

Recuperação com solo grampeado de um escorregamento plano superficial em talude íngreme de aterro

Urbano Rodriguez Alonso
Engenheiro Consultor, São Paulo, SP

Resumo: Este trabalho apresenta a solução de recuperação, usando solo grampeado, de um escorregamento com superfície plana ocorrido em um talude íngreme (relação H:V = 1:1) executado com aterro compactado, após duas tentativas, sem sucesso, de recuperação com utilização de sacos preenchidos com solo-cimento. Apresenta-se, também, o critério de cálculo utilizado e detalhe de uma ferramenta desenvolvida que permitiu executar ensaios em grande quantidade de grampos, da própria malha, escolhidos “a posteriori” de maneira aleatória e não como ocorre normalmente, neste tipo de serviço, que é o de se ensaiar “grampos protótipos” que sempre deixam dúvidas por se saber “a priori” quais serão ensaiados.

Abstract: This paper presents a solution, using a soil nailing procedure, to settled a steep slope (H:V = 1:1) built with compacted fill that presents a plane rupture after two previous solutions, without success, using soil-cement sacking. It's showing also the project proceeding and details of a devise that allows test many nails of the soil nailing network aleatory and pos-selected and not like the traditional procedure that consist in test previous “prototypes nails” that remains doubts about this tests.

1 – INTRODUÇÃO

Taludes íngremes (H:V=1:1) em aterros compactados não são comuns, sendo, normalmente utilizados taludes H:V=1,5:1. No presente caso esse talude íngreme foi executado visando dar maior aproveitamento ao patamar de implantação de uma unidade industrial e foi decidido pelo proprietário, sabendo-se, à priori, que poderiam surgir alguns escorregamentos (de pequena monta) que seriam tratados à medida que ocorressem.

O aterro, com altura total de cerca de 20 m foi executado partindo-se de um muro de arrimo no pé e bermas a cada 7 m utilizando-se solo proveniente de corte da própria área envolvida na terraplenada. Esse solo era constituído por argila silto arenosa de coloração vermelha e amarela. Os critérios de confecção do aterro foram:

- até 1m abaixo do greide final utilizaram-se camadas com 30 cm de espessura e grau de compactação (GC) 95% +/-2% do Proctor Normal.
- o último metro de aterro foi executado em camadas de 20 cm e GC = 98%.
- em ambos os casos de compactação o desvio do teor de umidade foi de +/- 3%.

Há cerca de dois anos ocorreram duas rupturas superficiais, nos períodos de chuva, com cerca de 1m de profundidade (ruptura do tipo plana) que expôs parte do talude compreendido entre a primeira e segunda bermas, conforme se mostra nas Figuras 1 e 2.

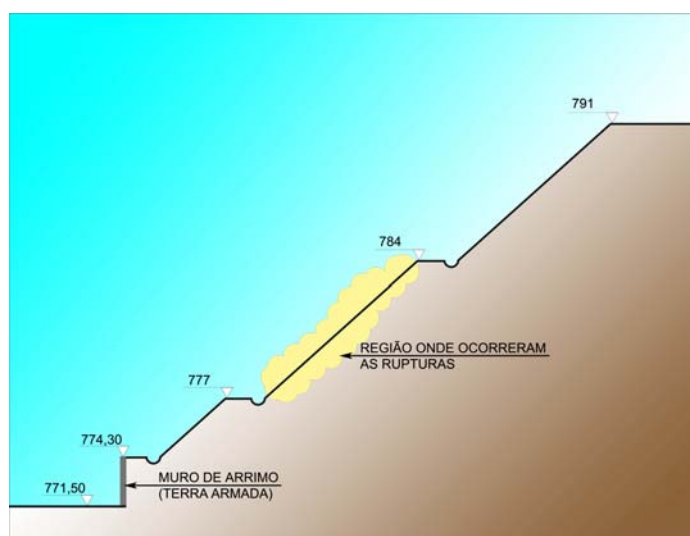


Figura 1: Seção típica do talude



Figura 2: Vista de um dos escorregamentos após a recomposição com sacos de solo-cimento

A recuperação dos dois trechos de talude rompidos foram inicialmente realizados reconpondo-se o perfil original com sacos preenchidos com solo-cimento (proporção de 10 volumes de solo/1 volume de cimento). Na primeira tentativa os sacos foram sendo dispostos sobre o talude remanescente. Após o escorregamento destes sacos fez-se uma segunda tentativa, desta vez dispondo-se de uma camada drenante (areia) entre os sacos e o talude rompido. A Figura 2 mostra a ruptura desta segunda tentativa de recuperação do talude, após um período de chuvas.

Em face destes dois insucessos resolveu-se, finalmente tratar os escorregamentos com solo grampeado, como inicialmente havia sido sugerido ao proprietário da obra. Nesta solução substituiu-se o tradicional concreto projetado por grama armada como já vem sendo utilizado por este autor em recuperações de taludes rodoviários.

