



Análise de estabilidade de talude: estudo de caso da Rua Victor Sopelsa na cidade Concórdia/SC

Anderson Fonini

FGS Geotecnia, Porto Alegre, Brasil, fonini@fgs.eng.br

Felipe Gobbi Silveira

FGS Geotecnia, Porto Alegre, Brasil, felipe@fgs.eng.br

Cristina Valcarenghi

Prefeitura Municipal de Concórdia, Concórdia, cristina@concordia.sc.gov.br

Bruno Denardin da Rosa

FGS Geotecnia, Porto Alegre, Brasil, bruno@fgs.eng.br

Júlio César Maia Daudt

FGS Geotecnia, Porto Alegre, Brasil, julio@fgs.eng.br

RESUMO: Em 31 de maio de 2017 ocorreu uma ruptura de talude de grandes dimensões no município de Concórdia, SC. O volume de material rompido foi estimado em 37.500m³, atingindo um total de 11 casas. Muito em virtude da ação da Defesa Civil e da Prefeitura Municipal não ocorreram óbitos, visto que estes órgãos realizaram a interdição das unidades residenciais com remoção dos moradores em tempo adequado. Em contrapartida, os prejuízos financeiros foram significativos. Estudos preliminares indicaram distintas soluções de estabilização da encosta e, após investigação geotécnica e elaboração de um anteprojeto, economizou-se cerca de 30% no valor estimado preliminarmente. O presente artigo apresenta o histórico da ruptura, o diagnóstico da instabilidade, o conceito da solução empregada e as conclusões sobre a importância de investigações e as análises complementares a fim de proporcionar expressiva economia de recursos.

PALAVRAS-CHAVE: Cortinas de Concreto Armado com Tirantes ancorados no Terreno, Acidentes Geotécnicos, Metodologia de Avaliação em Campo.

1 INTRODUÇÃO

De acordo com o Código Florestal Brasileiro (Lei Nº 12.651, de 25 de maio de 2012) Seção II, Capítulo III, Artigo 11, terrenos com inclinação entre 25° e 45° consistem em áreas de uso restrito, sendo permitidos o manejo florestal sustentável e o exercício de atividades agrossilvipastoris, bem como a manutenção da infraestrutura física associada ao desenvolvimento das atividades, observadas boas práticas agrônomicas, sendo vedada a

conversão de novas áreas, excetuadas as hipóteses de utilidade pública e interesse social. De acordo com IPT (2012), para a região sudeste do Brasil, em áreas com inclinação entre 17° e 25°, a ocupação deverá estar condicionada a medidas determinadas por estudos detalhados; em áreas com inclinações entre 25° e 30° a ocupação deverá estar vinculada a medidas especiais que garantam a sua estabilidade; entre 30° e 45° a ocupação deverá ser evitada, mas poderá ser utilizada em casos excepcionais com soluções técnicas



fundamentadas, prevendo situações extremas de risco.

A acumulação de material sobre uma encosta com o objetivo de planificar a superfície ou repor material transportado é realizada, na maioria dos casos, de forma inadequada. Isso ocorre porque normalmente há o simples lançamento de material sedimentar sobre a superfície inclinada, sem a adequação mecânico-funcional do sistema (IPT, 2001). Segundo Farah (2003), a movimentação de solo e conseqüentes alterações geométricas das encostas, assim como o despejo de materiais que geram sobrecarga, são alguns dos aspectos que podem provocar alterações nas encostas urbanas.

A experiência da FGS Geotecnia frente às áreas de risco indica que, mesmo em áreas consideradas estáveis, com declividades aceitáveis pela literatura técnica, podem remeter a um elevado risco quando ocupadas. Isso deve-se principalmente às mudanças nas condições de cobertura vegetal do terreno, modificações nas condições de drenagem superficial ou subsuperficial e alterações pontuais de geometria da superfície.

