

Solo Grampeado – Zona Ativa, a importância de sua avaliação, como ela pode colaborar no dimensionamento e otimização desta solução

Marco Aurélio de Oliveira

Zaclis Falconi e Eng. Assoc. Ltda., São Paulo, SP, Brasil, marco@zaclisfalconi.com.br

Maíra da Silva Santos

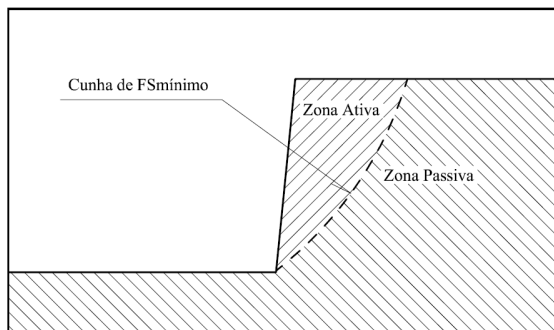
Zaclis Falconi e Eng. Assoc. Ltda., São Paulo, SP, Brasil, maira@zaclisfalconi.com.br

Resumo: Este trabalho irá discutir a necessidade de avaliação do Fator de Segurança na Zona Ativa que, como será apresentado em um caso hipotético, pode resultar valor abaixo do objetivo do dimensionamento. O Processo de Fellenius Modificado (Alonso & Falconi 1996), da forma como foi apresentado não leva em consideração a importância da avaliação. Será mostrada sugestão de otimização dos espaçamentos entre grampos a partir da análise da Zona Ativa, tentando tornar o que vem sendo baseado em experiência individual, em algo analítico.

Abstract: This paper will discuss the necessity of evaluation of Safety Factor on Active Zone that, as it will be shown in a hypothetical case, can result value below the objective of the project. The Process of Modified Fellenius (Alonso & Falcon 1996), the way as it was presented does not take in consideration the importance of this evaluation. Suggestion of optimization of nails spacing based on Active Zone analysis will be shown, trying to become what it comes being established in individual experience, in something analytical.

1. IMPORTÂNCIA DA AVALIAÇÃO

O solo grampeado é dividido em duas zonas: ativa e passiva (Figura 1). A zona ativa é situada entre o paramento e a superfície de FS mínimo, onde o solo é suportado pelo conjunto grampos + paramento. A zona passiva é a região onde são incorporados os grampos em reação aos esforços gerados para a estabilização da zona ativa.



Figural: Zonas ativa e passiva

Em levantamento efetuado por Abramento, em Hachich et al (1996), verifica-se que 75% dos dados apresentam espaçamentos horizontais e verticais entre grampos variando entre 1.0 e 1.5m.

O artigo de Alonso (1996) sobre o Processo de Fellenius Modificado recomenda avaliações do equilíbrio de esforços sempre com base nos comprimentos na zona passiva. É comentado que cada grampo cobre uma área de influência, na face de escavação de 1 a 2,5m², ou seja, espaçamentos entre 1x1 e aproximadamente 1.6x1.6 (vertical x horizontal).

Profissionais menos experientes podem, na tentativa de efetuar um projeto mais “econômico”, efetuar análises somente com base nos comprimentos dos grampos na zona passiva com os espaçamentos máximos, gerando as situações esquematizadas nas figuras 2 e 3.

Na Figura 2 observa-se que o comprimento do grampo inferior na zona passiva é bem maior que o da zona ativa. Já na figura 3 observa-se cunha de FS mínimo rasa com grampos longos, fato que geraria a necessidade de redução dos

espaçamentos com possível redução dos comprimentos na zona passiva. Em ambas as situações, se o dimensionamento foi realizado com análise somente dos comprimentos dos grampos na zona passiva, provavelmente esta contenção não terá o FS idealizado ou gerará esforços no paramento que deverá ser dimensionado para isto.