2 RETROANÁLISE

Como não se dispunha de ensaios de resistência ao cisalhamento do solo do aterro esta foi avaliada por retro-análise do escorregamento, adotando-se para peso específico do solo saturado (correspondente às épocas de chuva, quando ocorreram as rupturas) igual a 20 kN/m^3 (2 tf/m^3) e

ângulo de atrito interno $\phi = 15^\circ$. Para esta retro-análise admitiu-se “talude infinito” e impondo-se um fator de segurança $FS=1$, conforme se mostra na

Figura 3. Com este procedimento obteve-se coesão $c=7 \text{ kN/m}^2$ ($0,7 \text{ kgf/m}^2$).

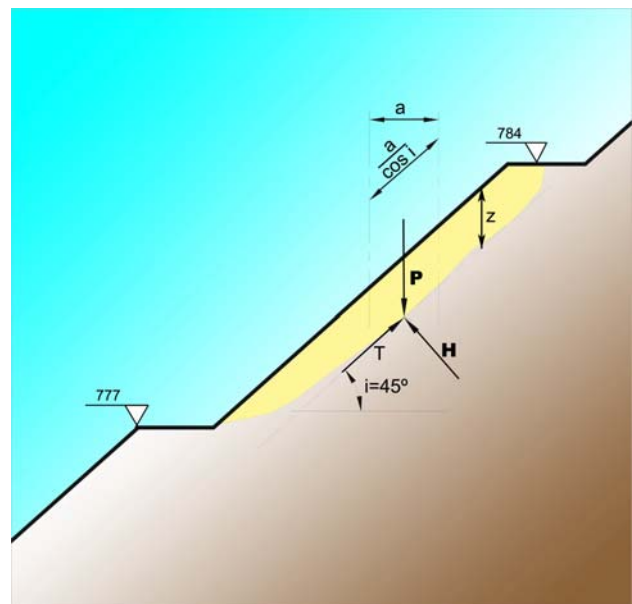


Figura 3: critério de ruptura para a retro-análise

Com base na Figura 3 pode-se escrever:

$$\text{Força atuante: } T_A = P \cdot \sin i = a \cdot \gamma \cdot z \cdot \sin i \quad (1)$$

$$\text{Força resistente: } T_R = c \cdot a / \cos i + N \cdot \text{tg } \varphi \quad (2)$$

Como $N = P \cdot \cos i = a \cdot \gamma \cdot z \cdot \cos i$ então (2) pode ser escrita:

$$T_R = c \cdot a / \cos i + a \cdot \gamma \cdot z \cdot \cos i \cdot \text{tg } \varphi \quad (2a)$$

O fator de segurança ao escorregamento (FS) se escreve:

$$\text{Erro! O objeto incorporado não é válido.} \quad (3)$$

impondo-se $i = 45^\circ$; $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$, $\varphi = 15^\circ$ e $\text{FS} = 1$ obtém-se

$$c \sim 7 \text{ kN/m}^2 \quad (7 \text{ tf/m}^2)$$

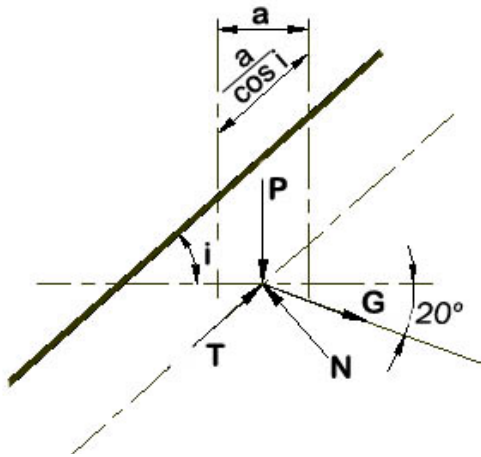


Figura 4: Esquema estrutural para dimensionamento

3 DIMENSIONAMENTO DOS GRAMPOS

O esquema estrutural para o cálculo dos grampos é mostrado na Figura 4, onde se admitiu que os mesmos sejam instalados com inclinação de 20° em relação à horizontal. Com base nesta Figura e desprezando-se a resistência transversal dos grampos e adotando-se $c = 7 \text{ kN/m}^2$ pode-se escrever:

$$T_A = a \cdot 2 \cdot 1 \cdot \sin 45^\circ \text{ ou seja } F_A = 1,41a \quad (4)$$

$T_R = \text{expressão (2a)} + G \sin 65^\circ$ ou seja, tendo em vista que $G = a \cdot \gamma / \cos 45^\circ$:

$$T_R = 1,37a + 0,6a \cdot g \quad (5)$$

Substituindo os valores de (4) e (5) na expressão que define o fator de segurança FS obtém-se:

$$\text{FS} = \frac{T_R}{T_A} = \frac{1,37 + 0,6g}{1,41} \quad (6)$$

Impondo $\text{FS} = 1,5$ (para garantir a estabilidade) a expressão (6) fornece:

$$2,12 = 1,37 + 0,6 \cdot g \text{ ou seja: } g = 12,5 \text{ kN/m}^2$$

Adotando-se para os grampos uma malha quadrada de 1,20 m de lado (no plano do talude) obtém-se a força G a ser resistida por cada chumbador:

$$G = 12,5 \times 1,2^2 = 18 \text{ kN (1,8 tf)}$$

Para esta carga adotou-se uma barra de 12,5 mm de diâmetro (aço CA 50A).