A norma brasileira de Estabilidade de Encostas (NBR 11682) não refere-se restritivamente à ocupação de áreas adjacentes à estruturas de contenção ou estabilização, haja vista que considera-se que essa característica deve ser verificada na determinação do fator de segurança mínimo do projeto. Para que o fator de segurança adotado no projeto proporcione uma condição de ocupação segura é fundamental a realização de um diagnóstico assertivo a respeito do tipo da ocorrência, o qual fundamentará a escolha da solução técnica para a estabilização do talude.

Diante das colocações realizadas, este artigo tem como objetivo indicar a importância de um diagnóstico técnico fundamentado para a determinação da solução técnica a ser utilizada. Para isso será tomado como estudo de caso uma ruptura de um talude urbano ocorrido no município de Concórdia/SC, o qual não ocasionou nenhuma vítima, porém,

comprometeu estruturalmente 11 residências, trazendo um impacto financeiro significativo.

2 APRESENTAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área instabilizada corresponde a uma porção de uma encosta natural sobre a qual foi executado um aterro sem controle dos materiais e da compactação, localizado no bairro Parque de Exposição, entre as ruas Victor Sopelsa e Horácio Sândi, no município de Concórdia/SC. A Figura 1 apresenta a localização geral da área onde ocorreu a ruptura (Google Earth, 2016).



Figura 1. Localização da área onde ocorreu a ruptura.

Conforme dados fornecidos pela Prefeitura Municipal de Concórdia (PMC), no dia 31 de maio de 2017, às 11 horas, ocorreu a ruptura do talude, hajam vistos os primeiros movimentos de massa. Aproximadamente às 15 horas do mesmo dia, uma nova mobilização foi detectada, esta marcada por um elevado volume. Esses movimentos provocaram o comprometimento/interdição de 11 residências e um pavilhão industrial.

De acordo com a Embrapa - Suínos e Aves, neste dia, o volume de chuvas foi de 98mm e o volume acumulado nas 72 horas que antecederam o evento foi de 177mm.

As rupturas ocorridas foram do tipo rotacional, englobando uma área com 125m de largura e 25m de altura. Estima-se que o volume de material mobilizado foi de 37.500m³, sendo este composto por solo, descartes da construção civil e blocos de rocha; estes últimos provenientes do



aterro executado. A Figura 2 apresenta a área que foi acometida pela instabilização.



Figura 2. Área acometida pela instabilização.

Em resposta ao evento, a prefeitura Municipal de Concórdia isolou a área, removeu os moradores do local e interrompeu as ruas Horácio Sândi (base da ruptura) e Victor Sopelsa (crista da ruptura).

3 SOLUÇÕES PROPOSTAS PARA A ESTABILIZAÇÃO DA ÁREA

Devido a importância da ocorrência, órgãos governamentais e empresas fornecedoras de produtos relacionados a obras de estabilização foram acionadas para emitiram sugestões de solução que possibilitassem a estabilização da área.

A empresa fornecedora de produtos propôs a estabilização com solução baseada no conceito de solo grampeado, alternativa apontada pelo Geoguide 7 (2008) como metodologia ideal para taludes urbanos, tendo como vantagem a integração da solução com o ambiente. O conceito proposto previa a utilização de grampos com 25mm de diâmetro, comprimento variando de 20m até 30m com espaçamentos horizontal de 1,25m e vertical de 1,5m. Associado aos grampos é necessário prever um sistema de faceamento, que tem por objetivo conter as instabilidades superficiais, entre os grampos, Denardin (2015). Neste caso foi indica a utilização de tela metálica de alta resistência. Essa solução deveria se estender ao longo de 2/3 da altura do talude, a contar de sua base, e previa a remoção de cerca de 4,0m de

solo do pé do talude (massa rompida). No terço superior, o anteprojeto contemplava a execução de um muro de solo reforçado de 6,5m de altura com faceamento em gabião caixa configurando uma inclinação de, aproximadamente, 70°. É pertinente mencionar que o projeto foi emitido em carácter preliminar e a sua aplicabilidade estava vinculada a confirmação dos parâmetros de resistência utilizados no dimensionamento. A Figura 3 mostra a solução proposta pela fornecedora de produtos.