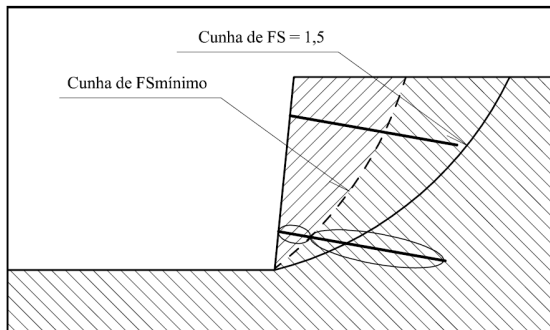


Figura 2: Grampo inferior com comprimento bastante diferente entre a parte na zona ativa e na zona passiva, destacado nas elipses

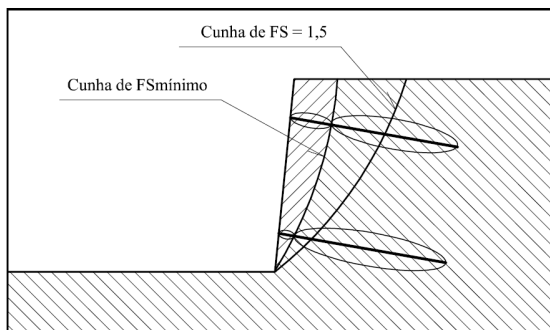


Figura 3: Cunha com FS mínimo rasa

Um artifício possível para se tornar a solução estável seria o enrijecimento do paramento, aumentando a espessura e armação, podendo considerar o esforço resistido pelo paramento. Entretanto, como a sequência executiva gera alívio de tensões horizontais, onde o paramento pode levar até 3 dias para ser concretado, poderão ocorrer grandes deslocamentos horizontais e verticais. O autor recomenda considerar como nula a contribuição para a estabilidade global do conjunto, devendo ser limitada a estabilidade local (empuxo no topo do solo grampeado ou entre grampos).

2. ANÁLISE DA CUNHA ATIVA

Sempre que se discute solo grampeado uma das principais preocupações é o comprimento dos

grampos. Como na zona ativa os comprimentos dos grampos já estão delimitados pela cunha de menor FS, nos restam como liberdade de dimensionamento os espaçamentos.

A sugestão do presente trabalho é iniciar a análise estabilizando a cunha ativa considerando: comprimento dos grampos na zona ativa x adesão. Com isso, à medida que não se obtém o $FS \geq 1.5$, se reduz o espaçamento até que isto ocorra, obtendo o espaçamento mais adequado.

É recomendável que seja aplicado fator de redução no valor da adesão solo/grampo máxima, tendo como sugestão a minoração de 1.5.

A partir do momento que foi analisada e dimensionada a cunha ativa, passa-se para o dimensionamento da cunha passiva. Nesta etapa os comprimentos a serem considerados para os grampos são os desenvolvidos após a cunha de $FS=1$, da mesma forma que sugerido por Alonso (1996).

É importante lembrar que para análise final para cada grampo deve ser levada em consideração o menor comprimento entre o da cunha ativa (para $FS_{\text{mínimo}}$) e da cunha passiva (para $FS=1$).

O procedimento sugerido pode ser realizado até mesmo em programas de análise de estabilidade de taludes, como Slide 5.0, por exemplo. Para isso, adotam-se comprimentos de grampos excessivamente elevados ($3 \times H$), forçando com que o elo fraco da análise seja a cunha ativa. Ajusta-se o espaçamento dos grampos até que se verifique a estabilização, e então é realizada a otimização da zona ativa com a reavaliação dos comprimentos.

3. PROCESSO DE FELLENIUS MODIFICADO

Como o trabalho sugere análise complementar no Processo de Fellenius Modificado, desenvolvido por Falconi e Alonso, em 1996, é apresentado a seguir um resumo do trabalho desenvolvido.

