

Projeto de Estabilização de Talude: um Estudo de Caso em Nova Friburgo – RJ

Slope Stabilization Project: a Case Study in Nova Friburgo – RJ

DOI:10.34117/bjdv7n9-341

Recebimento dos originais: 21/08/2021

Aceitação para publicação: 21/09/2021

André Garcia de Oliveira

Engenheiro Civil

Pós-graduando em MBA em Infraestrutura de Transportes e Rodovias do Instituto de Pós-Graduação e Graduação - IPOG

Endereço: Rua P, 751. Frágoso, Magé – Rio de Janeiro – RJ. CEP: 25935-498.

E-mail: andregarcia@unigranrio.br

José Branham Ribeiro de Lima

Engenheiro Civil

Mestrando da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio)

Endereço: Av. Sete, Bloco 36, Apto 402. Galeão, Ilha do Governador, Rio de Janeiro – RJ. CEP: 21941-535.

E-mail: branhamlima@gmail.com

Bruno Canuto de Souza Alves

Engenheiro Civil

Mestrando do Programa de Engenharia Civil da COPPE-UFRJ

Endereço: Av. Athos da Silveira Ramos, 149. Centro de Tecnologia - Bloco B, Sala 101 - Ilha do Fundão. Rio de Janeiro – RJ. CEP: 21941-909

E-mail: bcanutoalves@gmail.com

Priscila da Cunha Luz Barcellos

Doutora em Engenharia Civil

Pesquisadora da Universidade Federal Fluminense (UFF)

Endereço: Rua Passo da Pátria, 156 Bloco D Sala 236. São Domingos - Niterói – RJ. CEP: 24.210-240

E-mail: luz.priscila@gmail.com

Júlio César da Silva

Doutor em Engenharia Civil

Professor da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ)

Endereço: Rua São Francisco Xavier, 524, Maracanã, Rio de Janeiro – RJ – CEP: 20550-900

E-mail: jcesarop@gmail.com

Felipe da Costa Brasil

Doutor em Agronomia/Ciência do Solo

Universidade Veiga de Almeida (UVA)

Endereço: Rua Maria Gertrudes Reis Ramalho 181, Ramalho, Paracambi-RJ. CEP: 26.600-000

E-mail: felipebrasil@ambientebrasil.net

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo analisar a estabilidade de um Talude, com a determinação do fator de segurança e discussão sobre o emprego de técnicas de estabilização utilizando métodos de equilíbrio limite. Foram estudados os conceitos de tipologia dos movimentos de massa e os fatores condicionantes dos escorregamentos serão revisados. Estes conceitos foram utilizados na análise de um talude localizado na Rua João Batista Malhard – Nova Friburgo/RJ. A partir de coletas de material do talude e análises, foram identificados os parâmetros do solo e realizada a utilização de software para cálculo do fator de segurança, caracterização e análise de risco de ruptura superficial, definido o melhor método de estabilização para o talude em estudo. Para alcançar o objetivo exposto, foram implementadas as seguintes etapas: (i) visita ao local do acidente, com coleta e observação de todos os elementos necessários para elaborar o estudo; (ii) levantamento plani-altimétrico e cadastral da área de interesse do projeto de estabilidade de talude;

(iii) elaboração de um reconhecimento geológico-geotécnico do local; (iv) programação geotécnica de ensaios de campo e de laboratório para definição dos parâmetros geotécnicos do solo em questão; (v) dimensionamento geotécnico e estrutura, com detalhamento da solução adotada para o acidente; (vi) utilização do software computacional Slide 5.0 para analisar as estabilidades locais e globais do talude. O talude em estudo possui cerca de 100 metros de extensão com altura entre 4 e 13 metros e inclinação variável, de 1V:0,8H a 1V:1,2H. Durante visita técnica foi possível notar que parte do talude se encontra com sua superfície exposta, além da inexistência de sistema de drenagem no local, devido a inexistência do sistema de drenagem, está ocorrendo inúmeras fissuras no talude ocasionando perda na resistência. A área em estudo determina-se pelas coordenadas geográficas expressas por 22° 16' 18" S e 42° 32' 11" O. Em função das características topográficas, geotécnicas e condicionantes locais (estrada localizada próximo à crista do talude), concluiu-se que a melhor solução para estabilização e recuperação do maciço é a realização de corte e execução de cortina atirantada. Foram executadas duas linhas de tirantes com carga de trabalho de 20tf, espaçadas em malha quadrangular de 2,5 metros, ancorados em um paramento vertical com aproximadamente cinco metros de altura. Os tirantes foram projetados com inclinação de 20° em relação a horizontal. A transferência das cargas verticais provenientes da cortina será realizada com estacas raiz (Comprimento=9,0m), com espaçamento de 2,5 metros, intercaladas entre os tirantes. Oretaludamento deverá ser executado em lance único com inclinação de 1,0(H): 1,0(V) e uma berma com largura de aproximadamente 3,5m no pé da contenção.

