

AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE DE UM TALUDE RODOVIÁRIO ATRAVÉS DE DADOS PROVENIENTES DE INSTRUMENTAÇÃO GEOTÉCNICA

José Adriano Cardoso Malko

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro – Departamento de Engenharia Civil - Rua Marques de São Vicente, 255 – Edifício Cardeal Leme, 3º andar – Gávea – Rio de Janeiro-RJ – 22.451-900.

E-mail: <adrmalko@gmail.com>.

Michéle Dal Toé Casagrande

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro – Departamento de Engenharia Civil - Rua Marques de São Vicente, 255 – Edifício Cardeal Leme, 3º andar – Gávea – Rio de Janeiro-RJ – 22.451-900.

E-mail: <michele_casagrande@puc-rio.br>.

Luis Fernando Pedroso Sales

Universidade do Vale do Itajaí – CTTMar – Centro de Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar, Departamento de Engenharia Civil - Rua Uruguai, 458 – Bloco 20 – Centro – Itajaí-SC – 88.302-202.

E-mail: <sales@univali.br>.

Daiane Folle

Faculdade Meridional IMED, Passo Fundo/RS/Brasil. E-mail: <daiane.folle@imed.edu.br>.

Vanessa Dilda

Faculdade Meridional IMED, Passo Fundo/RS/Brasil. E-mail: <vanessa.dilda@imed.edu.br>.

RESUMO

O Estado de Santa Catarina sempre sofreu com desastres naturais, porém esse fato ganhou amplitude com os acontecimentos das enchentes de 2008, onde deslizamentos aconteceram em diversas regiões, causando mortes e prejuízos para toda a população. Entre todos os acontecimentos, um deles foi o escorregamento de parte do talude rodoviário do Morro do Boi no km-140 da rodovia BR-101 sentido sul. A rodovia ficou interditada nas suas três pistas de rolamento, causando problemas para quem precisava passar pelo local e prejuízos para todo o estado, pois esta é uma das mais importantes ligações da capital Florianópolis com o Vale do Itajaí e região norte do estado. É primordial que seja feito um estudo do talude rodoviário antes mesmo de sua implantação e de qualquer projeto relacionado a obras rodoviárias, a estabilidade e a segurança da rodovia é de grande importância e na maioria dos casos só é estudada depois que algum deslizamento acontece. Portanto, o objetivo principal desse estudo foi avaliar por meio de instrumentação geotécnica, a estabilidade do talude do km-140 da BR-101 no Morro do Boi localizado no município de Balneário Camboriú – SC. Para um conhecimento geotécnico da área em estudo, foram realizadas sondagens a percussão. Os dados dessas sondagens permitiram identificar uma camada de solo residual de migmatito com espessura da ordem de 3 m, representado por camadas silto-areno-argilosas. O estudo de análise da estabilidade indicou uma forte influência da posição do lençol freático no Fator de Segurança do talude, indicando que quando mais alto for o lençol freático, menor é o Fator de Segurança da encosta. Verificou-se a importância da análise da estabilidade, podendo assim entender como um talude chega a sua ruptura. Durante o monitoramento dos instrumentos, o comportamento do talude se mostrou estável, acima dos 1,50 preconizados por norma.

Palavras-chave: talude rodoviário, estabilidade, instrumentação geotécnica.

1 INTRODUÇÃO

Rodovias são classificadas como obras lineares, por possuir uma dimensão significativamente maior que as demais. Devido a grande extensão de uma obra desse porte, principalmente em um país continental como o Brasil, elas atravessam diversas condições de relevo, solo e hidrologia. Essas condições devem ser estudadas e consideradas no projeto de cada trecho do empreendimento (TONUS, 2009).

Ainda de acordo com esse autor, fenômenos de origem natural, tais como inundações, erosões, deslizamentos de terra, terremotos e furacões podem ameaçar a estabilidade desses empreendimentos, trazendo graves consequências econômicas, sociais e ambientais.

De acordo com Silveira (2008), os movimentos de massas correspondem aos mecanismos de transporte de sedimentos, solos ou rochas que são induzidos pela força gravitacional e pela ação conjunta ou isolada de fatores como a presença de águas superficiais e subterrâneas ou ações antrópicas como desmatamentos, cortes e aterros, entre outras.

