

Estudo e Projeto de Estabilização de Talude Urbano Utilizando a Técnica de Solo Grampeado: Caso de Obra no Município de Senador Firmino-MG

Study and Design of Urban Slope Stabilization Using the Staped Soil Technique: Case of a Work in the City of Senador Firmino-MG

DOI:10.34115/basrv5n2-006

Recebimento dos originais: 16/02/2021

Aceitação para publicação: 16/03/2021

Ana Carolina Carvalho de Menezes

Mestrado em Engenharia Civil

Vale S.A.

Rua Dr. Thomaz Muzzi, 100/501, Calafate, Belo Horizonte/MG

E-mail: a.carolcm@hotmail.com

Luiz Vinicius de Castro Rangel

Bacharel em Engenharia Civil

Rangel Engenharia Eireli

Rua Manila, 90, Havaí, Belo Horizonte/MG

E-mail: lvc.rangel@hotmail.com

Fernando Pinheiro Tonieto

Bacharel em Engenharia Civil

Tetra Construções e Engenharia Eireli

Av. Dos Andradas, 553, Centro, Juiz de Fora/MG

E-mail: Fernando_tonieto@hotmail.com

Paulo Sérgio de Almeida Barbosa

Mestrado em Engenharia Civil Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, Brasil

Campus UFV, Centro, Viçosa/MG

E-mail: pbarbosa@ufv.br

Heraldo Nunes Pitanga

Ph.D em Engenharia Civil

Universidade Federal de Juiz de Fora

Campus UFJF, São Pedro, Juiz de Fora/MG

E-mail: heraldo.pitanga@ufv.br

RESUMO

Em decorrência da frequência dos casos de instabilidade de maciços de solo ocasionados por fatores naturais ou por intervenções antrópicas, fazem-se necessárias a elaboração e a execução de técnicas construtivas eficazes e capazes de garantir a estabilidade dos maciços de maneira segura, com qualidade, com baixo custo e de rápida execução. Dessa forma, este trabalho procura sintetizar as etapas de estudo e projeto de estabilização de um talude, utilizando a técnica de solo grampeado que, devido à inegável notoriedade adquirida nos últimos anos no Brasil, apresenta-se como um tema bastante discutido, com uma boa bibliografia, mas que ainda não possui uma metodologia de

projeto e execução tão bem definida. A partir da análise de um talude urbano na iminência de ruptura situado na cidade de Senador Firmino-MG, foi verificado que a técnica de solo-grampeado era a que mais se ajustava às condicionantes do local, dando-se início aos procedimentos de elaboração do projeto. Primeiramente, com o levantamento topográfico, obteve-se o perfil crítico com inclinação média de 48° . A sondagem de reconhecimento resultou em dois tipos de solo: arenoso, localizado na parte inferior, e siltoso, na parte superior. A partir de ensaios de laboratório, foram verificados, para os solos siltoso e arenoso, nos estados natural e inundado, os respectivos valores de coesão e de ângulo de atrito, além do peso específico natural. Para conseguir os parâmetros no estado de iminência de ruptura, realizou-se uma retroanálise. Um estudo paramétrico possibilitou um melhor entendimento da influência exercida pela inclinação dos grampos. A partir do pré-dimensionamento de acordo com os ábacos de Gigan (GIGAN,1986), obteve-se uma distribuição preliminar dos grampos. O dimensionamento foi realizado com o suporte do software GEOSTUDIO-SLOPE/W. Após as análises, nota-se que a umidade, quando o solo foi levado próximo à saturação, teve grande influência na queda da resistência do solo siltoso, havendo a necessidade de projetar um sistema de drenagem eficiente que evitasse este tipo de situação. Foi observado que o solo arenoso, principalmente na região inferior do talude, governava a estabilidade. Assim, através de iterações com o auxílio do software, foram encontrados os comprimentos e espaçamentos apropriados para cada região, visando à segurança, praticidade e economia do projeto.

Palavras-chave: Riscos geotécnicos, Estabilização de taludes, Solo grampeado.