Palavras-Chave: Talude, Solo, Estabilidade.

ABSTRACT

This paper aimed to analyze the stability of a slope, with the determination of the safety factor and discussion about the use of stabilization techniques using limit equilibrium methods. The concepts of mass movement typology were studied and the factors conditioning sliding were reviewed. These concepts were used in the analysis of a slope located at João Batista Malhard Street - Nova Friburgo/RJ. From slope material collection and analysis, soil parameters were identified and software was used to calculate the safety factor, characterization and surface rupture risk analysis, defining the best stabilization method for the slope under study. To achieve the exposed objective, the following steps

were implemented: (i) visit to the accident site, with collection and observation of all elements necessary to elaborate the study; (ii) plani-altimetric and cadastral survey of the slope stability project area of interest; (iii) geological-geotechnical site reconnaissance; (iv) geotechnical field and laboratory test scheduling to define soil geotechnical parameters; (v) geotechnical and structural design, detailing the solution adopted for the accident; (vi) use of the Slide 5.0 computer software to analyze local and global slope stability. The slope under study is about 100 meters long, with a height between 4 and 13 meters and variable inclination, from 1V:0.8H to 1V:1.2H. During the technical visit it was possible to notice that part of the slope's surface is exposed, in addition to the inexistence of a drainage system. Due to the lack of a drainage system, numerous cracks are occurring on the slope, causing loss of strength. The study area is determined by the geographic coordinates 22° 16' 18" S and 42° 32' 11" W. Due to the topographic and geotechnical characteristics and local constraints (road located near the slope crest), it was concluded that the best solution for stabilization and recovery of the rock mass is to cut and build a cable stayed curtain. Two tie lines with a working load of 20tf, spaced in a 2.5 meter grid, were anchored in a vertical wall approximately five meters high. The tension rods were designed with a 20° inclination to the horizontal. The transfer of vertical loads from the curtain will be done with root piles (length=9.0m), with a spacing of 2.5 meters, interspersed between the ties. The slope should be executed in a single flight with a slope of 1.0 (H): 1.0 (V) and a berm approximately 3.5 m wide at the foot of the retaining wall.

Keywords: Slope, Soil, Stability.

1 INTRODUÇÃO

A necessidade de execução de estruturas de contenção em solos com potencial instabilidade vem crescendo com o tempo. Isso se deve ao crescimento das cidades e consequente ação antrópica na geomorfologia terrestre, gerando possíveis situações de risco e desastres envolvendo vidas humanas. Para a execução destas estruturas, foram desenvolvidos, ao longo dos séculos, métodos construtivos que buscam contrapor os empuxos do terreno.

Um destes métodos, consagrado e amplamente utilizado em obras de contenção no Brasil, é a técnica de cortina ancorada (atirantada), muito incentivada e difundida devido aos trabalhos do engenheiro brasileiro Prof. Antônio José Costa Nunes (HACHICH/2004). Segundo Costa Nunes, a técnica de ancoragens em solo é um dos grandes desenvolvimentos da engenharia e construção deste século, datando as primeiras aplicações do fim de 1957 no Brasil e princípio de 1958, na Alemanha.

Alguns eventos foram fundamentais para o desenvolvimento da técnica no Brasil: as chuvas catastróficas no Rio de Janeiro em 1966 e 1967, as quais deram oportunidade

da extensa aplicação de ancoragens visando à restauração de várias encostas na cidade, e as obras dos metrô de São Paulo e do Rio de Janeiro.