Cardoso Junior (2006) diz que taludes estão quase em sua totalidade localizados acima do nível freático do local, o que leva ao surgimento de forças de atração entre as partículas do solo. Esta força de atração, chamada de sucção, tem ação primordial na resistência ao cisalhamento dos solos. Quando ocorre uma precipitação, as forças de atração diminuem, provocando a queda de resistência do solo e, dependendo das condições locais, o escorregamento do talude.

Escorregamentos devido à redução da sucção pela infiltração da água da chuva em solos não saturados têm causado grande número de vítimas e danos materiais (SOARES, 2006).

Os gastos financeiros gerados a partir de um deslizamento de terra incluem desde o custo da tentativa de resgate de eventuais sobreviventes soterrados até os altos investimentos em obras emergenciais para refrear novos escorregamentos e posterior recuperação e estabilização da encosta (TONUS, 2009).

Entre as perdas, pode-se destacar que uma significativa parcela dos deslizamentos no mundo afeta os sistemas de transporte, como rodovias, ferrovias, oleodutos e gasodutos. (SHUSTER, 1996 *apud* SANTOS, 2006).

O DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes estima que em 2007 foram gastos aproximadamente R\$ 92,0 milhões de reais com obras de recuperação de encostas, estabilização de taludes, eliminação de erosões, perfazendo 33,5% do total de gastos com obras emergenciais em rodovias federais (DNIT, 2009 *apud* MATTOS, 2009).

Assim sendo, é primordial que seja feito um estudo do talude rodoviário antes mesmo de sua implantação e de qualquer projeto relacionado a obras rodoviárias. A estabilidade e a segurança da rodovia são de grande importância e na maioria dos casos só são estudadas depois que algum deslizamento acontece.

Portanto, esta pesquisa buscou fazer uma análise da estabilidade do talude rodoviário do Morro do Boi localizado no município de Balneário Camboriú, no KM-140 da BR-101 sentido Sul por meio de dados provenientes do monitoramento da instrumentação geotécnica instalada no talude.

O Estado de Santa Catarina sempre sofreu com desastres naturais, porém esse fato ganhou amplitude com os acontecimentos das enchentes de 2008, onde deslizamentos aconteceram em diversas regiões, causando mortes e prejuízos para toda a população.

Entre todos os acontecimentos, um deles foi o escorregamento de parte do talude rodoviário do Morro do Boi no km-140 da rodovia BR-101 sentido sul. A rodovia ficou interditada nas suas três pistas de rolamento, causando problemas para quem precisava passar pelo local e prejuízos para todo o estado, pois esta é uma das mais importantes ligações da capital Florianópolis com o Vale do Itajaí e região norte do estado.

Neste sentido escolheu-se o talude em questão para o estudo, buscando uma metodologia que consiste no monitoramento e análise dos dados obtidos por meio de instrumentação geotécnica, instalada no talude após os eventos de 2008.

2 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do estudo, foram previstas as seguintes etapas:

- a. Caracterização da área estudada: Nesta etapa foi realizado um estudo com levantamento dos dados já existentes do talude, como

sua localização, informações dos históricos de deslizamentos, características geotécnicas que incluem as sondagens realizadas e características geológicas do maciço.

- b. Execução das leituras e monitoramentos dos instrumentos: Nesta etapa foi acompanhado a instalação da instrumentação proposta, bem como seu monitoramento e coleta dos dados.
- c. A análise do comportamento do talude com base nos resultados da instrumentação e a análise da segurança: Através dos dados obtidos no monitoramento dos instrumentos, foram feitas análises para verificar a segurança do talude em pesquisa.

2.1 LOCALIZAÇÃO.

O talude em estudo faz parte de um maciço localizado na Serra do Mar, mais precisamente a sudeste do município de Balneário Camboriú - SC, compreendendo a região conhecida como Morro do Boi (figura 1).