ABSTRACT

Due to the frequency of cases of instability of soil massifs caused by natural factors or anthropic interventions, it is necessary to develop and implement effective construction techniques capable of ensuring the stability of the massifs safely, with quality, at low cost and fast execution. Therefore, this paper seeks to synthesize the study and design stages of a slope stabilization project using the stapled soil technique, which, due to the undeniable notoriety acquired in recent years in Brazil, is a widely discussed topic, with a good bibliography, but which still does not have a well defined design and execution methodology. After analyzing an urban slope in danger of collapse located in the city of Senador Firmino, Minas Gerais, it was verified that the solo-gridding technique was the most suitable to the site conditions. First, with the topographical survey, the critical profile was obtained, with an average inclination of 48° . The reconnaissance drilling resulted in two types of soil: sandy, located in the lower part, and silty, in the upper part. Laboratory tests were performed to verify, for the silty and sandy soils, in the natural and flooded states, the respective

In order to obtain the parameters in the immersed state, the values of cohesion, angle of friction, and natural specific weight were determined. To obtain the parameters in the state of imminent rupture, a backanalysis was performed. A parametric study allowed a better understanding of the influence exerted by the inclination of the clamps. From the pre-dimensioning according to Gigan's abacuses (Gigan, 1986), a preliminary distribution of the clamps was obtained. The sizing was performed with the support of GEOSTUDIO-SLOPE/W software. After the analyses, it was noted that the humidity, when the soil was brought close to saturation, had a great influence on the resistance of the silty soil, with the need to design an efficient drainage system that would avoid this type of situation. It was observed that the sandy soil, especially in the lower region of the slope, governed stability. Thus, through iterations with the help of the software, the appropriate lengths

and spacings for each region were found, aiming at the safety, practicality and economy of the project.

Keywords: Geotechnical risks, Slope stabilization, Stapled soil.

1 INTRODUÇÃO

Estabilização de talude é o termo utilizado na geotecnia para os sistemas capazes de garantir que o maciço, seja ele à base de rocha, solo ou misto, cesse sua movimentação. Então, ao se deparar com uma situação de risco de escorregamento ou um talude que necessite de uma rápida estabilização, o profissional em engenharia deve analisar qual técnica de contenção é a ideal para cada caso específico.

O emprego de técnicas de reforço de solos para estabilização de taludes existentes ou formados por ação antrópica apresenta-se como alternativa técnico-econômica viável em expansão em todo mundo. Dentre as técnicas de estabilização de solos, a de solo grampeado tem sido cada vez mais aceita no âmbito da engenharia geotécnica brasileira. Tal técnica ganhou notoriedade a partir da década de 80.

O solo grampeado tem por objetivo conter movimentações de massa de solo, transferindo esforços de uma zona de potencial instabilidade para a zona estável do maciço e pode ser usado em taludes naturais ou escavados.

O crescente uso desta técnica se deve à grande eficiência do método, a um custo-benefício competitivo, à flexibilidade de adaptação a geometrias variadas, à elevada velocidade de produção, à sua aplicação em diversos tipos de solos e ao uso de equipamentos leves e de fácil manuseio.

No Brasil, nota-se ainda, em projetos de solo grampeado, o dimensionamento desenvolvido através de conhecimentos práticos de obras já executadas. Isso ocorre por ainda não existir uma norma específica e uma metodologia padrão bem definidas de dimensionamento estrutural, sendo o mais utilizado o método francês (CLOUTERRE, 1991).

Dentro dessa perspectiva, o presente trabalho apresenta o desenvolvimento de um projeto real proposto para contenção de um talude na cidade de Senador Firmino – MG por meio do emprego da técnica de solo grampeado.

2 DESCRIÇÃO DO CASO DE OBRA

Durante uma visita técnica a Senador Firmino, cidade da Zona da Mata de Minas Gerais, foram observados problemas de instabilidade de taludes, dos quais foi escolhido, para a realização do presente estudo, o talude apresentado na Figura 1, o qual, no ano de 2012, sofreu um deslizamento durante a época de chuvas, implicando no soterramento de algumas casas que se encontravam do lado oposto da via, impedindo também o trânsito durante muito tempo. Tendo em vista o ocorrido e considerando as condições geográficas e geotécnicas do local de ruptura, foi feita uma proposta de estabilização do maciço através da técnica de solo grampeado, procurando satisfazer às necessidades de segurança do local e evitar futuros deslizamentos.

Figura 1. Talude de estudo situado no município de Senador Firmino-MG.