4 COMPRIMENTO DE ANCORAGEM

Para se calcular o comprimento de ancoragem dos chumbadores adotou-se para a adesão solo-grampo o valor já testado em obras similares de 50 kN/m^2 (5 tf/m^2), supondo-se, no mínimo, duas fases de injeção conforme procedimento prescrito no Manual de Especificações de Produtos e Procedimentos da ABEF (Associação Brasileira de Empresas de Engenharia de Fundações e Geotecnia - 3ª edição). Para uma perfuração de 3" (7,5 cm) de diâmetro obteve-se um comprimento ancorado de 3 m que acrescido de 1m (região a recompor do talude, conforme Figura 5) forneceu o comprimento final dos chumbadores de 4m.

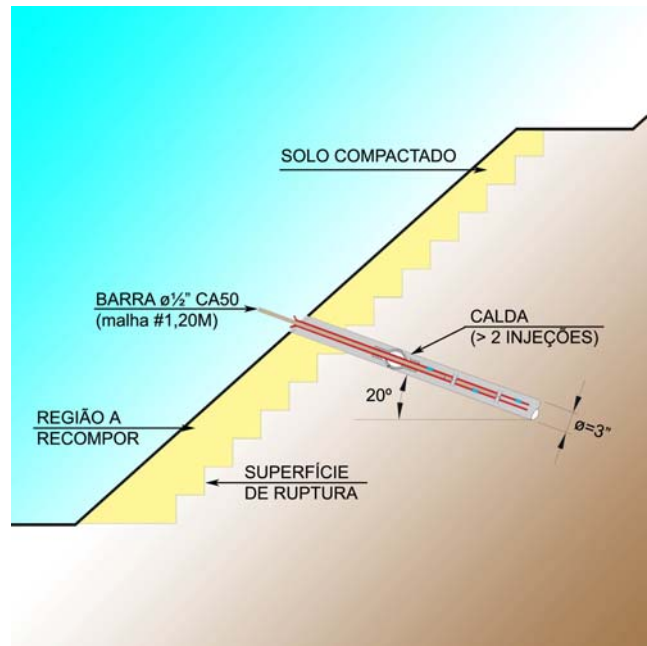


Figura 5: Detalhe da instalação dos chumbadores

5 FERRAMENTA DESENVOLVIDA PARA TESTE DE CHUMBADORES

É comum em obras de solo grampeado, pelo menos aqui no Brasil, de se realizarem testes em chumbadores previamente executados (chumbadores protótipos) e, que geralmente, não fazem parte da malha de projeto. Com este procedimento sempre fica a dúvida quanto a representatividade destes ensaios em relação aos chumbadores da obra, pois é natural que chumbadores executados para serem ensaiados, normalmente, sejam executados com cuidados maiores do que os chumbadores da obra. Para evitar este inconveniente, desenvolvemos, juntamente com a equipe da empresa executora da obra (SOLOTRAT Engenharia Geotécnica) uma ferramenta capaz de testar qualquer chumbador escolhido na malha da obra. Pretende-se com esta ferramenta melhorar a qualidade de controle da execução dos chumbadores equiparando-os, neste particular, aos tirantes que são testados, no caso de obras definitivas, em 10% do total de tirantes com 1,75 vezes a carga de trabalho e 90% com 1,40 vezes essa carga, logo após a cura da argamassa. Com este procedimento poder-se-á garantir aos chumbadores, a mesma confiabilidade dos tirantes.

Nas Figuras 6, 7 e 8 mostram-se, respectivamente a ferramenta para teste dos chumbadores, um ensaio típico em um dos chumbadores da obra, mostrando a curva carga x deslocamento e uma vista da obra concluída.



Figura 6: Testador de Chumbadores.



Figura 8: Vista da Obra Concluída

CARREGAMENTO				
FORÇA (t)	0	2	4	5
DESLOCAMENTO (mm)	0	6	14	21
DESCARGA				
FORÇA (t)	5	4	2	0
DESLOCAMENTO (mm)	21	21	18	15

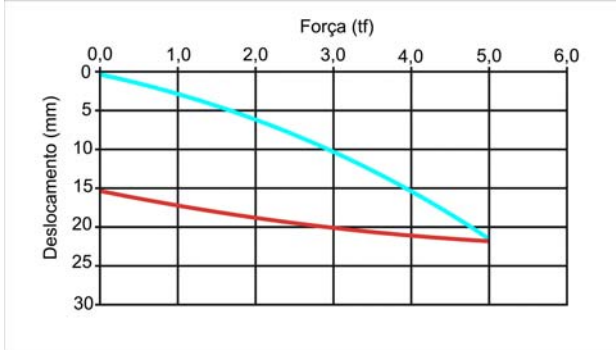


Figura 7: Ensaio de Chumbador.