Inicia-se pela análise de estabilidade sem a presença dos grampos, definido (equação 1):

$$FS_{\text{mín}} = \frac{\sum c_i l_i + \sum (W_{Ni} - u_i l_i) \text{tg} \phi_i}{\sum W_{si}} \quad (1)$$

Com a adição de grampos a equação fica definida (equação 2):

$$FS = \frac{\sum c_i l_i + \sum (W_{Ni} - u_i l_i) \text{tg} \phi_i}{\sum W_{si}} + \frac{\sum T_{\text{tang}_i} + \sum T_{\text{perp}_i} \cdot \text{tg} \phi_i}{\sum W_{si}} \quad (2)$$

Considera-se que os grampos trabalham apenas resistindo a tração. A figura 4 apresenta a divisão de lamelas.

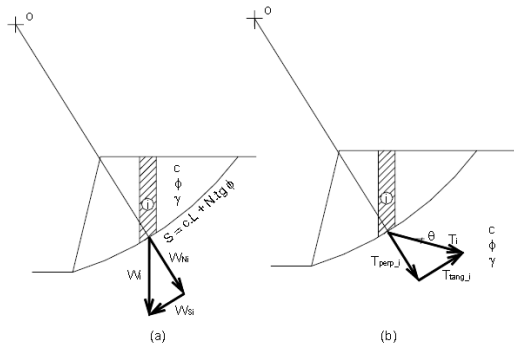


Figura 4: Equilíbrio das lamelas sem grampo (a) e efeito adicional do grampo (b)

4. ANÁLISE DE DOIS CASOS

Os dois casos que serão apresentados foram extraídos do trabalho desenvolvido por Camargo (2005). Nesse trabalho foram apresentadas comparações dos resultados de dimensionamentos de dois casos estudados por seis processos de dimensionamentos diferentes.

4.1 Primeiro Caso

Trata-se de implantação de quatro subsolos de paredes verticais. A escavação possui altura máxima de 12m.

Este caso é de uma obra executada no Hospital Beneficência Portuguesa em São Paulo, com desempenho satisfatório comprovado pelas medições de deslocamentos horizontais e verticais apresentados em Décourt (2003). Os deslocamentos horizontais relativos apresentaram valores entre 0.05% e 0.06%, medidos por inclinômetros.

Os grampos utilizados foram perfurados com 75mm de diâmetro, 15° de inclinação, 10m de comprimento, barra com diâmetro de 20mm de aço CA50, e com pelo menos uma fase de injeção. Os espaçamentos adotados, horizontal e vertical, foram de 1.3m.

Os parâmetros geotécnicos adotados foram: $c'=44\text{kPa}$, $\phi = 14^\circ$ e $\gamma=1.7\text{kN/m}^3$. Os valores de resistência da interface solo/grampo medidos variaram entre 140 e 160kPa. Nas análises foi adotado o valor de 140kPa ou 33kN/m de grampo.

As análises de estabilidade apresentadas na figura 5 sem grampos foram realizadas com o auxílio do Programa Slide 5.0, pelo método de Bishop Simplificado para busca das cunhas de

FSmínimo, FS=1.0 e FS=1.5. Foi adotado solo isotrópico e homogêneo.

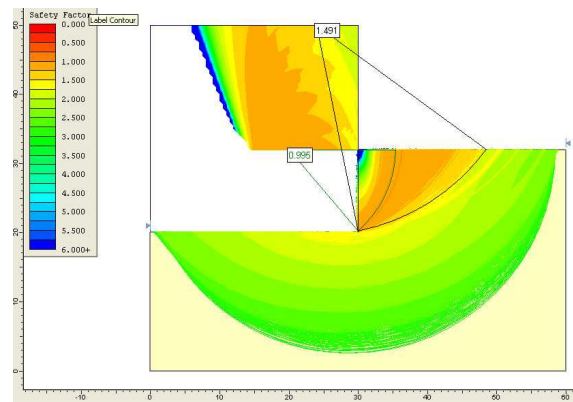


Figura 5: Análise de estabilidade sem os grampos, caso 1

A cunha mais rasa apresentou FS=0.995 e a outra cunha apresentou FS=1.491 (figura 6). Quando analisadas pelo Processo de Fellenius Modificado as cunhas apresentaram FS=1.18 e FS=1.52, ou seja, a cunha de menor FS apresentou valor superior a 1.