A proposta de execução da técnica de solo grampeado no local partiu da análise morfológica e geotécnica do talude. O fato da existência de uma área de preservação ambiental a montante do mesmo impedia o emprego de técnicas que necessitassem de um maior movimento de terra, como o retaludamento, assim como de outras técnicas que necessitassem da execução de aterros, como a terra armada, além dos tirantes, que necessitam de um paramento estrutural vertical, não tanto conveniente para o caso estudado. Esses aspectos justificaram a adoção da técnica de solo grampeado visando à estabilização do referido talude.

3 METODOLOGIA

3.1 CARACTERIZAÇÃO TOPOGRÁFICA

A primeira etapa do processo de desenvolvimento do projeto consistiu na caracterização geométrica do maciço, realizada através do levantamento topográfico por estação total.

3.2 CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA

A caracterização geotécnica do maciço teve início com a identificação do perfil geológico do terreno através de um furo de sondagem realizado a trado. Pela dificuldade de operação, a localização do furo foi escolhida próxima à divisão aparente das camadas de solo, e a partir do resultado e de análises visuais pôde-se estimar a continuidade das características de cada camada de solo e verificar a não existência de um nível d'água. Com o intuito de precisar a divisão dessas camadas, foi realizada a identificação tátil-visual com as amostras retiradas ao longo do furo de sondagem.

A partir da definição dos tipos de solo existentes, deu-se início a retirada de amostras indeformadas de cada material, procurando o estabelecimento dos parâmetros geotécnicos de resistência ao cisalhamento dos solos. As amostras foram levadas ao laboratório e cuidados foram tomados para que não houvesse perda ou ganho de umidade, além de evitar qualquer mudança em sua estrutura.

O ensaio escolhido para a obtenção dos referidos parâmetros geotécnicos foi o de cisalhamento direto, nos quais foram empregados corpos de prova dos solos na umidade natural. Após a ruptura, os corpos de prova foram inundados para que se obtivessem os parâmetros na condição mais crítica possível.

3.3 ANÁLISE NO GEOSLOPE

Para se encontrar a inclinação e o comprimento de ancoragem adequados dos grampos, foi feita uma análise com o auxílio do software Geostudio-Slope/W. O programa tem a opção de escolha de vários métodos de análise, sendo escolhido o método de Morgenstern & Price, devido ao seu maior rigor quanto à análise de esforços entre as lamelas, considerando tanto o equilíbrio de forças verticais e horizontais, quanto o de momento. Dentre as opções disponíveis no software, foi escolhido o critério de Möhr-Coulomb para o cálculo da resistência ao cisalhamento.

Como dados de entrada, são necessários o peso específico do solo, a coesão e o ângulo de atrito no estado em que se encontra o solo, os quais foram obtidos através dos ensaios de laboratório.

Para obtenção dos parâmetros de resistência do solo no momento da ruptura, foi realizada uma retroanálise, estimando os valores destes parâmetros até que se obtivesse a cunha de ruptura com fator de segurança $FS = 1,00$, representando os parâmetros de resistência dos solos mais próximos daqueles que atuavam no dia do deslizamento.

Tendo em mãos todos os parâmetros correspondentes aos casos de solo natural, solo inundado, além dos obtidos pela retroanálise, utilizou-se do programa para se obter os fatores de segurança em cada situação. Foi feita uma análise paramétrica, variando a inclinação dos grampos de 0° a 50° . Para uma comparação, a partir dos resultados obtidos, foram feitos gráficos de Inclinação *versus* FS, sendo possível observar qual faixa de inclinação seria melhor em cada caso.

3.4 PRÉ-DIMENSIONAMENTO

Foi realizado um pré-dimensionamento através dos ábacos de Gigan (1986). Para tal, foram utilizados grampos com comprimento de 12 m, por ser o valor máximo encontrado facilmente no mercado, e adotou-se um determinado valor para fator de segurança, encontrando-se o espaçamento necessário para a contenção. Conforme prescrito na NBR 11682 (ABNT, 2006), o fator de segurança adequado para a situação é de 1,5, visto que o projeto envolve área de preservação ambiental e risco à vida.

