

ESTABILIDADE DE UM TALUDE GRAMPEADO SUBMETIDO A SOBRECARGA PROVENIENTE DE TESTE HIDROSTÁTICO CONDUZIDOS EM ESFERAS DE GLP (GÁS LIQUEFEITO DE PETRÓLEO)

STABILITY OF A NAILED SLOPE SUBMITTED BY AN OVERLOAD FROM HYDROSTATIC TEST CARRIED OUT IN LPG SPHERES (LIQUEFIED PETROLEUM GAS)

Paschoalin Filho, João Alexandre; *Universidade Nove de Julho, São Paulo, Brasil, paschoalinfilho@yahoo.com*
Versolatto, Brenno Augusto Marconde; *Geoconceito Engenharia Consultiva, São Paulo, Brasil, brennoversolatto@hotmail.com*
Dias, Antonio José Guerner, *Universidade do Porto, Porto, Portugal, agdias@fc.up.pt*

RESUMO

O presente trabalho apresenta a avaliação da influência à estabilidade de um talude grampeado, pelo carregamento imposto por um teste hidrostático realizado em esferas de GLP (Gás Liquefeito de Petróleo) situadas em uma área industrial próxima a cidade de São Paulo/SP. As esferas possuem diâmetro de 18m e são apoiadas sobre doze tubulões com base alargada de 4m de diâmetro e altura de base de 3,0m. A uma distância de 10m encontra-se um talude reforçado por meio de grampeamento com barras de aço e concreto projetado. A sondagem SPT (*Standard Penetration Test*) mais próxima ao local em estudos indicou a ocorrência de uma camada superior composta por um aterro heterogêneo com espessura de 2,5m, composto por solo argilo-arenoso de granulometria fina a grossa e coloração variando entre marrom escura, vermelha e variegada. Subjacente constata-se presença de camadas residuais compostas por materiais silto-argilosos e silto-arenosos de consistência média a rija e compacidade fofa a medianamente compacta. Para a verificação da influência do carregamento imposto pela carga do ensaio hidrostático no talude grampeado, foram utilizadas metodologias baseadas na Teoria da Elasticidade. Em seguida, para a determinação da estabilidade global do talude grampeado, foi utilizado o programa computacional Slide 6.0 da RocScience. De acordo com as análises efetuadas, pôde-se concluir que o carregamento imposto pelas esferas, devido ao teste hidrostático, não apresentará influência no talude grampeado. Tal fato pode ser explicado em função da distância entre a base das esferas e o talude grampeado, suficiente para permitir a dissipação da tensão aplicada pelo teste.

ABSTRACT

This paper presents the influence of the stability of a nailed slope by the load imposed by a hydrostatic test carried out on LPG (Liquefied Petroleum Gas) spheres located in an industrial area near the city of São Paulo / SP. The spheres have a diameter of 18m and are supported on twelve caissons with a base of 4m in diameter and base height of 3,0m. At a distance of 10m is a reinforced slope by means of nailing with steel bars and projected concrete. The Standard Penetration Test carried out closest to the site in studies indicated the occurrence of an upper layer composed of a heterogeneous landfill with a thickness of 2.5m, composed of clay-sandy soil of fine to gross granulometry and coloring ranging from dark brown, red and variegated. Underlying is the presence of residual layers composed of silt-clayey and silt-sandy materials of medium to hard consistency and soft to medium compact compactness. In order to verify the influence of the load imposed by the test on the nailed slope, methodologies based on Elasticity Theory were used. Then, to determine the stability of the nailed slope, was used the RocScience Slide 6.0 software. According to the analyzes, it was concluded that the loading imposed by the spheres, due to the hydrostatic test, will not influence on the nailed slope. This fact can be explained by the distance between the base of the spheres and the nailed slope, sufficient to allow the dissipation of the tension applied by the test.

1- INTRODUÇÃO

A obra em estudos, objeto desta pesquisa, consiste em três esferas de GLP com diâmetro aproximado de 18m, apoiadas em doze tubulões com base tipo falsa elipse. Os tubulões possuem base com diâmetro de 4m e altura da base alargada de 3m. Acima dos tubulões encontram-se blocos de concreto armado nos quais estão fixadas as esferas.