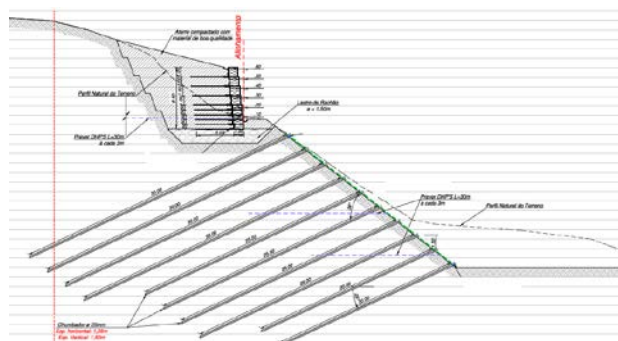


Figura 3. Solução contemplando o solo grampeado e o muro de solo reforçado.

Analizando tecnicamente a solução apresentada, diz-se que a fornecedora previa, em projeto preliminar, conforme referido, que os grampos a serem instalados atuariam na estabilização da massa rompida, visto que não previu-se a remoção integral do volume mobilizado. Além disso, os grampos deveriam suportar a escavação do pé do talude e ainda promover a sustentação do muro de solo reforçado a montante do referido tratamento.

Uma solução distinta foi proposta no parecer emitido pelo órgão governamental que indicava como solução a execução de duas cortinas atirantadas, sendo uma junto a Rua Victor Sopelsa (crista da ruptura) e outra nos fundos dos terrenos das casas afetadas pela ruptura (Rua Honório Sândi). O mesmo documento referiu a necessidade da execução de sondagens diretas e indiretas na região, a fim de garantir a reprodução real dos parâmetros geomecânicos em fase de dimensionamento. Além das cortinas, o documento indicava a remoção do aterro, execução de um sistema de drenagem e a



revegetação do talude.

Esta solução baseou-se na capacidade mecânica dos tirantes para promover a estabilização da massa rompida.

4 DIAGNÓSTICO DA INSTABILIDADE

Para possibilitar um diagnóstico fundamentado tecnicamente, a PMC promoveu a execução de 8 sondagens mistas e 6 conjuntos de ensaios de cisalhamento direto. Estes foram distribuídos na área onde ocorreu a ruptura, conforme apresentado na Figura 4.

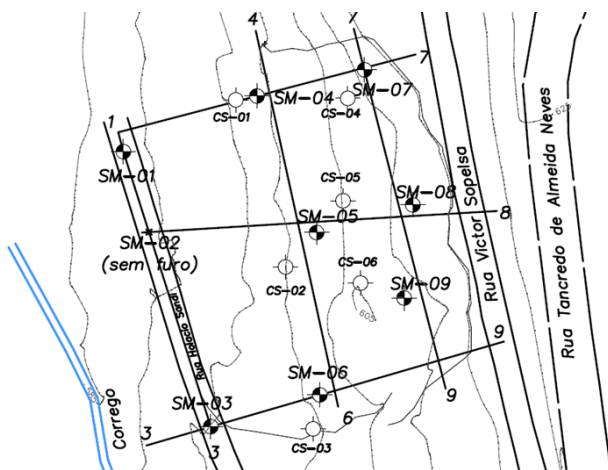


Figura 4. Localização dos furos de sondagem (SM) e das coletas de material para a realização dos ensaios de cisalhamento direto (CS).