Como o talude é composto por dois tipos de solo, foi feito um pré-dimensionamento para cada tipo, uma vez que os parâmetros e dimensões são diferentes. Com os resultados obtidos no pré-dimensionamento, adotou-se um espaçamento e, através de um processo iterativo, variou-se o comprimento das barras até que se encontrasse um fator de segurança próximo do exigido.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O levantamento topográfico realizado no talude estudado demonstra inclinações na ordem de 1:1 (48°). O perfil geológico do terreno apresentou além da ausência de um NA, a existência de dois principais tipos de solo, sendo o primeiro, da camada mais superior, de características siltsas, e o segundo, da camada mais abaixo, de características arenosas.

As respectivas envoltórias de resistência ao cisalhamento desses solos nas condições natural e inundada são apresentadas nas Figuras 2 e 3 a seguir. A Tabela 1 apresenta os respectivos parâmetros de resistência ao cisalhamento dos solos para as condições natural e inundada.

Figura 2. Envoltórias de resistência ao cisalhamento do solo siltoso nas condições natural e inundada.



Figura 3. Envoltórias de resistência ao cisalhamento do solo arenoso nas condições natural e inundada.

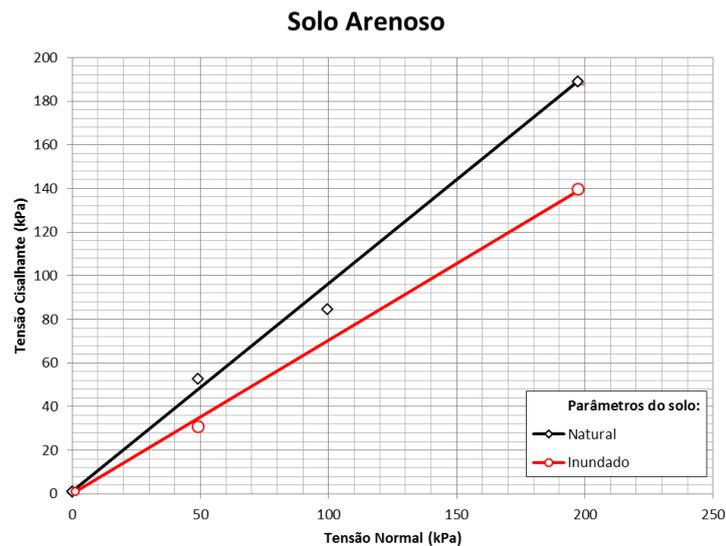
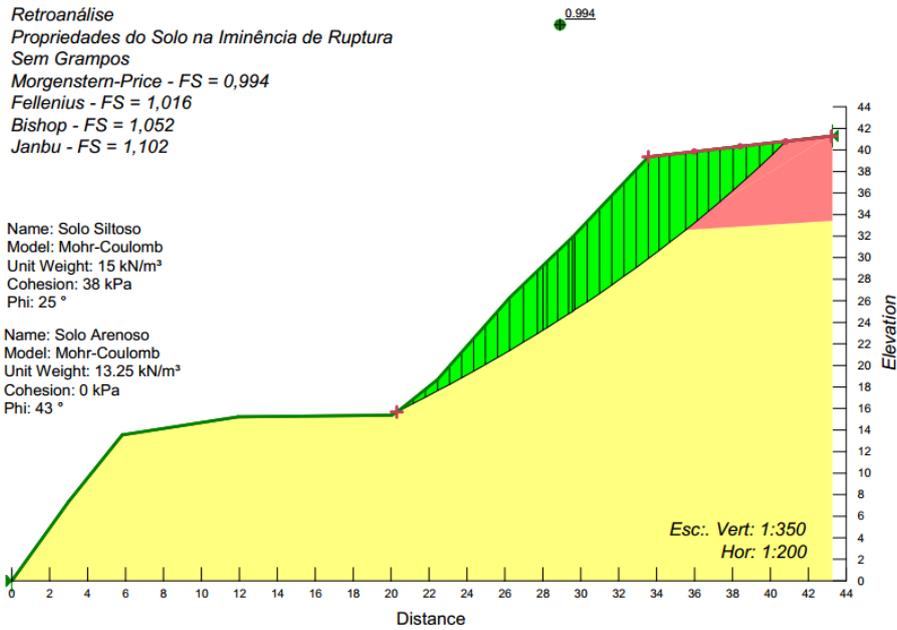


Tabela 1. Parâmetros de resistência ao cisalhamento dos solos identificados no talude estudado.