A uma distância de 10m encontra-se um talude que foi estabilizado por meio da execução de grampeamento com barras de aço e concreto projetado. O talude grampeado possui 6m de altura e 55m de extensão, sendo reforçado por grampos executados em barras de aço CA50 com ϕ 16mm, comprimento

de 6m, instalados em inclinação de 15° com o plano horizontal, com espaçamento entre grampos de 1,5 x 1,5m. Intercalando a linha de grampos foram executados drenos horizontais profundos (DHPs) com 6m de comprimento, compostos por tubos de PVC de $\phi 40\text{mm}$ perfurados e instalados em inclinação de 5° com o plano horizontal. As figuras 2 e 3 apresentam fotografias colhidas no local em estudos. A figura 1 demonstra a disposição dos tubulões na base de cada esfera.

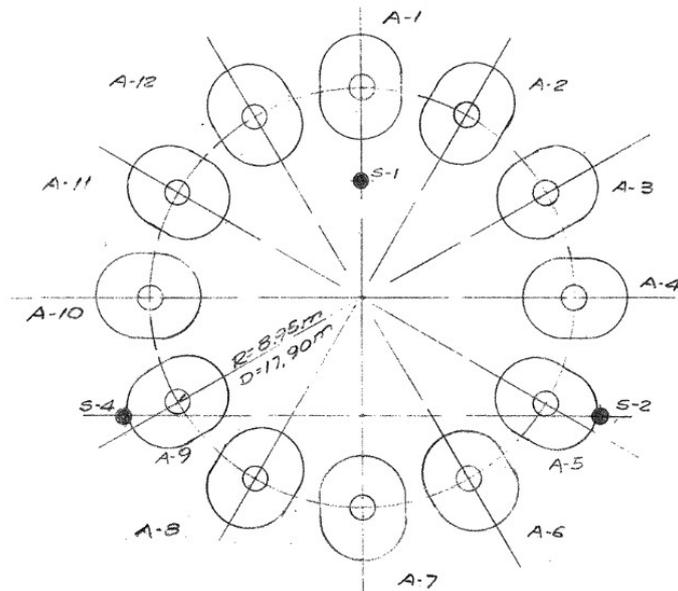


Figura 1. Disposição dos tubulões na base de cada esfera.



Figura 2. Vista geral do local em estudos (notar esferas ao fundo)



Figura 3. Talude estabilizado com solo grampeado próximo às esferas.

2- CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DO LOCAL EM ESTUDOS

A sondagem SP-30, conduzida mais próxima ao local em estudos, indicou a ocorrência de uma camada superficial composta por um aterro heterogêneo com espessura de 2,5m composto por solo argilo-arenoso de granulometria fina a grossa e coloração variando entre marrom escura, vermelha e variegada. Esta camada é caracterizada por apresentar consistência mole e valores de Nspt variando entre 3 e 4 golpes/30cm.

Em seguida, constatou-se a ocorrência de camadas residuais compostas por materiais silto-argilosos e silto-arenosos de consistência média a rija e compactidade fofa a medianamente compacta. Nestes horizontes residuais, os valores de Nspt apresentaram tendência de incremento com a profundidade, variando entre 4 e 26 golpes/30cm. A sondagem SP-30 foi conduzida até aproximadamente 26m de profundidade. O nível de lençol freático foi inferido a 13,2m de profundidade.

3- METODOLOGIA

3.1 Verificação da influência do carregamento das esferas no talude grampeado

Para a verificação da influência do carregamento imposto pelo ensaio hidrostático nas esferas de GLP no talude grampeado, foi considerada a Teoria da Elasticidade, a qual é comumente utilizada pelo meio geotécnico na estimativa da influência de tensões impostas na superfície do terreno no interior da massa de solos. De acordo com o projeto de fundações das esferas, a carga máxima a ser imposta pelo ensaio hidrostático, por coluna da esfera, é de 3160kN.

A seguir são apresentadas as duas metodologias utilizadas, baseadas na Teoria da Elasticidade, para a verificação da influência do carregamento das esferas no talude grampeado.

3.1.1 Modelo de espraiamento de tensões no solo

Uma prática corrente no meio técnico consiste em estimar o valor das tensões, a uma certa profundidade, considerando que estas se dissipam no maciço segundo áreas crescentes, mas sempre se mantendo uniformemente distribuídas tal como o modelo apresentado na figura 4.