Para possibilitar a interpretação geotécnica dos perfis de sondagem, a equipe da FGS Geotecnia realizou uma inspeção de campo detalhada. Esta inspeção teve como objetivo identificar os tipos de materiais geotécnicos existentes na área da ruptura e do seu entorno para auxiliar no diagnóstico do evento. Com base nestas informações e naquelas obtidas através dos boletins de sondagens, o perfil geotécnico do terreno foi dividido em quatro materiais distintos, os quais serão apresentados na sequência

4.1 Aterro

O material classificado como aterro era composto por solo, blocos de rocha e resíduos

da construção civil. Durante as sondagens, o valor do NSPT obtido nesta camada foi inferior a 7, e as amostras coletadas apresentaram fragmentos centimétricos dos materiais citados anteriormente. Na região de transição com o material classificado como colúvio havia um incremento na resistência à penetração.

A espessura deste material é variável, sendo os perfis de aterro mais espessos próximos a Rua Victor Sopelsa, atingindo até 8 metros, e camadas de aterro praticamente nulas na região da base do talude.

4.2 Solo Coluvionar

A atribuição de colúvio foi dada ao material natural existente no talude, sendo composto pela mescla de solo residual e blocos de rocha transportados através da ação da gravidade, situação evidenciada pelo tipo e formato dos fragmentos recuperados nas sondagens e através da inspeção realizada em campo.

Foram identificadas camadas de colúvio com até 11 metros, sendo visíveis em todas as sondagens executadas no local. A Figura 5 mostra uma imagem de área lateral a ruptura onde foi possível identificar o solo coluvionar.



Figura 5. Solo coluvionar existente na região lateral a ruptura.

4.3 Solo residual

Em campo, o solo residual foi identificado nas escavações realizadas para a execução das casas



a jusante da rua Horácio Sândi. Esse material também foi identificado junto ao córrego existente na base da encosta.

4.3 Rocha

Foi classificado como rocha o material com índice de recuperação considerável, levando em conta os boletins de sondagem e as imagens dos testemunhos recuperados. Como o horizonte rochoso também foi identificado em parte do leito do córrego, foram realizadas conferências para a definição da transição entre esse material e o solo residual durante a composição das seções geotécnicas.

Baseado nos resultados das sondagens e nos testemunhos, foi verificado que este material ocorre a partir de, aproximadamente, 20 m de profundidade até o limite da sondagem realizada.

4.4 Perfil geotécnico

Utilizando as informações obtidas em campo através da inspeção detalhada e também nos boletins de sondagem, foi obtido o perfil geotécnico apresentado na Figura 6, este localizado no eixo da ruptura.

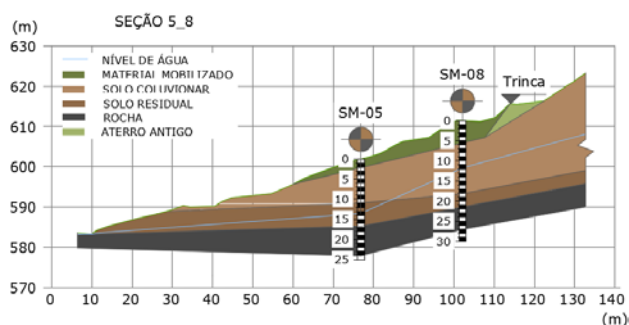


Figura 6. Perfil geotécnico localizado no eixo da ruptura.

A partir das informações apresentadas, concluiu-se que a ruptura ocorrida foi do tipo circular, com profundidade maior do que 6,0 m, e mobilizou além do aterro, o solo coluvionar. Na Figura 7 está apresentado um croqui dos movimentos ocorridos.

