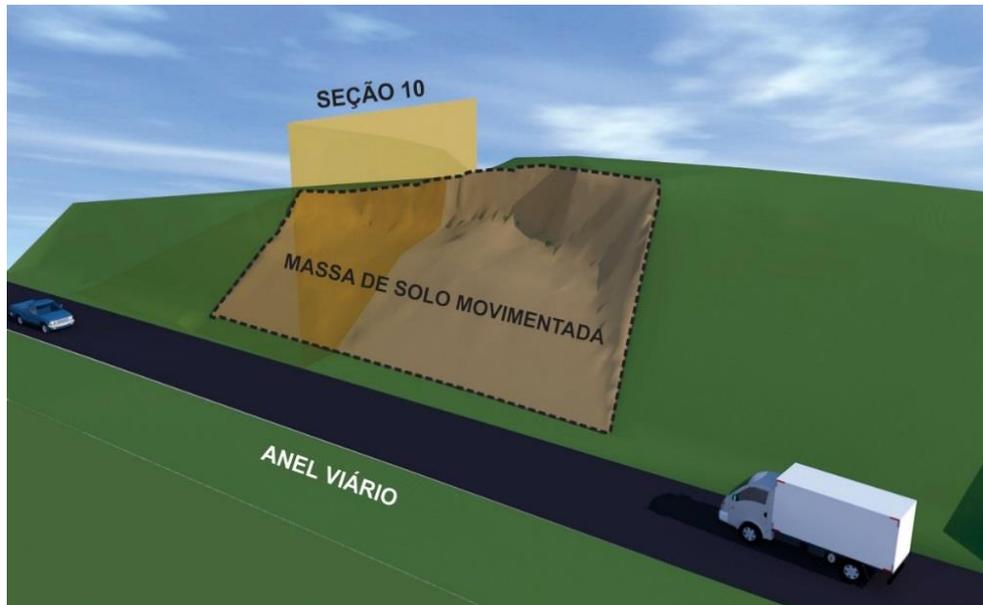
## **2.4 DEFINIÇÃO DA SEÇÃO CRÍTICA PARA MODELO DE ANÁLISE**

Para a escolha da seção modelo de análise, foram levantadas dezenove seções transversais a cada 5,00 m, e detalhadas pelo levantamento topográfico, com auxílio dos *softwares* Autocad® e Topograph®.

Para as devidas verificações das causas, que levaram ao rompimento do talude, considerou-se a inclinação do mesmo, e altura do deslocamento vertical do solo (abatimento). Na análise das seções e juntamente com a inspeção de campo, constatou-se que o talude é de corte e com uma inclinação 1,2:1, inadequada para o

local, que conforme DNER (1973), o permitido seria 1:1, demonstrando na Figura 3 a seção crítica de análise.

Figura 3: Seção crítica adotada no modelo de análise.



Fonte: Do Autor (2013).

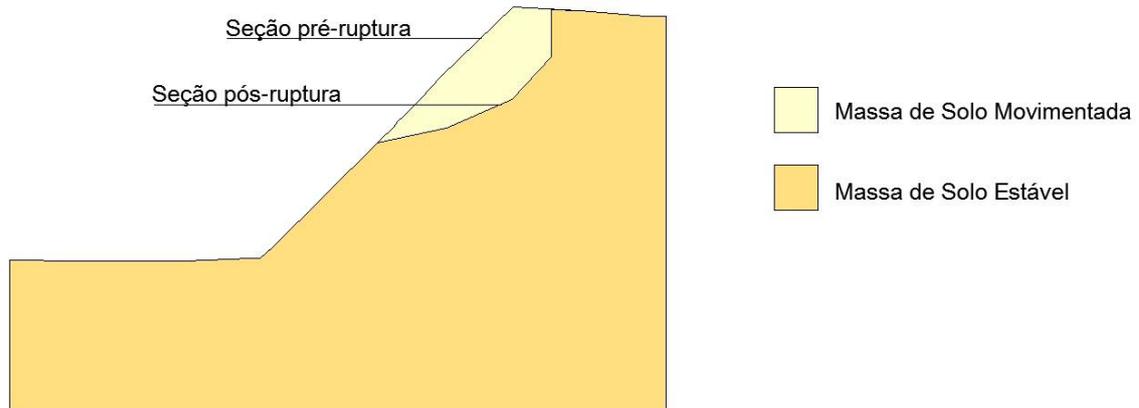
Como o deslizamento de um talude é limitado, o mesmo apresentou um movimento de massa pequeno, ocorrendo um desprendimento do solo em função de uma fratura que existia no local, e pela infiltração da água neste ponto. Este conjunto de ações, fratura e infiltração da água, provocou um deslizamento na parte superior do talude e um escorregamento superficial no pé do mesmo.