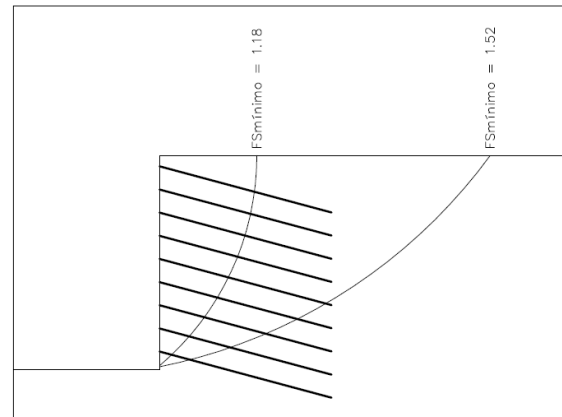


Figura 6: Análise de estabilidade com FS (sem os grampos), e disposição dos grampos, caso 1

Na tabela 1 são mostrados os valores de FS obtidos, mantendo o espaçamento vertical constante igual a 1.3m e variando o espaçamento horizontal entre 1.00 e 1.60m. Na coluna FSativo são mostrados os resultados das análises com os comprimentos na zona ativa, na FS=1passivo com os comprimentos na zona passiva para cunha de FS=1ativo, e na FSLmín com o menor dos comprimentos entre os da zona ativa e passiva para cunha de FS=1.

Tabela 1

Esp. Hor.	FSativo	FS=1 passivo	FSLmín
1.00	1.78	2.70	1.78
1.10	1.73	2.57	1.72
1.20	1.68	2.45	1.68
1.30	1.64	2.35	1.64
1.40	1.61	2.27	1.61
1.50	1.58	2.20	1.58
1.60	1.56	2.13	1.55

Em destaque é apresentado o espaçamento adotado pelo autor do projeto. Verifica-se que o fator de segurança obtido é acima de 1.50, o que pode explicar o bom desempenho observado na obra.

Pelo presente processo os grampos poderiam ser mais espaçados. Entretanto, devido à proximidade com edificações vizinhas sensíveis a deslocamentos (casas antigas, tubulações de serviços públicos) é compreensível ser adotado FS superior a 1.5.

Adotando o espaçamento de 1.30m, o comprimento dos grampos na zona passiva poderiam ser otimizados, limitando-os pela cunha de FS=1.5. Teríamos a conformação da figura 7. Esta otimização na zona passiva não faz parte do objetivo deste trabalho, mas visa abrir espaço para discussões.

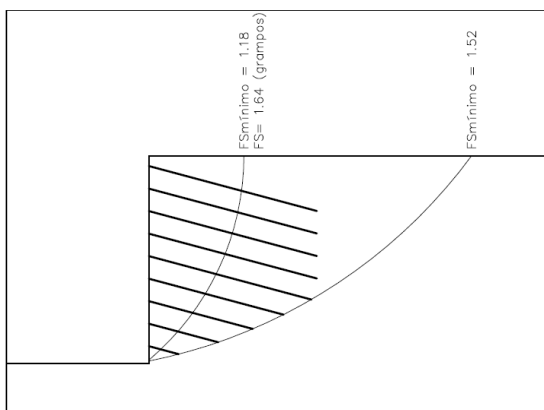


Figura 7: Comprimentos otimizados na zona passiva, com FS=1.64 após colocação dos grampos

4.2 Segundo Caso

Este caso foi um dos apresentados em Juran (1990), com face vertical de 12m de altura.

Os grampos utilizados foram com 100mm de diâmetro, 15° de inclinação, com comprimento unitário adotado de 12m, barra com diâmetro de 25mm. Os espaçamentos adotados, horizontal e vertical, foram de 1.35m.