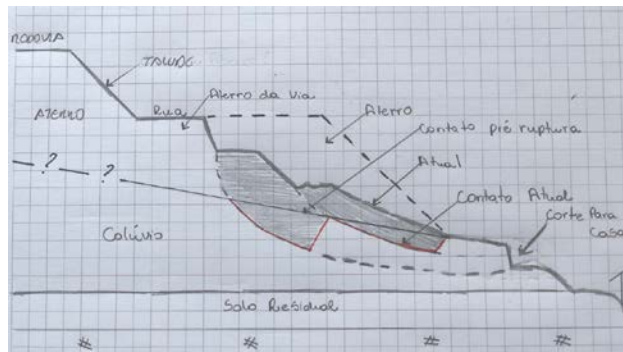


Figura 6. Croqui da ruptura.

Verificou-se uma limitação definida para a área de ruptura. Iniciava-se junto a rua Victor Sopelsa e terminava na Rua Horácio Sândi. O ponto de término do movimento foi determinado em função do surgimento da rua e pelo baixo nível de dano ocorrido nas casas a jusante da rua identificada como o pé da ruptura. Esses danos correspondem somente a trincas localizadas, deflagradas em algumas casas.

De acordo com relatos do corpo técnico da prefeitura, as rupturas ocorreram após um período intenso de chuvas, conforme já referido, e em dois períodos subsequentes com poucas horas de intervalo entre si. Após a ocorrência do evento verificou-se que na área existiam 3 bueiros simples de concreto, sendo que aquele localizado na posição central em relação a ruptura estava obstruído. Não é possível garantir se a obstrução ocorreu durante a execução do aterro, pelo excesso de carregamento, ou pela própria movimentação de massa. Todavia, após o seccionamento da rede pluvial, sabe-se que o volume de água retido a montante da área mobilizada começou a saturar o terreno, contribuindo como um dos “gatilhos” do evento. O outro “gatilho” identificado foi a elevação do nível freático natural da encosta devido ao intenso período de chuvas.

Como sabe-se, solos coluvionares são solos transportados pela ação da gravidade (evento normal que caracteriza a evolução dos terrenos) e o seu ângulo de deposição, normalmente, está muito próximo da sua condição limite de estabilidade. Silveira (2003) aponta que estes materiais frequentemente são bastante



permeáveis, característica que pode estar associada a elevação do nível do lençol freático, que somada a sobrecarga imposta pelo aterro, ao elevado ângulo de face do aterro (aproximadamente 40°) e a sua saturação, deflagraram a ruptura.

5 SOLUÇÃO DE ESTABILIZAÇÃO ADOTADA PELA FGS GEOTECNIA

Devido a ocorrência do evento, a PMC contratou um anteprojeto geotécnico com o objetivo de estabilizar a encosta. Uma premissa imposta pela contratante consistia na necessidade de habilitação dos terrenos junto ao pé da ruptura (Rua Horácio Sandi) para a reconstrução das casas.

A FGS Geotecnia, enquanto projetista contratada por meio de licitação pública, além da adoção da premissa imposta pela contratante, considerou os requisitos técnicos normativos, a disponibilidade dos materiais e empresas da região para a execução do projeto, um baixo custo de manutenção, além do custo de execução da solução.

A partir das prescrições da NBR 11682, identificou-se que o fator de segurança mínimo indicado para o sistema deveria ser de 1,50, tendo em vista que trata-se de uma solução com alto nível contra danos a vidas humanas e nível mediano contra danos materiais e ambientais.

Neste contexto, o conceito adotado para a estabilização do talude foi a remoção integral do aterro e do material rompido, a execução de um muro de enrocamento e execução de um sistema de drenagem superficial e subsuperficial. Uma seção tipo da solução adotada está apresentada na Figura 7.

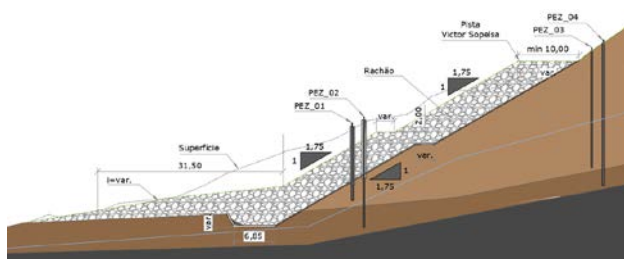


Figura 7: Seção tipo da solução de estabilização (muro de

enrocamento).