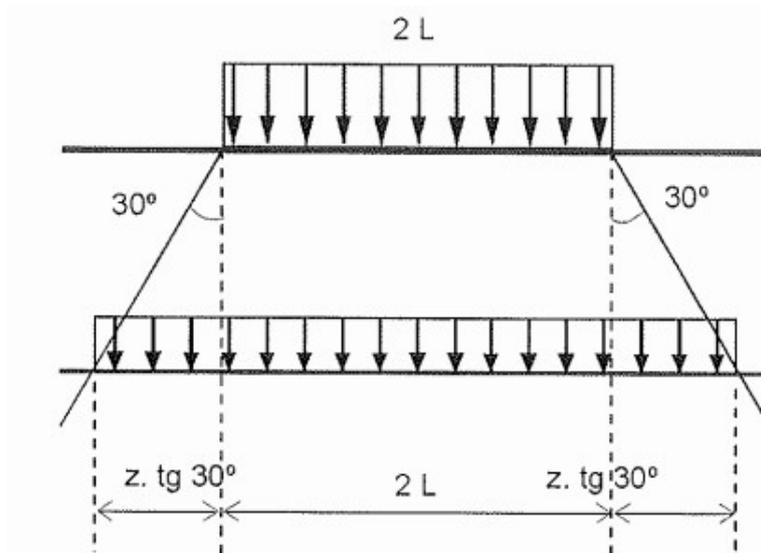


Figura 4. Modelo de espraio de tensões verticais. Fonte: Souza Pinto (2006).

A tensão vertical em uma determinada profundidade pode ser calculada por meio da equação [1]

$$\sigma_v = \frac{2.L}{2.L+2.z.tg30^\circ} \cdot \sigma_0 \quad [1]$$

Para análise do espraio da tensão no solo será considerado que, para tubulões, a profundidade do bulbo de tensões equivale a $z=2D$, assim, será adotada uma profundidade de bulbo de tensões de 8m a partir da base do tubulão ($D=4m$). A figura 5 demonstra um croqui ilustrativo da geometria considerada nas análises.

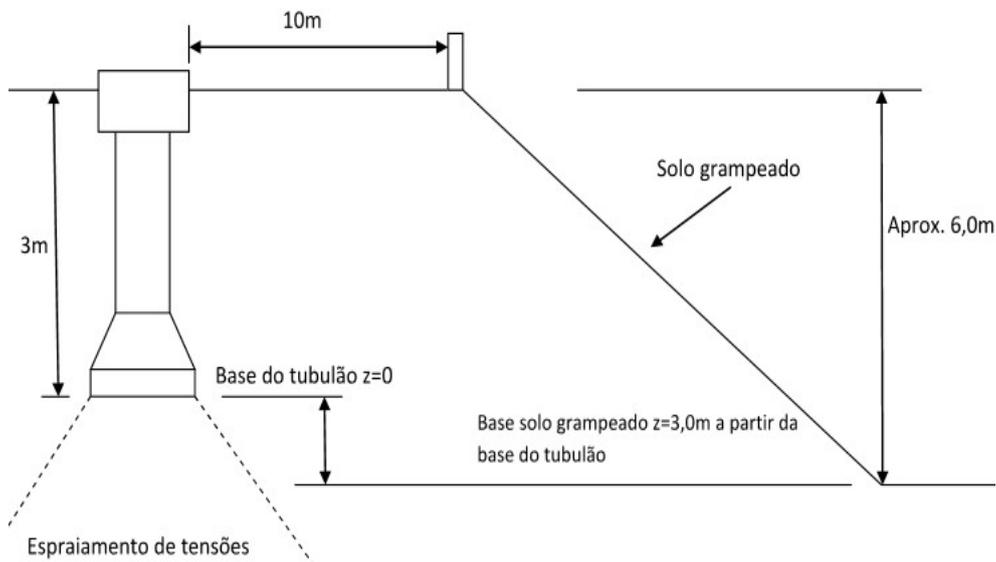


Figura 5. Geometria considerada nas análises.

3.1.2 Estimativa do espraio por meio de gráfico baseado na equação de Love (1929)

Como já citado anteriormente será adotado o valor do diâmetro equivalente da base do tubulão para se avaliar a profundidade do bulbo de tensões. Para tal foi utilizado o ábaco apresentado na figura 6, baseado na equação de Love (1929); obtida a partir da integração da solução de Boussinesq, a qual permite o cálculo do acréscimo de tensão vertical de uma carga uniformemente distribuída aplicada sobre uma placa circular.