No trabalho original foi adotado $f_{yk}=168\text{MPa}$, valor que limitaria as análises pela tração máxima resistida pelos grampos, como verificado por Camargo. Como no Brasil utilizamos barras de CA50, as análises não levaram em consideração esta limitação imposta pela análise original de Juran.

Os parâmetros geotécnicos adotados foram: $c'=12\text{kPa}$, $\phi = 35^\circ$ e $\gamma=2.0\text{kN/m}^3$. O valor de resistência da interface solo/grampo adotado foi de 120Pa ou 37.7kN/m de grampo.

Da mesma forma que o caso anterior, as análises de estabilidade sem grampos foram realizadas com o auxílio do Programa Slide 5.0, pelo método de Bishop Simplificado para busca das cunhas de FSmínimo, FS=1.0 e FS=1.5 (figura 8). Foi adotado solo isotrópico e homogêneo.

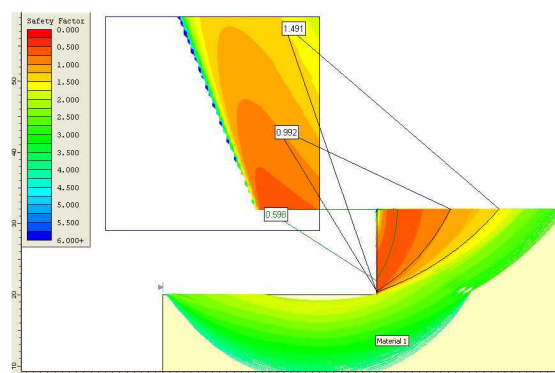


Figura 8: Análise de estabilidade sem os grampos, caso 2

A cunha mais rasa apresentou FS=0.598, a seguinte FS=0.992 e a mais profunda FS=1.491. Quando analisadas pelo Processo de Fellenius Modificado as cunhas apresentaram FS=0.67 e FS=0.98 (figura 9). A cunha com FS=1.5 foi adotada a mesma obtida pelo programa.

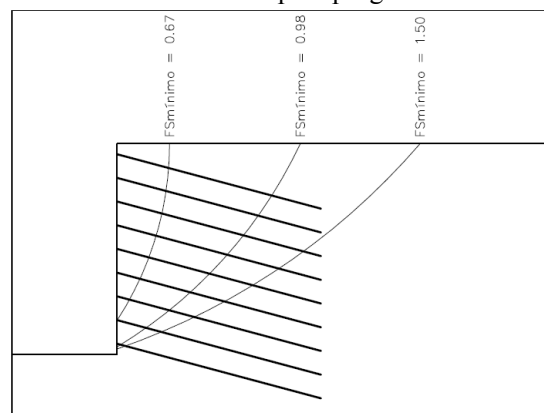


Figura 9: Análise de estabilidade com FS (sem os grampos), e disposição dos grampos, caso 2

Na tabela 2 são mostrados os valores de FS obtidos, mantendo o espaçamento vertical constante igual a 1.35m e variando o espaçamento horizontal entre 1.00 e 1.60m. Na coluna FSativo são mostrados os resultados das análises com os comprimentos na zona ativa, na FS=1ativo os comprimentos na zona ativa para cunha de FS=1, e na FS=1passivo os comprimentos na zona passiva para cunha de FS=1.

Tabela 2

Esp. Hor.	FSativo	FS=1 ativo	FS=1 passivo
1.00	1.66	2.30	3.96
1.10	1.57	2.18	3.69
1.20	1.49	2.08	3.46
1.30	1.43	2.00	3.27
1.35	1.40	1.96	3.19
1.40	1.38	1.93	3.11
1.50	1.33	1.86	2.96
1.60	1.29	1.81	2.84

Verifica-se que para o espaçamento adotado o FSativo obtido foi de 1.40. Com o espaçamento horizontal para 1.2m atingiríamos o FS de aproximadamente 1.50. Nas análises com base na cunha de FS=1, nenhum dos casos apresentaria FS inferior a 1.5.