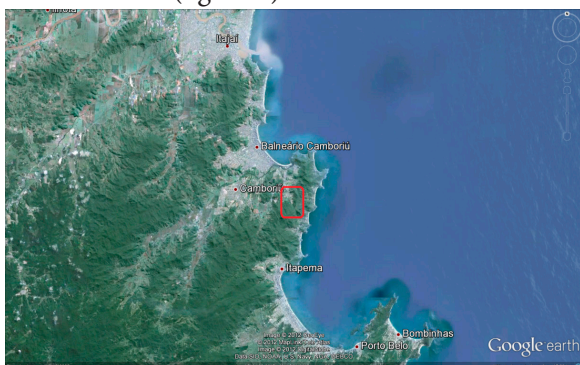
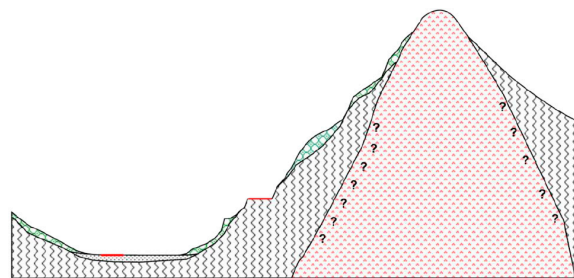


Figura 1 - Vista geral da região limítrofe ao maciço do Morro do Boi.

2.2 CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA E GEOMORFOLÓGICA.

A região do Morro do Boi é caracterizada pela ocorrência de dois tipos de rocha: Migmatitos Morro do Boi e Granitos da Suíte Intrusiva Nova Trento, sendo esta última representada por um corpo intrusivo no Migmatito Morro do Boi, alinhada na direção Nordeste-Sudoeste (FIORI, 2011).

A distribuição dessas unidades litológicas, massas de solo e blocos de rochas presentes é apresentada de maneira esquemática na figura 2.



Legenda

- Solo coluvionar/aluvionar
- Solo coluvionare blocos de rocha
- Suíte Intrusiva Nova Trento
- Migmatitos Morro do Boi
- Br-101
- contatos inferidos

Figura 1 - Seção esquemática do Morro do Boi no Km 140+700.

As encostas da região do Morro do Boi são cobertas por uma camada de solo coluvionar/tálus, geralmente não superior a 2m, onde os deslizamentos são superficiais e estão frequentemente associados a cortes. De modo geral ocorrem no contato solo e rocha subjacente ou ao longo de planos de descontinuidade presentes nos maciços rochosos, concordantes com a declividade das encostas. Verifica-se na região do Morro do Boi a ocorrência de diversos escorregamentos demonstrando que a cobertura de solo não é regularmente distribuída na massa suscetível de movimentação. Esta distribuição depende de fatores que incluem desde a resistência até o intemperismo da rocha, bastante variável na área, devido às heterogeneidades naturais, grau de fraturamento e também do acúmulo de movimentos de massa mais antigos (SESTREM, 2012).

2.3 CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA.

Na figura 3 é apresentado o perfil estratigráfico gerado a partir das sondagens de campo realizadas na seção do Km 140+700 do talude.

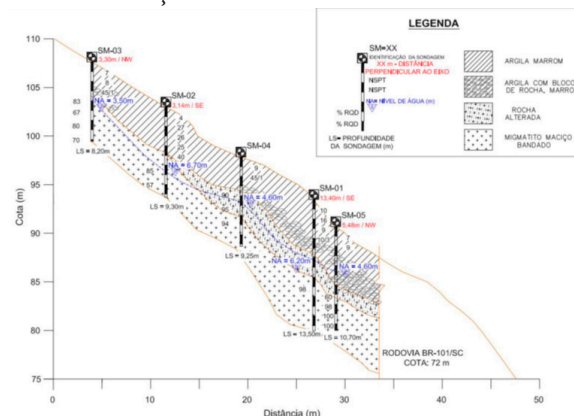


Figura 3 - Perfil Estratigráfico - Km140+700.

2.4 HISTÓRICO.

O talude apresenta um histórico de instabilidade característico devido à ocorrência de processos de movimentações com consequente acúmulo de detritos sobre a rodovia causando interrupção do tráfego.