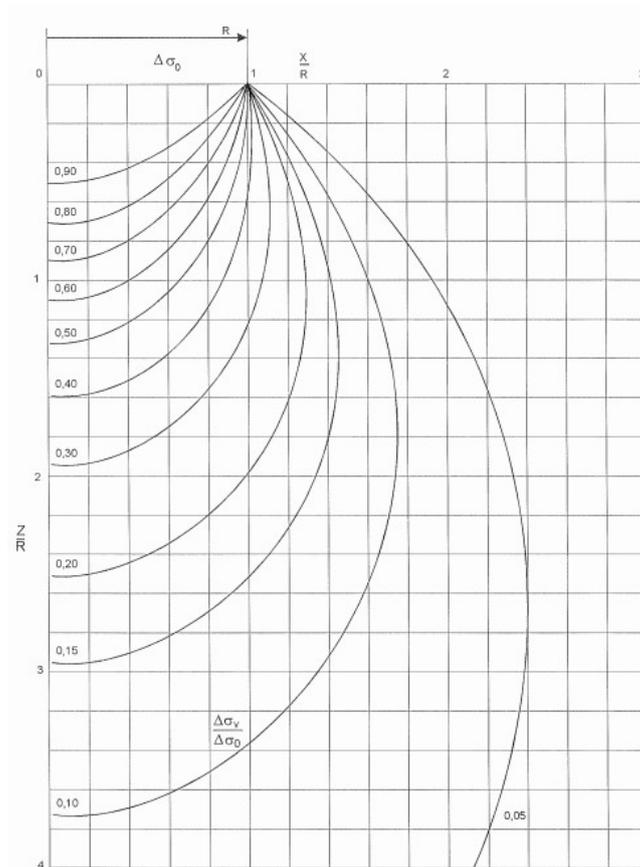


Figura 6. Tensões verticais induzidas por carga uniformemente distribuída em placa circular. Fonte: Souza Pinto (2006)

3.2 Análise de estabilidade do talude grampeado

A análise de estabilidade foi conduzida utilizando-se o Método de Bishop Simplificado, o qual, segundo Massad (2003), assume durante a ruptura, o deslocamento de uma massa de solo orientada por uma superfície circular. A análise foi realizada por meio do programa computacional Slide 6.0 da RocScience. A adoção dos parâmetros geotécnicos de resistência ao cisalhamento do subsolo local foi fundamentada na análise dos resultados das sondagens de percussão, classificação tátil-visual dos materiais indicados nos boletins, e ensaios de compressão triaxial tipo adensado rápido "CU" conduzidos em amostras indeformadas colhidas "in situ". Os parâmetros de resistência e os pesos específicos são apresentados na tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros geotécnicos utilizados.

Cor	Material	γ (kN/m ³)	c (kPa)	ϕ (°)
	Aterro novo	18	7	23
	Aterro existente	18	12	25
	Silte arenoso (solo residual)	18	15	26

A análise de estabilidade foi orientada de acordo com as recomendações da ABNT NBR 11.682/2009 – "Estabilidade de Encostas", a qual traz a indicação dos Fatores de Segurança mínimos a serem obtidos de acordo com as especificidades locais. A tabela 2 apresenta os requisitos considerados pela norma na determinação do Fator de Segurança mínimo a ser alcançado.

Tabela 2. Fatores de segurança mínimos para deslizamentos.

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

Fonte: ABNT NBR 11.682/2009 – “Estabilidade de Encostas”

Dessa forma, por se considerar o local em estudos como de médio risco de perda de vidas humanas e de alto potencial de danos ambientais e materiais, o fator de segurança mínimo a ser inferido para a solução de grampeamento do talude deverá ser de **1,5**.