2 OBJETIVOS

Apresentar uma solução para recompor e estabilizar o talude localizado na Rua João Batista Malhard - Nova Friburgo/RJ, onde houve deslizamento de terra, detalhando os passos necessários e realizados. Também será feito o dimensionamento, detalhamento e análise de estabilidade da solução adotada.

Efetuar análise com auxílio de software para cálculo de estabilidade de taludes; utilizar *software* para análise do fator de segurança; e apresentar método de contenção a ser implantado.

Para alcançar o objetivo exposto, foram implementadas as seguintes etapas, listadas a seguir:

Visita ao local do acidente, com coleta e observação de todos os elementos necessários para elaborar o estudo; levantamento plani- altimétrico e cadastral da área de interesse do projeto de estabilidade de talude; reconhecimento geotécnico do local; programação geotécnica de ensaios de campo para definição dos parâmetros geotécnicos do solo em questão; dimensionamento geotécnico e estrutural, com detalhamento da solução adotada; e utilização do software Slide 5.0 para analisar as estabilidades locais e globais do talude.

3 OBJETIVOS

Apresentar uma solução para recompor e estabilizar o talude localizado na Rua João Batista Malhard - Nova Friburgo/RJ, onde houve deslizamento de terra, detalhando os passos necessários e realizados. Também será feito o dimensionamento, detalhamento e análise de estabilidade da solução adotada.

Efetuar análise com auxílio de software para cálculo de estabilidade de taludes; utilizar *software* para análise do fator de segurança; e apresentar método de contenção a ser implantado.

Para alcançar o objetivo exposto, foram implementadas as seguintes etapas, listadas a seguir:

Visita ao local do acidente, com coleta e observação de todos os elementos necessários para elaborar o estudo; levantamento plani- altimétrico e cadastral da área de interesse do projeto de estabilidade de talude; reconhecimento geotécnico do local;

Figura 6. Perfil individual de sondagem SP-3ª

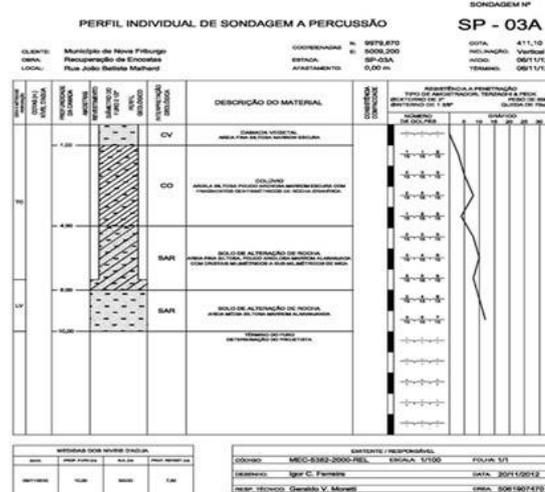
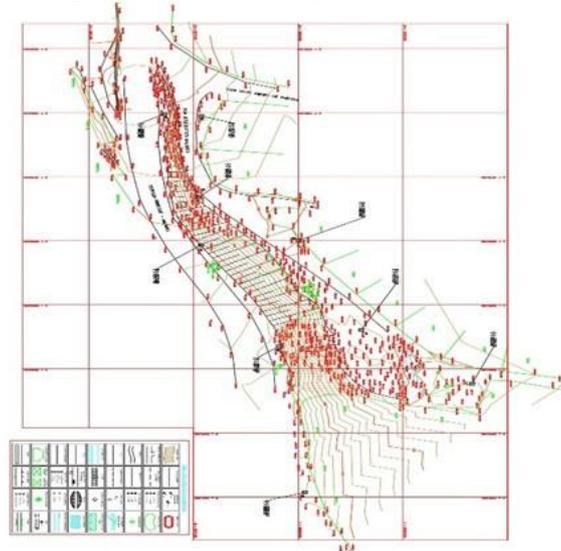
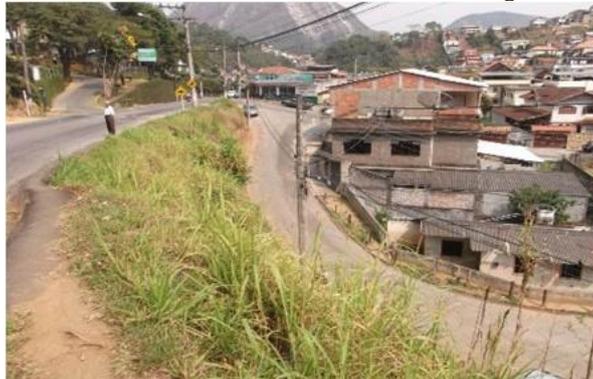


Figura 7. Levantamento plani-altimétrico



Foi realizada uma visita técnica ao local paravistoria das condições de campo (Figura 7).