A movimentação mais crítica aconteceu em novembro de 2008, devido ao grande volume e a intensidade das precipitações que ocorreram, não somente no local, mas em toda a região do Vale do Itajaí. Na ocasião, um grande volume de material fora depositado sobre a rodovia BR-101, causando assim a sua interdição total no sentido sul e grandes prejuízos para toda a região.

Com isso, viu-se a necessidade de uma intervenção na camada de solo remanescente, visto que mesmo com o ocorrido o maciço poderia tornar-se novamente um problema para os usuários da rodovia.

2.5 TRATAMENTO DO TALUDE.

A solução adotada pelo projetista propôs estabilizar a massa remanescente utilizando uma solução de grampos com tela metálica específica (figura 4 e 5). Neste sistema, posiciona-se uma malha de aço junto ao material instável, de modo que as deformações do material são controladas pela flexibilidade da malha de aço e seus esforços são redistribuídos para grampos chumbados no maciço rochoso. A estrutura possui ainda uma placa de fixação posicionada na cabeça dos grampos, cujo objetivo é evitar o efeito de punção provocado pela concentração de esforços.

A solução de estabilização propôs ainda confinar, por meio de uma estrutura rígida de contenção, a porção de solo do maciço que ainda não sofrera grandes deformações (acima da cota 105 m) e que, portanto, se encontraria com resistência igual ou próxima à de pico. Tal sistema compõe-se de uma viga de coroamento fixada no maciço rochoso por um reticulado de estacas raiz, executadas a cada metro, formando um ângulo de 30° com a vertical, conforme pode ser observado na figura 6 (G4U ENGENHARIA, 2010). Já na figura 7 pode-se observar a contenção já executada.

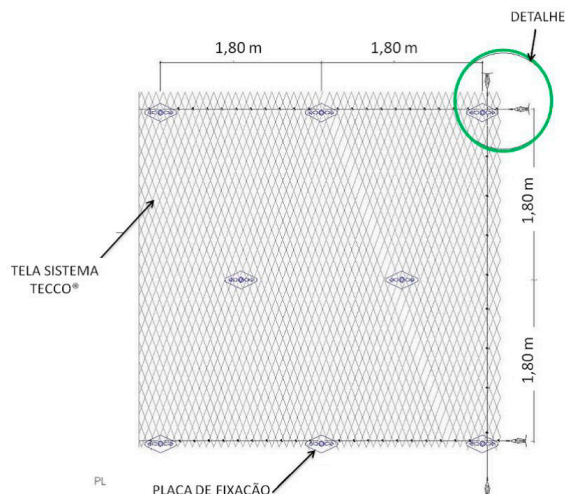


Figura 4 - Sistema de estabilização.

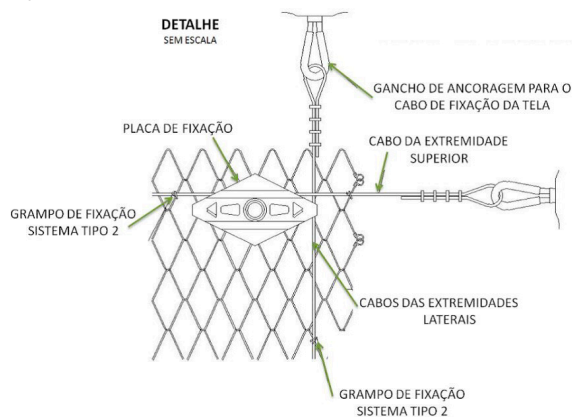


Figura 5 - Detalhe do sistema de estabilização.

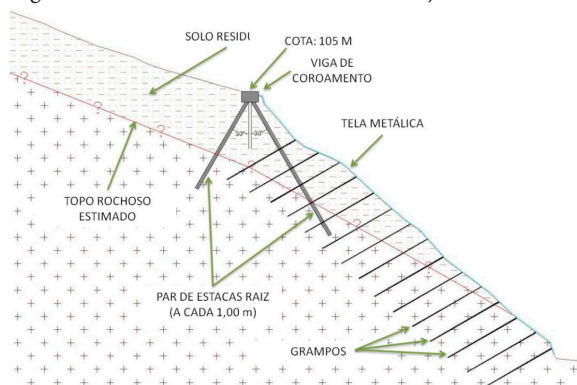


Figura 6 - Detalhe da estrutura de contenção.