3.3 Estimativa de parâmetros do talude grampeado

Uma vez que não havia memorial de cálculo do grampeamento do talude, foi necessária a estimativa da adesão solo/grampo, a qual foi baseada nos valores de atrito unitários sugeridos nos trabalhos de Ortigão e Palmeira (1997) e Ortigão (1997), onde os autores propõem correlações matemáticas com valores de N_{spt} (N). As correlações utilizadas são apresentadas a seguir:

Ortigão e Palmeira (1997)

$$q_s = 67 + 60 \times \ln(N) \text{ kPa} \quad [2]$$

Ortigão (1997)

$$q_s = 50 + 7,5(N_{spt}) \text{ kPa} \quad [3]$$

A adesão por metro de grampo foi calculada de acordo com a equação seguinte:

$$Q = \pi \times D \times q_s \quad [4]$$

Para o reforço do talude, foram utilizados grampos metálicos com 16mm de diâmetro. Assim, a carga máxima suportada pelo grampo foi estimada segundo as recomendações da Norma ABNT NBR 5629/2006 – “Execução de tirantes ancorados no terreno”, por meio das seguintes equações:

$$\sigma_{adm} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \times 0,9 \quad [5]$$

$$S_{aço} = \frac{\pi D^2}{4} \quad [6]$$

$$T_{MÁX} = \sigma_{adm} \times S_{aço} \quad [7]$$

4- RESULTADOS OBTIDOS

4.1 Modelo de espraiamento de tensões no solo

Considerando o carregamento imposto pelas esferas em cada tubulão (3160kN) e a sua geometria tem-se:

$$\begin{aligned} \sigma_{base} &= P/\text{Área} \\ \sigma_{base} &= 3160\text{kN}/12,5\text{m}^2 \\ \sigma_{base} &= 253\text{kPa} \end{aligned}$$

A figura 7 demonstra a variação da tensão vertical aplicada a partir da base do tubulão. A figura 8 apresenta a distância horizontal do espraiamento da tensão aplicada.

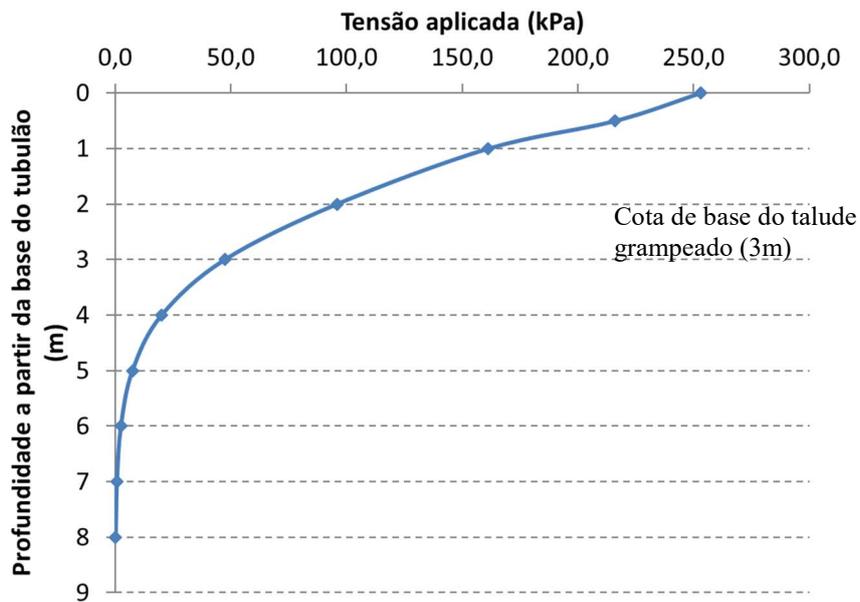


Figura 7. Espraiamento da tensão vertical aplicada

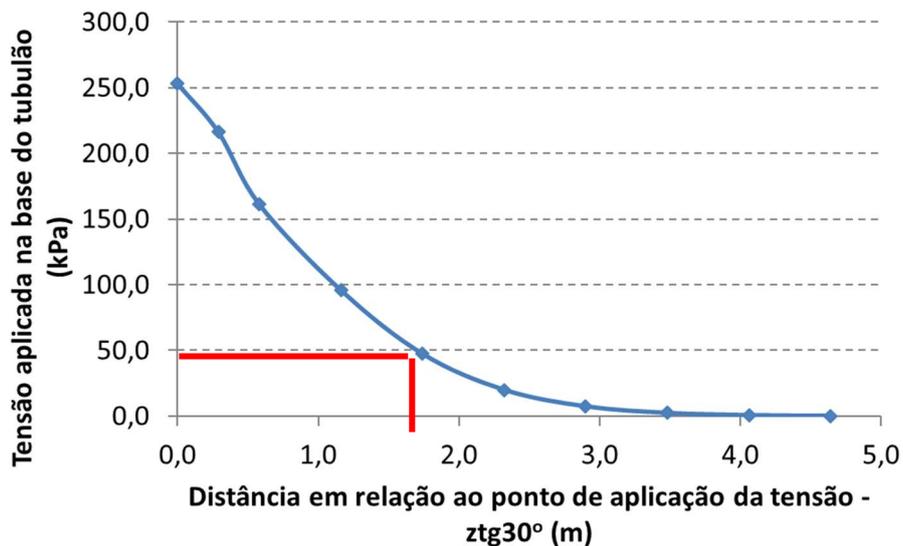


Figura 8. Distância horizontal de espraiamento de tensões a partir da base do tubulão