Figura 7. Vista da crista do talude - Estrada Friburgo – Amparo



5 DESCRIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DA ÁREA

Este talude possui cerca de 100 metros de extensão com altura entre 4 e 13 metros e inclinação variável, de 1V:0,8H a 1V:1,2H (Figura 8).

Foi possível notar que parte do talude se encontra com sua superfície exposta, além da inexistência de sistema de drenagem no local, devido a isto, está ocorrendo inúmeras fissuras no talude ocasionando perda na resistência.

Foram realizadas no trecho seis sondagens de simples reconhecimento, sendo que a sondagem SP-01 sofreu dois deslocamentos e a sondagem SP-03 um deslocamento, totalizando 32,45 metros perfurados, sendo estas conduzidas de acordo com as recomendações da NBR 6484/2001 – “Solo - Sondagens de simples reconhecimentos com SPT - Método de ensaio”.

Figura 8. Vista aérea do talude



Fonte: Google Maps(2012).

A sondagem SP-01 foi realizada na base do talude e as perfurações SP-02 e SP-03 foram realizadas na crista do talude. O nível d'água foi detectado na SP-01, variando a 0,5m de profundidade (Figura 9).

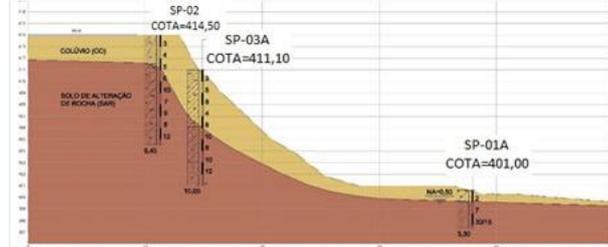
Figura 9. Localização dos ensaios de sondagem a percussão



Fonte: Autor.

A Figura 10 apresenta o perfil geológico-geotécnico obtido através das informações provenientes das sondagens SP-01A, SP-02 e SP-03A.

Figura 10. Perfil geológico-geotécnico da Seção A-A



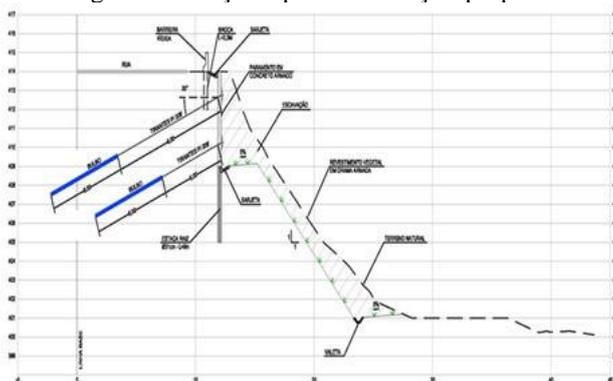
Fonte: Autor.

Identifica-se no perfil geológico da Figura 10a existência de duas camadas distintas, sendo que as erosões superficiais verificadas se limitam à camada de colúvio (em amarelo).

6 DESCRIÇÃO DA SOLUÇÃO ADOTADA

Em função das características topográficas, geotécnicas e condicionantes locais (estrada localizada próximo à crista do talude), conclui-se que a melhor solução para estabilização e recuperação do maciço é a realização de corte e execução de cortina atirantada (Figura 11).

Figura 11: Seção típica da solução proposta



Fonte: Autor.

Serão executadas duas linhas de tirantes com carga de trabalho de 20tf, espaçadas em malha quadrangular de 2,5 metros, ancorados em um paramento vertical com aproximadamente 5,0 metros de altura. Os tirantes foram projetados com inclinação de 20° em relação a horizontal.

A transferência das cargas verticais provenientes da cortina será realizada com estacas raiz (C=9,0 m), com espaçamento de 2,5 metros, intercaladas entre os tirantes.