Figura 7 - Solução de contenção já executada.

2.6 INSTRUMENTAÇÃO E MONITORAMENTO.

Como os solos que compõem as encostas litorâneas são muito heterogêneos, o entendimento do seu comportamento acaba sendo mais complexo, sendo necessária uma avaliação mais criteriosa dos parâmetros, buscando o maior número de informações possíveis. Nesse contexto por meio dos dados obtidos pode-se analisar seu comportamento comum bem como suas peculiaridades. (SESTREM, 2012)

Vários fatores podem agir no solo causando processos de movimentos de massa, no que podem resultar em enormes prejuízos à sociedade, porém a infiltração de água no solo é um dos principais responsáveis pela quebra do equilíbrio de forças que resulta em processos instabilizantes em uma encosta, agindo ainda na deflagração de processos erosivos e assoreamento de canais (MOLINARI, 2005).

Com base nisso, foi desenvolvido um plano de instrumentação onde foi proposto o monitoramento de aspectos geológico-geotécnicos, hidrológicos e ambientais por meio de medições que identificam variações de poro-pressão, deslocamentos de massa de solo, deformações do sistema de contenção e precipitações.

A) PIEZÔMETROS.

A instalação desses sensores foi definida de maneira que os mesmos ficassem distribuídos em duas “ilhas”, obtendo-se assim leituras de poro-pressão dentro e fora da região de contenção.

Os piezômetros PZE-01, PZE-02 e PZE-03 foram instalados em 8,65 m, 6,40 m e 3,90 m respectivamente, profundidades essas definidas de acordo com as informações obtidas na sondagem. Pretendeu-se, com esse arranjo, obter leituras na camada de solo, de rocha alterada e no contato da rocha alterada com a rocha sã, respectivamente.

Os piezômetros PZE-04, PZE-05 e PZE-06, foram instalados externamente à área abrangida pelas obras de estabilização. O PZE-04 foi posicionado no contato entre a rocha sã e a camada de rocha alterada, ficando para tanto em 8,60 m. O PZE-05 foi instalado na camada de rocha alterada, a 7,20 m de profundidade. Definiu-se ainda a instalação do PZE-06 dentro da camada de solo, tendo sido o mesmo posicionado a 3,70 m de profundidade.

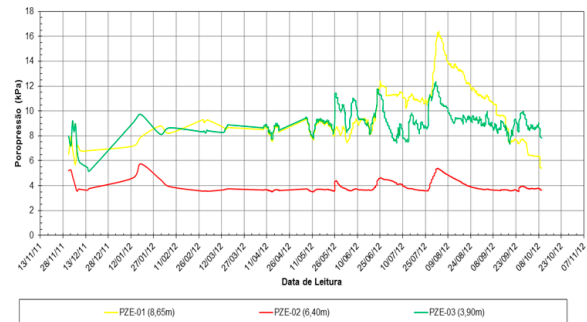


Figura 8- Leituras dos piezômetros - PZE-01, PZE-02 e PZE-03.

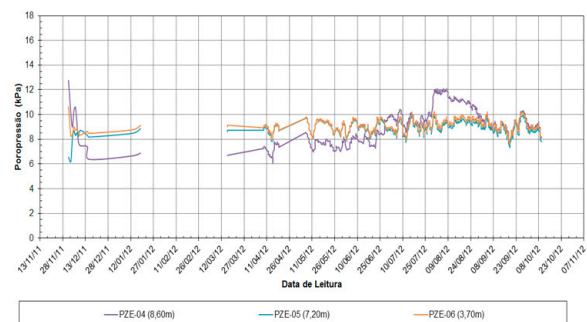


Figura 9- Leituras dos piezômetros - PZE-04, PZE-05 e PZE-06.

B) TENSIÔMETROS.

A distribuição desses medidores teve como premissa a definição de três ilhas de instrumentos, sendo duas dentro da área de contenção e uma à montante da mesma (próxima a ilha 2 dos piezômetros de corda vibrante). Buscou-se, com esse arranjo, verificar o avanço de eventuais frentes de infiltração mediante comparação das leituras entre esses sensores. A tabela 1 apresenta a distribuição e as profundidades de leituras definidas para cada tensiômetro nessas ilhas.