A planta baixa da solução está apresentada na Figura 8.



Figura 8. Planta baixa da solução com destaque para o sistema de drenagem superficial e subsuperficial.

O conceito desta solução levou em conta as seguintes características técnicas:

- Para aumentar o fator de segurança do talude é necessário travar possíveis movimentações do solo coluvionar observado na investigação geotécnica, principalmente em períodos de precipitações contínuas;
- Para travar a movimentação do colúvio foi projetada uma chave granular com profundidade suficiente para ultrapassar a camada deste solo e drenos a jusante da solução para rebaixar o nível freático;
- Instalação de piezômetros ao longo do talude. Para o início das escavações é necessário que os piezômetros indiquem que a linha piezométrica se encontra, no máximo, nas cotas onde os boletins de sondagem indicam a presença no NA;
- Finalizada esta etapa deverá ser realizada a escavação da chave granular em nichos de no máximo 5,00m, com o preenchimento imediato da escavação com rachão;
- No período de execução da chave, todo o material escavado deverá ser depositado a jusante da mesma. Após o término desse serviço, este material deverá ser destinado a um bota-fora licenciado;
- Findada a chave granular, deverá ser realizada a primeira etapa do muro de



enrocamento;

g) Com o muro parcialmente executado (até o patamar intermediário) deverá ser executada a segunda fase de escavação visando a remoção total dos aterros existentes no terreno (aterro referente a rua Victor Sopelsa). Após esta etapa, o enrocamento deverá ser finalizado;

h) Para os cálculos de estabilidade foi adotado uma sobrecarga de 20 kN/m², na pista da rodovia e sobre a rua Victor Sopelsa, a fim de simular o tráfego de veículos na região;

i) A drenagem interna da chave granular deverá ser direcionada para o córrego.

A solução baseada no muro de enrocamento tem seu desempenho garantido em função da geometria do aterro, das tensões verticais impostas ao terreno natural e devido ao elevado ângulo de atrito interno do enrocamento. Logo, como a chave granular foi locada no fundo dos terrenos recuperados, essa zona é passível de ocupação, porém não poderá ser escavada ou ter seu material substituído.

7 DISCUSSÕES DAS SOLUÇÕES PROPOSTAS E PROJETADA

Ao correlacionar a solução híbrida de solo grampeado e muro de solo reforçado com as informações obtidas através das investigações geotécnicas realizadas, verificou-se que previa-se para esta solução um corte de aterro que não proporcionaria a remoção total da massa rompida. A manutenção dessa massa rompida é o que, possivelmente, justifica a implantação de uma densa malha de grampos (espaçamento de 1,25m x 1,50m), que elevaria substancialmente o custo da execução. O muro de solo reforçado previamente proposto traria incrementos consideráveis de tensão geoestática, levando a redução do fator de segurança global do sistema. A análise de estabilidade desta solução forneceu um fator de segurança de 1,35, ou seja, discordante do fator de segurança mínimo requerido pela norma de Estabilidade de Encostas ($FS \geq 1,50$) para um evento com estas características de ocupação. Cabe lembrar que essa avaliação levou em consideração o nível

freático determinado pelas investigações de campo e, de acordo com as retroanálises realizadas, o provável nível freático ocorrido durante a ruptura localiza-se em cotas bem superiores. Deste modo, em um novo período de elevadas precipitações ainda existiria a possibilidade de rupturas, visto que a saturação do solo natural é esperada, recriando as condições observadas na instabilização que motivou o desenvolvimento do projeto.