## 2.5 DETERMINAÇÃO DA SEÇÃO CRÍTICA E SUPERFÍCIE DE RUPTURA

Para a determinação da seção crítica pré-ruptura, foram sobrepostas as seções transversais não rompidas com a seção crítica (pós-ruptura), para o remodelamento desta seção, obtendo-se o perfil de como seria a seção anterior a ruptura.

Na definição da superfície de ruptura adotou-se a seção crítica pós-ruptura, apresentando um formato irregular da seção (Figura 4).

Figura 4: Seção crítica e superfície de ruptura.



Fonte: Do Autor (2013)

Com base no perfil demonstrado na Figura 4, é possível observar que a tonalidade mais escura representa a massa de solo estável, e que o material de tonalidade mais clara, a massa de solo movimentada.

## 2.6 PARÂMETROS GEOTÉCNICOS

### 2.6.1 Parâmetros físicos

Para obtenção desses parâmetros, foram realizados através das amostras indeformadas (AM – 01 e AM – 02) do ensaio de cisalhamento direto, sendo executadas no Laboratório de Mecânica dos Solos (LMS – IDT) da Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC, onde se submeteu aos ensaios de limite de liquidez (LL), limite de plasticidade (LP) e análise granulométrica, conforme as normas da ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Normas da ABNT utilizadas para os ensaios.

Ensaio	Normas da ABNT
Solo – Determinação do Limite de Liquidez	NBR 6459/84
Solo – Determinação do Limite de Plasticidade	NBR 7180/84
Solo – Análise Granulométrica	NBR 7181/84

Fonte: Do Autor (2013).

Com a realização dos ensaios, foi possível a determinação do tipo de solo e da classificação, em que o talude objeto de estudo se encontra, de acordo com a Transportation Research Board (TRB), sendo essencial a verificação dos parâmetros de caracterização física (Tabela 2).

Tabela 2: Caracterização física das amostras indeformadas.

Características Físicas	AM - 01	AM - 02
LL	NL	NL
LP	NP	NP
IP	0	0
% passante #10	98,5	100
% passante #40	24,6	92,2
% passante #200	16,6	27,1
IG	0	0
TRB	A1-b	A2-4

Fonte: LMS – UNESC (2013).

Pelas informações extraídas acima, verificou-se que o material das amostras se enquadra no grupo A1 do subgrupo (A1-b) trata-se de uma areia grossa com nenhuma plasticidade e do grupo A2 do subgrupo (A2-4) tratando-se de uma areia média siltosa não plástica.

### 2.6.2 Parâmetros de resistência ao cisalhamento

Para a determinação dos parâmetros de resistência ao cisalhamento, foram realizadas por meio do ensaio de cisalhamento direto, de acordo com a norma ASTM – American Society for Testing and Materials (Tabela 3), sendo coletadas duas amostras indeformadas na face do talude, situada na região crítica que sucedeu ao rompimento, e encaminhada para o Laboratório de Mecânica dos Solos (LMS) da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC.

Tabela 3: Norma da ASTM utilizada para o ensaio.

Ensaio	Norma da ASTM
Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions	D3080/03

Fonte: Do Autor (2013).

Conforme o ensaio de cisalhamento direto, obtiveram-se os parâmetros de ângulo de atrito ( $\varphi$ ) e intercepto coesivo ( $c$ ), bem como o peso específico ( $\gamma$ ), sendo possível observar os dados encontrados, de acordo com a Tabela 4, para a realização da retroanálise.

Tabela 4: Dados do ensaio de cisalhamento direto.

Amostras	Ângulo de Atrito (°)	Coesão (KN/m <sup>2</sup> )	Peso Específico (KN/m <sup>3</sup> )
AM - 01	32,5	0	17,17
AM - 02	37,7	7,04	17,17

Fonte: LMS – UFSC (2013).

De acordo com DAS (2007, p. 305), a tensão normal pode ser calculada como:

$$\sigma = \text{Tensão normal} = \frac{\text{Força normal}}{\text{Área da seção transversal do corpo de prova}} \quad \text{equação (1)}$$

Conforme ainda DAS (2007, p. 305), a tensão resistente de cisalhamento pode ser calculada como:

$$\tau = \text{Tensão de cisalhamento} = \frac{\text{Força resistente ao cisalhamento}}{\text{Área da seção transversal do corpo de prova}} \quad \text{equação (2)}$$

## 2.7 RETROANÁLISE

Segundo a NBR 11.682/2006, indica para os estudos de retroanálise, taludes em casos onde já ocorreu a instabilização do mesmo. Com o objetivo da realização da retroanálise, foram feitas análises com base na seção crítica e superfície de ruptura,

mencionadas no item 2.5, e em função dos parâmetros de ângulo de atrito ( $\varphi$ ), intercepto coesivo ( $c$ ) e peso específico ( $\gamma$ ) indicados na Tabela 4, do item 2.7.