Os valores de FSLmin não foram apresentados pois são iguais aos de FSativo, devido ao fato do comprimento na zona ativa ser o menor dos comprimentos, entre o da zona ativa e o da passiva. A análise do FSLmin somente teria sentido caso os comprimentos na zona passiva (após a cunha de FS=1.0) fossem inferiores aos da zona ativa, o que não acontece nos dois casos estudados.

A figura 10 apresenta a otimização dos comprimentos, apesar de não ser o objetivo deste trabalho, mostra que com base neste processo não é necessário prolongar os grampos muito além da cunha de FS=1.5.

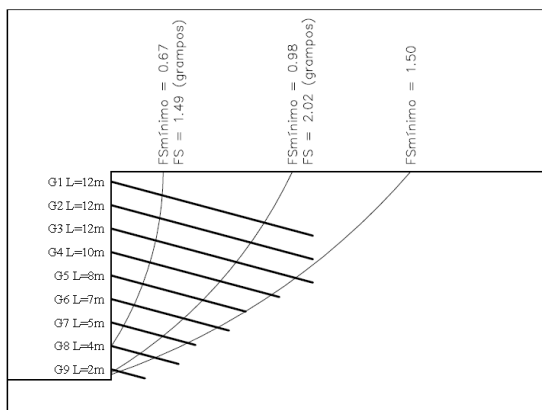


Figura 10: Comprimentos otimizados, caso 2

5. CONCLUSÕES E PROPOSTAS

O trabalho tenta mostrar a importância da análise dos comprimentos dos grampos na zona ativa, tentando evitar: possível desligamento da zona ativa com o grampo, sobrecarga ou exigência demasiada do paramento, FS abaixo do desejado, ou deformações superiores as admissíveis com possíveis trincas em estruturas vizinhas.

Mostra com isso, uma forma de tentar obter os espaçamentos, horizontal e vertical, com base na estabilização da zona ativa, já que esta tem os comprimentos dos grampos limitados pela geometria do paramento e da cunha de FSmínimo.

Para o caso 2, com base no Processo de Fellenius Modificado, Alonso (1996), chegaria-se provavelmente aos mesmos comprimentos apresentados na figura 10, porém sem nenhuma restrição quanto aos espaçamentos horizontais superiores a 1.20m. Tal fato provavelmente não implicaria em ruptura, mas como mostrado, no mínimo não teríamos o $FS \geq 1.5$.

A sugestão aqui proposta pode ser aplicada até mesmo em programas de estabilidade de taludes.

Apesar dos casos aqui estudados apresentarem paramentos verticais, o autor sugere utilizar paramentos com inclinação inferior a 80° . Esta observação é baseada na experiência acumulada até o momento e em concordância ao verificado por Lima et al. (2002) de que os deslocamentos horizontais chegaram a redução de 75% no caso estudado quando o paramento é passado de vertical para uma inclinação de 80° .

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abramento, M. em Hachich et al (1996) Fundações Teoria e Prática, 656-663
- Alonso, U. A. e Falconi, F. F. (1996) Considerações Sobre o Dimensionamento de Uma Estrutura em Solo Grampeado. III Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia,
- Camargo, V. E. L. B. (2005) Comparação de Métodos de Análise de Estruturas de Solo Grampeado, Dissertação de Mestrado – EPUSP, 37-42, 69-97.
- Décourt, L., Zirlis, A. e Caibar, A. P. (2003) Projeto e Comportamento de Escavações Estabilizadas com Solo Grampeado em São Paulo – Solo Grampeado – Projeto, Execução, Instrumentação e Comportamento – Sinduscon – SP, 57-104
- Lima, A. P., Gerscovich, D. M. S. e Sayão, A. S. F. J. (2002) Modelagem Numérica de Escavações Grampeadas. I CLBG – Congresso Luso Brasileiro de Geotecnia, 447-457