O retaludamento deverá ser executado em lance único com inclinação de 1,0(H):1,0(V) e

uma berma com largura de aproximadamente 3,5 metros no pé da contenção.

7 DIMENSIONAMENTO DA SOLUÇÃO

As análises de estabilidade da solução foram realizadas de acordo com as recomendações da Norma Brasileira de Estabilidade de Encostas, NBR 11682/2009, que recomenda a definição do fator de segurança (FS) considerando os níveis de segurança contra perda de vidas humanas (Tabela 1) e contra danos materiais e ambientais (Tabela 2).

Tabela 1. Nível de segurança desejado contra perda de vidas humanas,
Nível de segurança Critérios

Nível de segurança	Critérios
Alto	Áreas com intensa movimentação e permanência de pessoas, como edificações públicas, residenciais ou industriais, estádios, praças e demais locais, urbanos ou não, com elevada concentração de pessoas. Ferrovias e rodovias de tráfego intenso
Médio	Áreas e edificações com movimentação e permanência restrita de pessoas. Ferrovias e rodovias de tráfego moderado.
Baixo	Áreas e edificações com movimentação e permanência eventual de pessoas. Ferrovias e rodovias de tráfego reduzido.

Fonte: NBR 11682/2009.

Tabela 2. Nível de segurança desejado contra danos materiais e ambientais

Nível de segurança	Critérios
Alto	<p>Danos Materiais: Locais próximos a propriedades de alto valor histórico, social ou patrimonial, obras de grande porte e áreas que afetem serviços essenciais.</p> <p>Danos Ambientais: Locais sujeitos a acidentes ambientais graves, tais como nas proximidades de oleodutos, barragens de rejeito e fábricas de produtos tóxicos.</p>
Médio	<p>Danos Materiais: Locais próximos de propriedades de valor moderado.</p> <p>Danos Ambientais: Locais sujeitos a acidentes ambientais moderados.</p>
Baixo	<p>Danos Materiais: Locais próximos de propriedades de valor reduzido.</p> <p>Danos Ambientais: Locais sujeitos a acidentes ambientais reduzidos.</p>

Fonte: NBR 11682/2009.

A obra em questão pode ser classificada como de alto nível de exigência de segurança em relação à possibilidade de perdas de vidas humanas, por se tratar de uma área residencial. Quanto à de danos materiais e ambientais o grau de exigência de segurança é baixo. A Tabela 3 apresenta uma relação entre o fator de segurança e os níveis de segurança necessários para a obra.

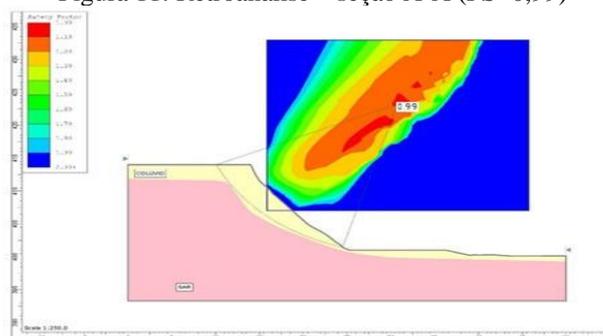
Tabela 3. Fatores de Segurança Mínimos,

Nível de segurança contra acidentes a vidas humanas \ Nível de segurança contra danos materiais e ambientais	Alto	Médio	Baixo
	Alto	1,5	1,5
Médio	1,5	1,4	1,3
Baixo	1,4	1,3	1,2

Fonte: NBR 11682/2009.

As análises de estabilidade foram realizadas com o auxílio do software Slide 5.0 da RocScience, verificando-se o equilíbrio limite pelo método de Bishop simplificado, admitindo superfícies de ruptura circulares (Figura 11).

Figura 11: Retroanálise – seção A-A (FS=0,99)



Fonte: Autor.

Para a análise de estabilidade global, foi considerada sobrecarga accidental de 20kPa na crista do talude, proveniente da movimentação de pessoas e veículos na rua e das residências.

Os parâmetros geotécnicos da camada de solo superficial (Colúvio) necessários aos estudos foram obtidos mediante a realização de retroanálise (metodologia prevista pela NBR 11682/2009).