Para isso, utilizou-se do *software*, denominado Slide, da empresa Rocscience, e determinou-se o fator de segurança de acordo com o método de Janbu simplificado (1973), ideal para ruptura irregular, que foi o caso do talude, objeto de estudo. Sendo que, o mesmo é um método que satisfaz o equilíbrio de forças e momentos em cada fatia, no entanto, despreza as forças verticais entre as fatias.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

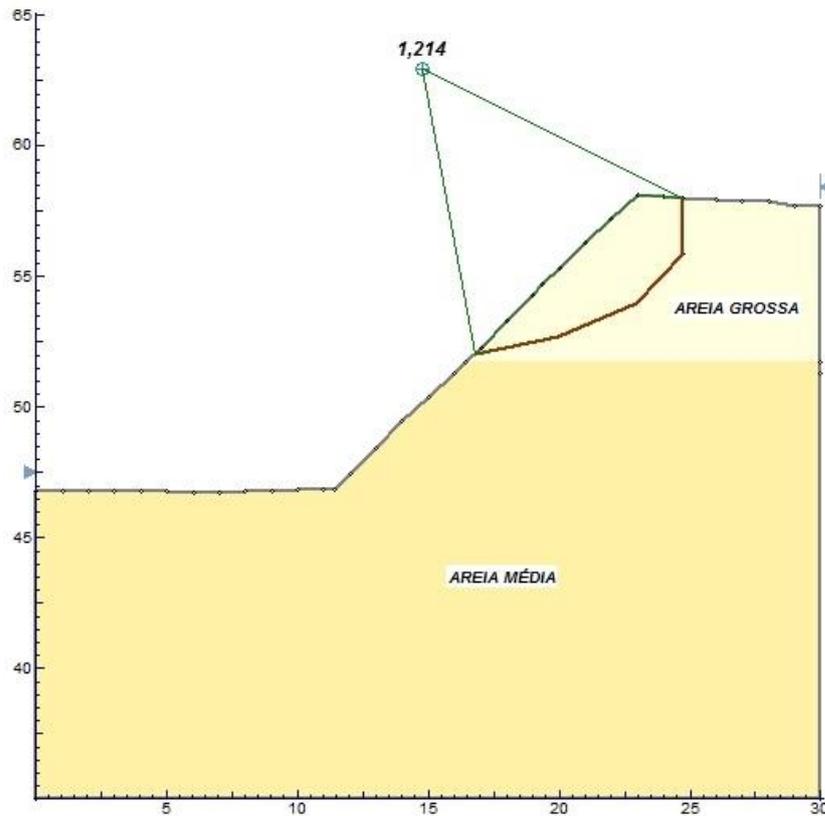
#### 3.1 DETERMINAÇÃO DOS FATORES DE SEGURANÇA

A princípio será determinado o fator de segurança, sem considerar a trinca (fratura geológica) de tração, e em seguida uma análise com base na presença da trinca, a qual foi o elemento desencadeador que contribuiu para o deslizamento do talude.

##### 3.1.1 Fator de segurança pré-ruptura

Pelas análises realizadas, foi encontrado um fator de segurança (FS) igual a 1,214 (Figura 5), mostrando que o talude não romperia, mantendo-se estável, mesmo não estando com um FS exigido para um grau de segurança, que seria 1,5, de acordo com a NBR 11.682/2006.

Figura 5: Fator de segurança sem a trinca de tração.