Solo	Condição do solo no ensaio de cisalhamento	c' (kPa)	ϕ' (°)	w (%)
Siltoso	Natural	67	34	20,12
	Inundada	2	13	-
Arenoso	Natural	1	44	6,77
	Inundada	0	35	-

Através da retroanálise (Figura 4), os parâmetros encontrados para o solo siltoso foram $c' = 38$ kPa e $\phi' = 25^\circ$; já para o solo arenoso, foram encontrados $c' = 0$ kPa e $\phi' = 43^\circ$.

Figura 4. Retroanálise do talude em estudo por meio do Geoslope.

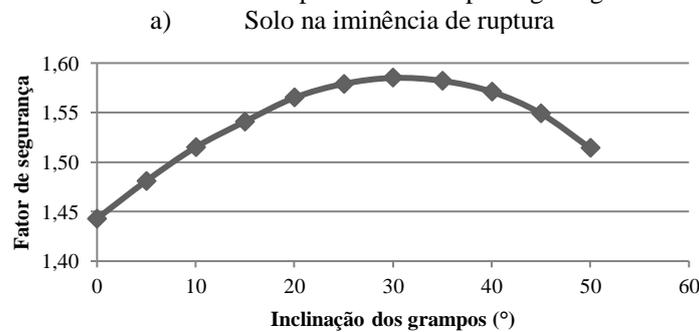


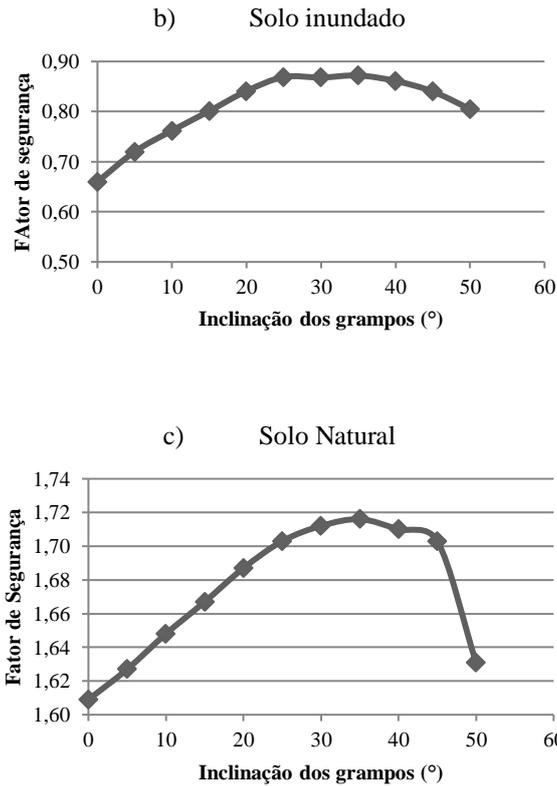
Com os resultados das características do solo em mãos, foi possível fazer a análise paramétrica do perfil nos três casos estudados: solo na iminência de ruptura, solo inundado e solo natural. Para verificar qual a melhor inclinação dos grampos, foram feitas várias análises, variando o ângulo em relação à horizontal de 0° a 50°, em intervalos de 5° e mantendo o comprimento e os respectivos parâmetros.

Na região superior do talude, foram usados espaçamentos horizontal e vertical de 1m, enquanto na região inferior foram usados espaçamentos horizontais de 1m e vertical de 2m, ambos de acordo com recomendações de Clouterre (1991).

Os resultados da análise paramétrica para essas condições são apresentados na Figura 5.

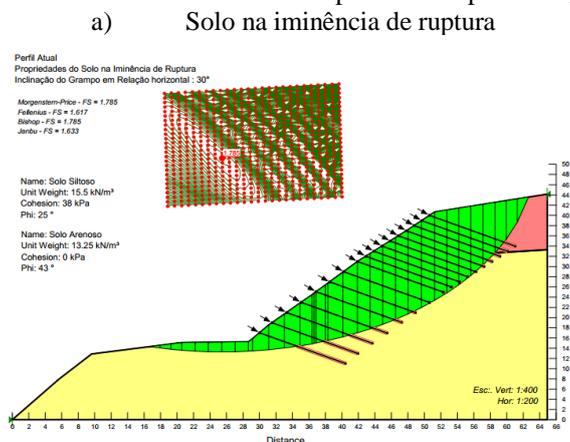
Figura 5. Resultados da análise paramétrica do perfil geológico estudado.