A técnica de retroanálise apoia-se basicamente na consideração de que, quando um talude rompe, seu fator de segurança (FS) atingiu um valor igual à unidade. Caso seja possível determinar a geometria do talude e da superfície de ruptura, pode se estabelecer, por tentativas, através de cálculos de estabilidade, vários pares de parâmetros (coesão e ângulo de atrito) que satisfazem a condição de $FS=1,00$.

A retroanálise foi desenvolvida considerando as investigações procedidas e a geometria do talude. Utilizou-se do software Slide 5.0 da RocScience, método de Bishop simplificado.

A retroanálise foi realizada considerando a ruptura local verificada na camada de Colúvio, na seção crítica do talude, resultando nos seguintes parâmetros:

$$\hat{\text{Ângulo de atrito}} (\varphi') = 27^\circ \text{Coesão} (c') = 9\text{kPa}$$

$$\text{Peso específico} (\gamma') = 16\text{kN/m}^3$$

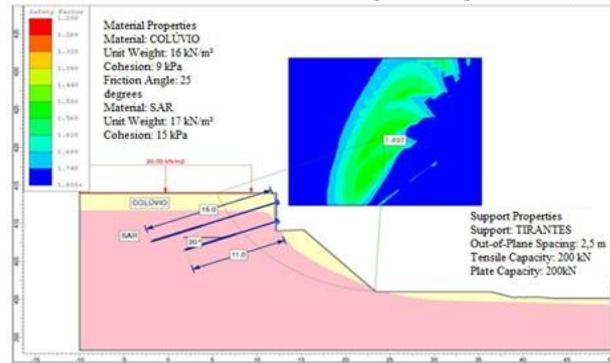
Para a outra camada de solo considerada, os parâmetros foram determinados de acordo com estudo geológico, a bibliografia consultada e a experiência desta consultoria, e são apresentados a seguir:

$$\text{Solo de Alteração de Rocha (SAR)} \hat{\text{Ângulo de atrito}} (\varphi') = 32^\circ \text{Coesão} (c') = 15\text{kPa}$$

$$\text{Peso específico} (\gamma') = 17\text{kN/m}^3$$

A partir dos parâmetros estimados pode-se verificar a estabilidade da solução adotada empregando-se o Método de Bishop Simplificado, o qual é baseado na Teoria de Equilíbrio Limite e leva em consideração a ocorrência de uma superfície de ruptura circular. Para a análise utilizando-se o software Slide 5.0 da RocScience (Figura 12).

Figura 12: Análise de estabilidade da solução – Seção A- A (F.S. = 1,497)



Fonte: Autor.

De acordo com a análise conduzida, a solução implantada apresenta fator de segurança mínimo sugerido pela Norma.

Deverão ser utilizados tirantes para a carga de trabalho de 200kN, instalados com inclinação de 20° em relação a horizontal e comprimento variável. A Tabela 4 apresenta as características gerais dos tirantes.

Tabela 4. Características do tirante,

TIRANTE	200kN
FT, ENSAIO (90%)	280kN
FT, ENSAIO (10%)	350kN
F, TRABALHO	200kN
F, INCORPORAÇÃO	160kN

Fonte: Autor.

O comprimento do bulbo de ancoragem L_S foi estimado pela equação semi-empírica de Costa Nunes baseada na formulação de Ostermeyer, a partir da capacidade de carga do tirante T_L , do diâmetro da perfuração D_a , da profundidade do centro do bulbo h , da parcela de aumento da pressão normal devido à injeção

Δp e dos parâmetros do solo, como indicado:

$$T_L = \frac{I' \cdot L_s}{\pi \cdot D_a \cdot [c' + (\gamma \cdot h + \Delta p) \cdot \text{tg} \phi']} \quad (1)$$

Em que:

L_S - comprimento do trecho ancorado (bulbo);

T_L - capacidade de carga do bulbo;

D_a - diâmetro da perfuração;

c' - aderência entre a calda e o solo. Pode-se usar (c) igual à coesão real do solo;

γ - Peso específico do solo;

h - profundidade do ponto médio do bulbo;

Δp - parcela de aumento da pressão normal devido à pressão residual de injeção (5 a 10 vezes o valor γh);

ϕ' - ângulo de atrito do solo.

Vale lembrar que o valor de Δp é limitado ao valor de ruptura hidráulica do terreno, variável em função do tipo de solo da profundidade (YASSUDA E DIAS, 1996). Desta forma, foi adotado um bulbo de 6,0 metros para os tirantes.