Tabela 1 - Distribuição dos tensiômetros.

Ilha	Instrumento	Comprimento (m)
1	TENS-01	1,00
	TENS-02	2,00
	TENS-03	0,50
2	TENS-04	3,00
	TENS-05	1,00
	TENS-06	2,00
3	TENS-07	1,00
	TENS-08	2,00

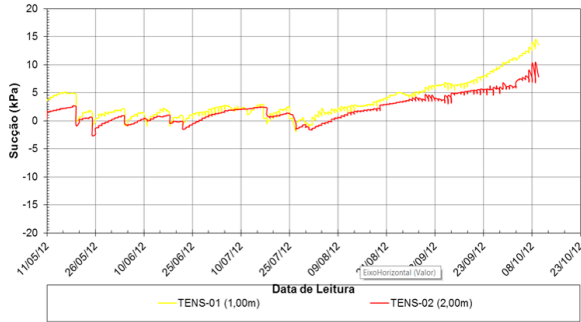


Figura 10 - Leitura dos tensiômetros TENS-01 e TENS-02

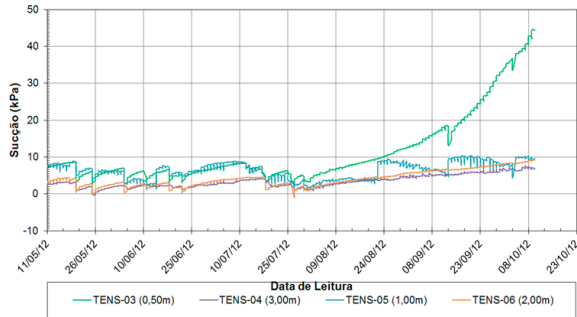


Figura 11 - Leitura dos tensiômetros TENS-03, TENS-04, TENS-05 e TENS-06

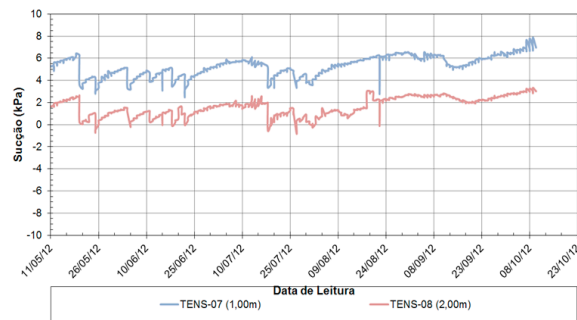


Figura 12 - Leitura dos tensiômetros TENS-07 e TENS-08

C) PLUVIOGRAFO.

A escolha do modelo de pluviógrafo baseou-se em experiências anteriores bem sucedidas, onde optou-se por utilizar o sensor com çaçambas basculantes.

Tal sistema possui intensidade máxima de leitura de 700 mm/h e resolução de 0,2 mm, sen-

do capaz de registrar em sua memória a data e hora da ocorrência de chuvas, com uma capacidade de armazenamento de até 100 mil eventos (HYDROLOGICAL SERVICES, 2011).

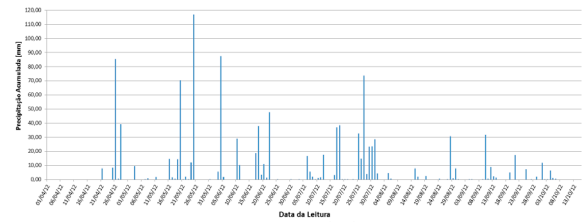


Figura 13 - Precipitações acumuladas

3 ESTUDO DE ESTABILIDADE

Com base nos boletins de sondagens do terreno, pôde-se criar o perfil estratigráfico do terreno (figura 14) no Software Rocscience Slide 6.0, onde se observa todas as camadas do solo bem como sua espessura em todo o corpo do talude.