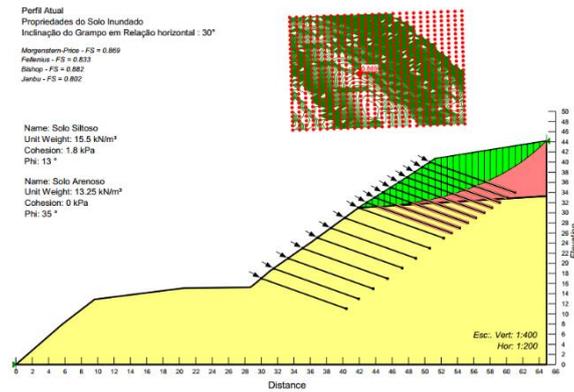


Através dos resultados dessa análise, nota-se que a inclinação ideal do grampo para o talude em estudo (aquela que gera o maior fator de segurança) é por volta de 30°. Como forma de comparar os diferentes cenários (condições do perfil geológico) e definir qual seria o caso crítico, apresenta-se na Figura 6 a análise gerada para os respectivos parâmetros de resistência obtidos na iminência de ruptura e nos estados inundado e natural, utilizando a inclinação considerada ideal para o grampo (30°).

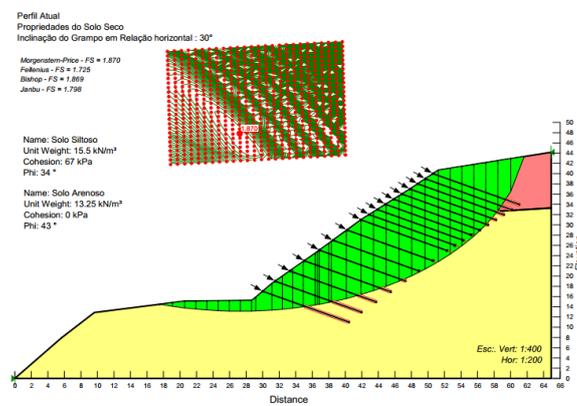
Figura 6. Análise de estabilidade do talude estudado feita pelo GeoSlope com o grampo na inclinação ideal.



b) Solo inundado



c) Solo natural



Observa-se que, com o solo natural e na iminência de ruptura, a cunha de ruptura atravessa os dois solos. Em ambos os casos, o talude é estabilizado com a introdução dos grampos. Ainda pelos resultados gerados pelo programa, nota-se que a situação crítica corresponde à condição do solo inundado, visto que, mesmo com a ação dos grampos, o talude continuaria instável, impondo a necessidade técnica de diminuição do espaçamento entre os mesmos, o que seria economicamente inviável, comparando-se essa medida com a possibilidade de implantação de um sistema de drenagem.

Dessa forma, como solução do problema, propõe-se a utilização de um sistema de drenagem sub-horizontal profunda (DHP). Desse modo, seriam colocados DHP's, além de drenos de paramento, de forma a impedir que os parâmetros de resistência do solo caiam o suficiente para alcançar os valores críticos obtidos na situação de inundação. O fato de não haver nível d'água no maciço não significa necessariamente que o talude permanecerá seco. Em casos gerais, onde há ocupação urbana, vazamentos de redes hidro sanitárias, entre outros fatores, fazem com que o teor de umidade do solo se eleve a valores críticos.

Neste caso em particular, não há risco de vazamento, por se tratar de uma área de preservação ambiental na crista do talude, não havendo, assim, urbanização nessa região. Porém, em épocas de chuva, o nível de infiltração pode ser bastante alto, prejudicando a resistência ao cisalhamento do solo.