As transferências para o solo dos esforços verticais provenientes dos tirantes das cortinas e peso próprio ocorrerão através de fundação profunda.

Serão executadas estacas tipo raiz com 31 cm de diâmetro entre tirantes seguindo o alinhamento da respectiva cortina e dos tirantes, com 9 metros de comprimento.

Para minorar a infiltração de água no maciço através da superfície exposta do talude e a consequente formação de novos processos erosivos será aplicada proteção vegetal no talude em estudo.

A proteção superficial por meio de gramíneas tem como objetivo impedir o impacto direto da gota de chuva sobre o solo, evitando a formação de processos de erosão laminar e por embate.

Recomenda-se, sempre que possível, privilegiar soluções que utilizem materiais naturais, por serem mais econômicos.

De modo a garantir a proteção imediata dos taludes de corte recomenda-se a utilização de uma grama armada.

Esta tem por finalidade captar as águas superficiais através de canaletas, valetas ou sarjetas e conduzir para local conveniente. Por meio desta podem ser evitados fenômenos de erosão superficial dos taludes e infiltração da água nos maciços, impedindo assim, o processo de saturação do solo, que poderá reduzir sua resistência e desestabilizar o maciço.

No projeto em questão a drenagem superficial deverá ser composta pela implantação de sarjetas e valetas.

Recomenda-se a utilização de barbacãs devidamente espaçados com o objetivo de evitar o acúmulo de subpressões de água na região do tardo do paramento. O barbacã consiste em um tubo de PVC perfurado envolto por manta geotêxtil, sendo seu contato com o maciço composto por material granular. Foram executadas 2 linhas de barbacãs no paramento, seguindo o mesmo espaçamento entre tirantes.

8 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Para execução dos tirantes, deverão ser seguidas as recomendações da norma NBR 5629/2006 – “Execução de Tirantes Ancorados no Terreno”.

O trecho livre dos tirantes deverá ser protegido por tubo de PVC ou mangueira plástica, sendo seu interior preenchido por calda ou outro material inerte após a protensão para que seja garantida a proteção contra corrosão e uso de centralizadores como condição de um recobrimento mínimo de calda de 2,0 cm.

Deverão ser verificados a locação e o alinhamento dos tirantes de modo a evitar aproximação entre os trechos de ancoragem dos tirantes vizinhos.

O diâmetro da perfuração deverá garantir, no trecho de ancoragem, o recobrimento suficiente para garantir uma proteção contra corrosão e/ou desagregação do elemento resistente à tração.

Para execução das fundações, deverão ser seguidas as recomendações da norma NBR 6122/2010 – “Projeto e Execução de Fundações”.

A excentricidade máxima, em relação ao projeto, que a estaca poderá apresentar não deverá exceder 10% do diâmetro do círculo que a inscreva.

O desaprumo da estaca não deverá ser superior a 1% de seu comprimento total.

AGRADECIMENTOS

O quinto autor agradece à FAPERJ (Fundação Carlos Chagas de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro) pelo apoio ao edital Prioridade Rio de 2014.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5629: Execução de Tirantes Ancorados no Terreno, Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6122: Projeto e Execução de Fundações, Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6484: Solo - Sondagens de simples reconhecimentos com SPT - Método de ensaio, Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 6457: Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização, Rio de Janeiro, 1986. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11682: Estabilidade de Encostas, Rio de Janeiro, 2009. 33p.

CARVALHO, P. A. S. de Manual de geotecnia: Taludes de rodovias: orientação para diagnóstico e soluções de seus problemas. São Paulo: Departamento de Estradas e Rodagens do Estado de São Paulo, Instituto de Pesquisa Tecnológicas, 1991. 388 p.

HACHICH, W. ET. ALL.: Fundações – Teoria e Prática.

ED. PINI, São Paulo, 2004.

MASSAD, F.: Obras de Terra – Curso Básico de Geotecnia. ED. Oficina de textos. São Paulo, 2003.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. ES-341/97: Proteção de Corpo Estradal– Proteção vegetal. Rio de Janeiro, 1997.

PINTO, Carlos de Sousa. Curso básico de mecânica dos solos em 16 aulas. 3a ed. São Paulo. Oficina de Textos, 2006. 367p.