O talude é formado por uma superfície de argila marrom que pode chegar a 6,20m de profundidade, abaixo disso pode se encontrar rochas fraturadas com blocos e pouco mais abaixo a rocha em seu estado natural. O nível do lençol freático é aproximadamente 6,70m considerando o dia em que as sondagens foram realizadas.

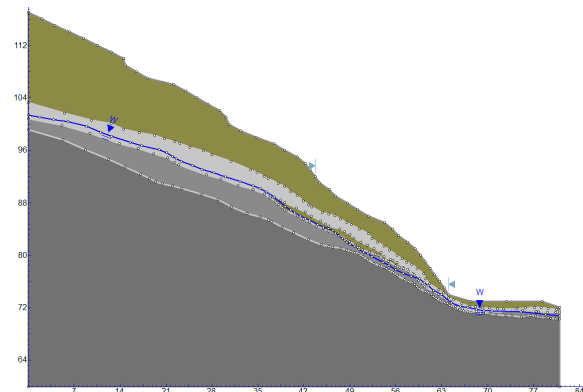


Figura 14 - Perfil estratigráfico do talude

Tabela 2 - Parâmetros geotécnicos

	Peso Especifico (kN/m ³)	Coesão (kN/m ²) (kPa)	Ângulo de Atrito (°)
Argila Marrom	16	10	25
Argila com Blocos	17	50	29
Rocha Alterada	18	100	32
Rocha Sã	21	500	34

O estudo de estabilidade foi dividido em duas etapas de análise. Na primeira, foram utilizados os parâmetros geotécnicos de solo especificados no artigo de SESTREM *et al*, 2012, juntamente com as camadas de solo identificadas nas sondagens e do nível do lençol freático. A partir dessas informações, foram gerados no Software Rocscience Slide 6.0 vários perfis estratigráfico do talude partindo do lençol natural e subindo a cada 1,00m para avaliar o fator de segurança da encosta levando-a até a ruptura. Nesta etapa, fora considerado o talude com o mesmo perfil ao qual ele se encontrava após os eventos de deslizamentos de 2008, sem qualquer tipo de intervenção ou obras de contenção. Na segunda etapa da análise, utilizaram-se os mesmos fatores da primeira, porém com o tratamento (contenção) já executado.

4 RESULTADOS

Tabela 3 - Resumo das análises

	Fator de Segurança sem contenção	Fator de Segurança com contenção
Talude Seco	1,417	2,050
NA Natural	1,417	2,049
NA 1m	1,410	2,009
NA 2m	1,214	1,850
NA 3m	1,098	1,804
NA 4m	0,949	1,604
NA 5m	0,828	1,510
NA 6m	0,742	1,403
Talude Saturado	0,634	1,402

5 CONCLUSÕES

- ♦ O estudo de análise da estabilidade indicou uma forte influência da posição do lençol freático no Fator de Segurança do talude, indicando que quando mais alto for o lençol freático, menor é o Fator de Segurança da encosta.
- ♦ A contenção foi uma solução que aumentou em 142% o Fator de Segurança do talude quando comparado ao talude natural.
- ♦ Verificou-se a importância da análise da estabilidade, podendo assim entender como um talude chega a sua ruptura.
- ♦ Reconhece-se a importância da utilização de conhecimentos técnicos como estudos sobre

3.1 ANÁLISE SEM TRATAMENTO.

Nessa etapa foram feitas análises com o talude no seu estado logo após o escorregamento de 2008. As análises servem para identificar o fator de segurança em que o talude se encontrava durante um bom período até iniciar o tratamento com a contenção, com o nível do lençol freático aumentando a cada 1,00 a partir do nível normal encontrado nos boletins de sondagem.

3.2 ANÁLISE COM TRATAMENTO.

Nessa etapa foi analisado o Fator de Segurança da encosta exatamente igual a análise anterior, porém com a contenção já executada partindo do lençol freático natural e elevando a cada 1,00m, chegando à saturação do maciço.

a geologia e solo, sondagem, levantamentos topográficos, utilização de imagens de satélite para o desenvolvimento de trabalhos geotécnicos.