Ainda analisando o caso inundado, a cunha crítica se mostra preferencialmente no solo siltoso. Nota-se que a coesão passa de 67 kPa, no estado natural, para 2 kPa, com o solo saturado, e o ângulo de atrito cai de 34° para 13°. Como o paramento estará protegendo a superfície do talude, a única forma de infiltração de água é pela parte superior do mesmo, onde se encontra o solo siltoso. Desse modo, viu-se a necessidade de se dar mais atenção a essa área, no momento do dimensionamento dos drenos, os quais, funcionando corretamente, seriam capazes de impedir que o solo chegue à condição de saturação, mesmo no período de chuvas.

Os drenos de paramento impediriam que a água não absorvida pelos DHP's chegue a regiões internas da superfície do paramento. Desse modo, qualquer pressão que possa ser gerada pelo acúmulo de água não prejudicaria a obra, e os parâmetros do solo não seriam afetados pela umidade.

Tendo como base a experiência de obras executadas, além dos estudos realizados, pode-se dizer que os drenos de paramento lineares são mais indicados para esse tipo de contenção. Segundo Clouterre (1991), é necessário um dreno de paramento a cada 10 m² e DHP's a cada 50m². Dessa forma, decidiu-se adotar o espaçamento de 1m entre os drenos de paramento. Com relação aos DHP's, foram adotados diferentes espaçamentos. Sendo assim, como modo de prevenção, a malha no solo siltoso seria de 4mx4m uma vez que a resistência do solo cai drasticamente com a umidade, e no solo arenoso de 6mx6m, obedecendo às recomendações de Clouterre (1991). Em ambos os solos, a declividade dos tubos de drenagem seria de 5 % e o diâmetro seria de 50 mm.

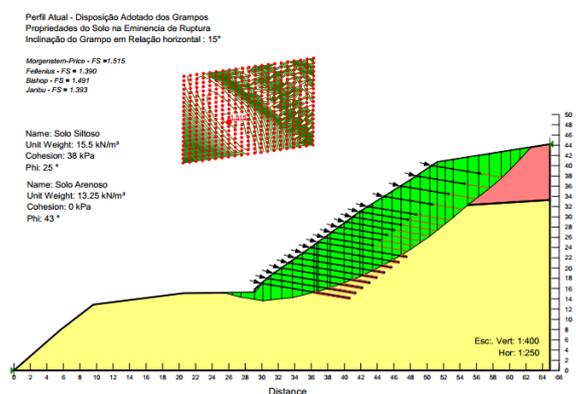
Resolvido o problema da inundação, o estado crítico passa a ser o estado obtido na retroanálise. Isso pode ser explicado pelo fato de que, assim que esses valores foram atingidos no campo, o solo rompeu e houve oportunidade de reduzir ainda mais os parâmetros de resistência. Tendo isso em mente, deu-se início ao dimensionamento da estrutura de contenção em solo grampeado. Apesar da inclinação ideal dos grampos ter sido encontrada como sendo de 30 °, a prática mostra que o furo é feito com mais precisão com inclinações menores. Assim, foi adotado, para a inclinação dos grampos, um ângulo de 15 ° com relação à horizontal. Cabe ressaltar, também, que a inclinação ideal foi obtida a partir de uma análise baseada em apenas um método.

Com base no pré-dimensionamento realizado segundo os ábacos de Gigan (1986), adotou-se inicialmente, no solo arenoso, uma malha quadrada de grampos de 1,5m na horizontal e 1m na vertical. No solo siltoso, adotou-se uma malha também quadrada de 2m x 2m. De início, adotou-se 12 m como o comprimento de barra. Admitiu-se aço CA-50 para os grampos, e a bitola escolhida foi de 20 mm, por ser a maior espessura em que a ponta da barra pode ser dobrada com praticidade no canteiro de obras. O atrito lateral (q_s) adotado nos cálculos, segundo a FHWA (2003), foi de 125kPa, para areia siltosa, e de 67,5 kPa, para silte.

Após a primeira análise, verificou-se que o comprimento dos grampos estava superdimensionado e que a região que governava o dimensionamento era a parte inferior do solo arenoso. Desse modo, através de um processo iterativo, variou-se o comprimento dos grampos até que se encontrasse um fator de segurança mais próximo de 1,5.