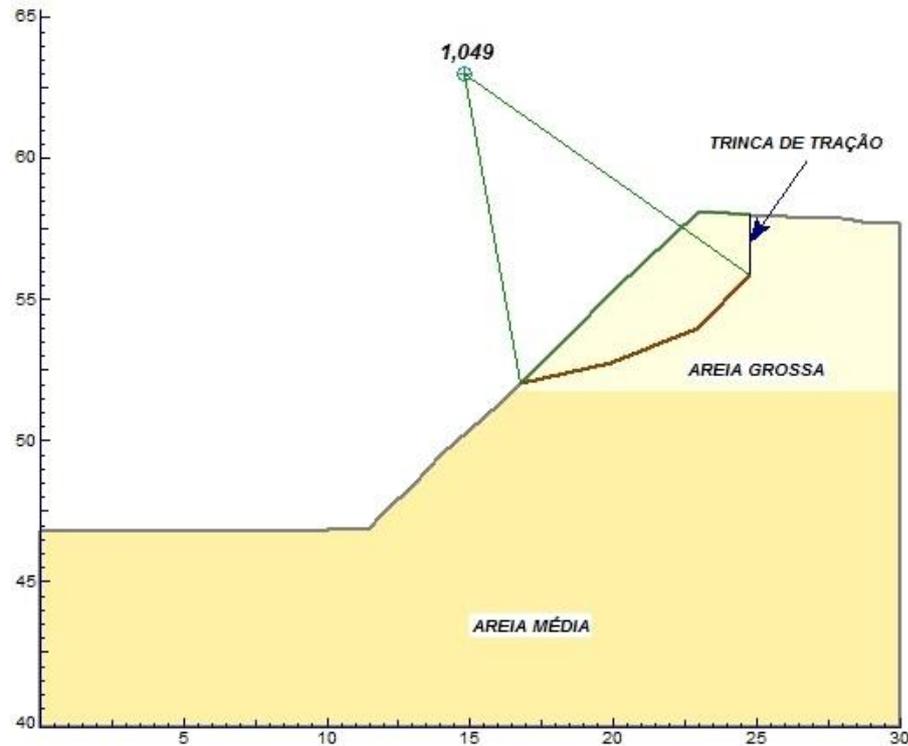
Fonte: Do Autor (2013).

No entanto, pelas análises de inspeção de campo, verificou-se a não existência de acréscimo de tensões cisalhantes no local, que provocasse um movimento de massa. O rompimento pode ocorrer devido uma redução da resistência ao cisalhamento do solo, causada pela presença de uma trinca, típica daquela unidade geológica.

### 3.1.2 Determinação do fator de segurança com a trinca de tração

Observada a influência da trinca de tração no movimento de massa do respectivo talude, objeto deste estudo, foi necessário a determinação do fator de segurança do mesmo, demonstrando uma profundidade de 2,12 m da trinca em relação à crista do talude, e que a partir deste ponto ocorreu o rompimento do mesmo, apresentando um FS igual a 1,049 (Figura 6), ou seja, que o mesmo está no equilíbrio limite, onde as forças instabilizantes são iguais as forças estabilizantes, fazendo com que a água que infiltra na mesma, gera uma pressão provocando o deslizamento.

Figura 6: Fator de segurança com a trinca de tração



Fonte: Do Autor (2013).

#### 4. CONCLUSÕES

O estudo do comportamento de um talude no Anel de Contorno Viário, no município de Içara, mostrou algumas características, permitindo as seguintes conclusões:

- O solo que está presente no talude é um arenito grosseiro muito poroso e alterado, permitindo a fácil circulação da água pluvial, porém, apresenta fraturas típicas desta unidade geológica.
- Os resultados obtidos por meio da retroanálise demonstraram que o movimento de massa, no respectivo talude estudado, ocorreu devido uma redução da resistência ao cisalhamento do solo, causada por uma trinca de tração natural (fratura geológica).
- As análises mostraram também, que o deslizamento ocorreu pela infiltração da água na trinca de tração a uma profundidade de 2,12 m em relação a crista do talude, tendo como forma geométrica a parede verticalizada, que é consequência do plano de ruptura coincidindo com um plano de fraturamento típico daquele maciço.
- Também deve ser destacado que o movimento de massa ocorrido no talude, em questão, não está diretamente relacionado com a presença do lençol freático, que

normalmente é o responsável por grande parte de deslizamentos ocorridos em taludes de corte e aterro.

e) Recomenda-se, como continuidade do trabalho, determinar o fator de segurança da geometria do talude atual e propor como solução técnica, o retaludamento como forma de suavizar a inclinação do mesmo, além do disciplinamento das águas pluviais de montante, através da implantação de um sistema de drenagem de crista.

## 5. REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **D3080/03: Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions.** ASTM, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459: Solo – Determinação do Limite de Liquidez.** Rio de Janeiro, 1984.

\_\_\_\_\_. **NBR 7180: Solo – Determinação do Limite de Plasticidade.** Rio de Janeiro, 1984.

\_\_\_\_\_. **NBR 7181: Solo – Análise Granulométrica.** Rio de Janeiro, 1984.

\_\_\_\_\_. **NBR 11.682: Estabilidade de Encosta.** Rio de Janeiro, 2006.

DAS, Braja M. **Fundamentos de Engenharia Geotécnica.** São Paulo: Thomson, 2007.

BRASIL. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **Normas para o Projeto das Estradas de Rodagem.** Rio de Janeiro, 1973.

GUIDICINI, Guido; NIEBLE, Carlos. M. **Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação.** São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda, 1983.