- ♦ O piezômetro se mostrou muito eficiente quando comparado às precipitações de longa duração, ou seja, um grande volume de água percolou pelo solo elevando o lençol freático.
- ♦ Durante o monitoramento dos instrumentos, o comportamento do talude se mostrou estável, tendo seu fator de segurança mínimo chegando a 1,884, acima dos 1,50 preconizados por norma e muito além da ruptura ($FS < 1,0$).
- ♦ No momento o talude não oferece riscos a segurança das pessoas que trafegam pelo local, mesmo em períodos de chuvas fortes.

REFERENCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT): *NBR 6502: Rochas e solos*. Rio de Janeiro. 1995
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT): *NBR 11682: Estabilidade de encostas*. Rio de Janeiro. 2009
- Cardoso Júnior, C. R. *Estudo do comportamento de um solo residual de gnaiss não saturado para avaliar a influência da infiltração na estabilidade de taludes*. 2006. 192 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Geotécnica) - Curso de Engenharia Geotécnica, Escola Politécnica, USP, São Paulo, 2006. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3145/tde-27072007-154444/publico/DissertacaoCRCJPosdefesa.pdf>>. Acesso em: 24 maio 2012.
- Fiori, A. P.; Carmignani, L. *Fundamentos de mecânica dos solos e das rochas*. 1. ed. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, v. I, 2001. 548 p.
- G4U Engenharia *MC-07-101-SC-140-7-C05-001*. Projeto de Contenção – Memória de Cálculo da Contenção de Estrutura de Corte no km 140+700 da Rodovia BR-101/SC. 2010.
- Hydrological Services. *TB4 Tipping Bucket Rain Gauge Model TB4*. Hydrological Services Pty Ltda. Disponível em <<http://www.hydroserv.com.au/products/tb4.asp>>. Acesso em: Set 2012.
- Mattos, K. C. A. *Processo de instabilização em taludes rodoviários em solos residuais arenosos: Estudo na rodovia Castello Branco (SP 280), km 305 a 313*. 2009. 126 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - USP, São Carlos, 2009. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18132/tde-23032010-102600/publico/dissertacao.pdf>>. Acesso em: 28 maio 2012.
- Machado Júnior, D. M. *Taludes de rodovias: Orientação para diagnósticos e soluções de problemas*. Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT. São Paulo, 2003. Disponível em: <<http://www.soniaa.arq.prof.ufsc.br/arq1206/2003/Temba/TaludesdeRodovias.pdf>>. Acesso em: 28 maio 2012.
- Molinari, D. C. *Hidrologia superficial em encostas: infiltração de água e movimentos de massa - o caso da fazenda caipuru - Presidente Figueiredo – Amazonas*. Revista Discente Expressões Geográficas, n. 01, p. 57-71. Florianópolis, Junho de 2005.
- Santos, C. J. A. *Reanálise de ruptura em talude rodoviário coluvionar - br 101, Santa Catarina*. 2012. 109 f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) - Curso de Engenharia Ambiental, UFPR, Curitiba, 2012.
- Sestrem, L. P. A. *Concepção e implantação de um plano de instrumentação para avaliação das condicionantes geotécnicas de uma encosta litorânea*. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.
- Silveira, J.F.A. *Instrumentação e segurança de barragens de terra e enrocamento*. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.
- Silveira, R. M. *Comportamento geotécnico de um solo coluvionar de São Vendelino (RS)*. 2008. 302 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Curso de Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2008. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/13519/000650234.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 24 maio 2012.
- Soares, A. B. *Fluxo de água em talude arenoso: Modelagem física e numérica*. 2006. 250 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Curso de Engenharia Civil, UFRJ, Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <http://www.coc.ufrj.br/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=425>. Acesso em: 28 maio 2012.
- Tonus, B. P. A. *Estabilidade de taludes: Avaliação dos métodos de equilíbrio limite aplicados a uma encosta coluvionar e residual da serra do mar paranaense*. 2009. 147 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Curso de Engenharia Civil, UFPR, Curitiba, 2009. Disponível em: <www.ppgcc.ufpr.br/dissertacoes/d0116.pdf>. Acesso em: 16 abr 2012.
- Vargas, M. *Introdução à mecânica dos solos*. 1.ed. São Paulo: McGraw-Hill, v. I, 1977.