Ao final desse processo, tomou-se como satisfatória, no aspecto de estabilidade e de custo, a solução de se usar, para o solo siltoso, uma malha de 2m x 2m, com comprimento dos grampos de 6m. Já para o solo arenoso, utilizou-se um espaçamento horizontal de 1,5m e vertical de 1m para os primeiros nove grampos (o primeiro sendo no pé do talude), adotou-se um comprimento de 11 m, e para o restante dos grampos, 6 m. Essa solução gerou um fator de segurança de 1,537, acima de 1,5 como exigido para o projeto. A imagem da análise final se encontra na Figura 7.

Figura 7. Resultado da análise final de estabilidade do talude estudado pelo programa GeoSlope.



5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A escolha do método de contenção mais apropriado depende, dentre muitos fatores, do procedimento executivo e da análise técnica do local. Para a análise e o estudo iniciais da contenção adotada para o talude existente na cidade de Senador Firmino - MG,

foram observadas as características geológico-geotécnicas do local, a topografia do terreno, além de acessos e equipamentos disponíveis para a execução da contenção. A escolha da técnica de contenção em solo grampeado se deu pelo fato de ser um talude íngreme, de difícil acesso à parte superior, não permitir grandes movimentações de terra, por se tratar de uma área de preservação ambiental e pela necessidade de estruturas de contenções que não necessitem de grandes espaços, devido à proximidade da via pública.

Uma vez feita a escolha da técnica de solo grampeado para a estabilização do talude do local em estudo, foi possível estudar o procedimento executivo adotado, bem como as vantagens e desvantagens que ocorrem ao se adotar a técnica. Também foi possível fazer os estudos preliminares necessários para a confecção de um projeto coerente, com fator de segurança satisfatório e economicamente viável. Dentre os estudos preliminares, foram feitos levantamento topográfico, ensaio de reconhecimento tátil visual, ensaios de cisalhamento direto e consultas às bibliografias disponíveis.

Os parâmetros encontrados nos estudos preliminares (ângulo de atrito, coesão e peso específico) foram levados em conta no dimensionamento do projeto com o intuito de obter um fator de segurança superior à 1,5 determinado pela norma para áreas que apresentem grandes riscos de perdas econômicas e de vida humana.

A literatura apresenta inúmeras metodologias para o dimensionamento e verificação dos fatores de segurança para a contenção em solo grampeado, algumas de simples compreensão para a confecção de um projeto e outras mais complexas, devido ao grande número de variáveis. A associação dos métodos de cálculos de pré-dimensionamento e dimensionamento conduziu a um fator de segurança mínimo coerente para o projeto no estudo deste trabalho.

Dentre as variáveis de projeto, vale ressaltar a importância do conhecimento mais apurado do atrito lateral q_s , parâmetro importante de interação entre o solo e o grampo e que depende de várias condições, como tensão vertical do solo no grampo, tipo de solo, inclinação do grampo, umidade, entre outras. Seria de grande valia, para análise da obra e para conhecimento mais acurado da técnica, que fossem feitos ensaios de arrancamento, onde se conheceria a real relação entre o solo existente e o grampo.

Outra importante observação recai sobre a influência da inclinação dos grampos sobre o fator de segurança. É interessante notar esta influência, uma vez que o fator de segurança obtido pode variar na ordem de décimos, representando até uma economia do sistema quando utilizada uma inclinação ideal. Porém, é importante observar que a inclinação também altera o estado de tensões atuantes no grampo, modificando os

esforços e alterando os valores de dimensionamento dos grampos. Dessa forma, é conveniente a adoção de sistemas compatíveis com o método de análise utilizado, garantindo, assim, a certeza quanto aos resultados obtidos.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao apoio da SOLOTRAT no desenvolvimento da pesquisa. Também gostariam de agradecer aos Engenheiros Alex Freitas e Marcelo Beloni e à Fapemig pelo apoio ao trabalho.

REFERÊNCIAS

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 11682**: Estabilidade de Encostas. Rio de Janeiro, 2006, 18 p.

CLOUTERRE (1991). Soil Nailing Recommendations. Recommendations Clouterre. Paris: 321p.

FHWA (2003). Soil Nail Walls. Geotechnical Engineering Circular No. 7. *Publication FHWA-IF-03-017*, 314p.

GIGAN, J. P. (1986) Applications du clouage em soutènement - Paramètres de conception et de dimensionnement des ouvrages. [S.l.]: Bulletin de Liaison des Laboratoires de Ponts et Chaussées, v. n°147,pp.51-64.