A implantação de contenções ativas, do tipo cortina atirantada, a jusante da rua Victor Sopelsa e nos fundos dos terrenos afetados da rua Horacio Sândi, exigiria alturas consideráveis para ultrapassar a superfície de ruptura já instalada. Estima-se, pelo perfil geotécnico, que a cortina superior necessitaria uma altura de cerca de 7,0m, e a inferior cerca de 5,0m. Como fundação dessas estruturas de contenção seriam necessárias estacas escavadas armadas com profundidades variando, aproximadamente, entre 10m e 15m.

Essa solução proporcionaria uma geometria mais adequada junto aos terrenos recuperados sob a perspectiva das restrições de ocupação. Entretanto isto resultaria em uma contenção contraindicada financeiramente, com maiores riscos de segurança operacional de obras e com maior necessidade/custo de manutenção ao longo de sua vida útil. De acordo com a NBR 11682, tirantes devem ser ensaiados para verificação de cargas e inspeção da integridade das cabeças, a cada cinco anos, em um número representativo de dispositivos, com sistema bomba, macaco e manômetro aferido.

Diante do exposto, percebe-se que uma das soluções propostas não atenderia os requisitos técnicos mínimos enquanto a outra, mesmo sem a apresentação do projeto, poderia ter seu dimensionamento condizente com a situação. Todavia, demandaria um elevado investimento de curto, médio e longo prazo.

A solução proposta pela FGS Geotecnia prevê a contenção com segurança mínima requerida para a região e de acordo com as boas práticas de engenharia. Além disso, demandará um investimento inferior às demais soluções.



6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo teve como objetivo apresentar as diferentes soluções propostas para a estabilização de um talude urbano. As soluções foram indicadas sob diferentes condições de conhecimento técnico sobre a área, e os resultados obtidos de desempenho técnico e econômico possuem grande variação entre as alternativas propostas. Esta variação está nitidamente vinculada ao diagnóstico e a quantidade de informações disponíveis no momento de sugestão preliminar. Ao verificarmos o conjunto de informações descritas nesse artigo, torna-se evidente que não existe um projeto coeso e fundamentado de estabilização de taludes sem um diagnóstico preciso da instabilidade.

O processo conduzido pela Prefeitura Municipal de Concórdia levou a definição de uma solução viável técnica e economicamente.

Não é incomum na prática da engenharia brasileira a adoção de medidas que proporcionem a brevidade do processo que leva a definição de uma solução, tornando esta menos segura e por vezes mais onerosa. Ou seja, essa simplificação do processo acaba proporcionando soluções de estabilização com fatores de segurança inferiores aos normatizados.

O seguimento de um fluxo de informações para a concepção de um projeto legitimamente viável é uma necessidade que precisa ser seguida.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Prefeitura Municipal de Concórdia/SC e a toda equipe da FGS Geotecnia.

REFERÊNCIAS

ABNT. NBR 11682: Estabilidade de Encostas, p. 33, Rio de Janeiro, 2009.
Código Florestal Brasileiro Completo e Atualizado

(2012) Lei 12.727 – Brasília.

DENARDIN, B.R. 2015. Faceamento em solo Grampeado com malhas de aço – estudo de critérios de dimensionamento. Dissertação de mestrado. UFRGS.

FARAH, F. 2003. Habitação e Encostas. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas. 312p.

GEOGUIDE. 2007. Guide to soil nail design and Construction. Geotechnical Engineering Office, Civil Engineering and Development Department. The Government of Hong Kong.

IPT(1991) Ocupação de Encostas. Publicações do IPT. N. 1831. 231p.

IPT (2012). Bitar, O. Y.; Freitas, C. G. L., Ferreira, A. L. Classificação de declividade para fins de normalização geotécnica em planejamento urbano: estudos em áreas de domínios pré-cambriano na região sudeste. Anais Congresso Brasileiro de Geologia, Santos.

SILVEIRA, R.M (2003). Propriedades Geotécnicas dos colos coluvionares do gasoduto Bolívia-Brasil em Timbé do Sul. Dissertação de mestrado (UFRGS).