Por meio das figuras 7 e 8 apresentadas pode-se notar que, assumindo-se profundidade de assentamento do tubulão equivalente a 3m, referente a altura da base alargada e, considerando-se uma profundidade de 8m, equivalente a 2D (profundidade do bulbo de tensões), que as tensões impostas na cota de base do tubulão ($z=0$) irão apresentar decréscimo com a profundidade em função do fenômeno de espraiamento. Ao considerar que a contenção possui altura máxima de 6m, pode-se situar sua base na cota $z=3,0m$, conforme se representa na figura 5.

Dessa forma, verifica-se que a magnitude da tensão aplicada é bem pequena em relação a inicial, ou seja, apenas 20%, bem como a distância horizontal, considerando-se ângulo de espraiamento de 30° , sendo apenas 1,7m. Ademais, constata-se por meio da figura 8 que a partir de uma distância de 3,5m, praticamente não há influência da tensão aplicada pelas esferas.

4.2 Estimativa por meio do gráfico baseado na equação de Love (1929)

Considerando-se o gráfico apresentado na figura 6 tem-se que:

$$R = Deq \times 0,5 = 2,0m$$

[8]

Onde:

X =distância horizontal entre o centro da base do tubo e a contenção.

Z =da isóbara a partir da base do tubo.

Dessa forma, observa-se que a máxima distância horizontal a partir do eixo da base do tubo que poderia causar qualquer influência em relação à tensão aplicada pelo teste hidrostático corresponderia a:

$$X/R=2,20$$

$$\text{Assim: } X=2,0 \times 1,70=3,4\text{m}$$

Deve-se também ressaltar que o solo tende a sofrer influência do carregamento do tubo até um estado de tensões em que a tensão dissipada ($\Delta\sigma_v$) seja equivalente a 10% da tensão aplicada na base do tubo, ou seja $\Delta\sigma_v / \Delta\sigma_o=0,1$. Dessa forma, pode-se verificar por meio do ábaco apresentado que:

$$Z/R=3,70$$

$$\text{Assim: } Z=3,75 \times 2,0=7,5\text{m}$$

Portanto, por meio do ábaco apresentado na figura 6, pode-se perceber que as distâncias horizontal e vertical correspondentes a $\Delta\sigma_v / \Delta\sigma_o=0,1$, ou seja, em que se esperaria qualquer influência do carregamento das esferas no maciço, será de 7,5m e 3,4m respectivamente, bem inferiores à distância entre a base dos tubos e o maciço grampeado (10m).

4.3 Análise de estabilidade do talude grampeado

A tabela 4 demonstra os valores obtidos por meio das equações [2], [3] e [4]:

Tabela 4. Valores de Q obtidos			
q_s^*	q_s^{**}	Q^*	Q^{**}
133kPa	72,5kPa	37,6kN/m	21kN/m

* Determinado a partir de Ortigão e Palmeira (1997)

** Determinado a partir de Ortigão (1997)

Dessa forma, pode-se assumir um valor médio de $Q=29\text{kN/m}$ ($sd=12,1\text{kN/m}$). No entanto, em função da heterogeneidade da camada de aterro e falta de informações adicionais para os estudos, considerou-se na análise de estabilidade $Q=21\text{kN/m}$ e que os grampos irão trabalhar com 50% da adesão estimada, assim foi adotada adesão solo/grampo= 11kN/m . Assumindo as equações (5) a (7) determinou-se que: $T_{\text{máx}}=66,5\text{kN}$.

Considerando-se os parâmetros geotécnicos apresentados na tabela 1 e as características determinadas para os grampos, conduziu-se análise de estabilidade apresentada na figura 9. Adicionalmente ao carregamento previsto para o solo de fundação na base dos tubos, foi adotado carregamento uniformemente distribuído de 20kN/m^2 ao longo da projeção da esfera.

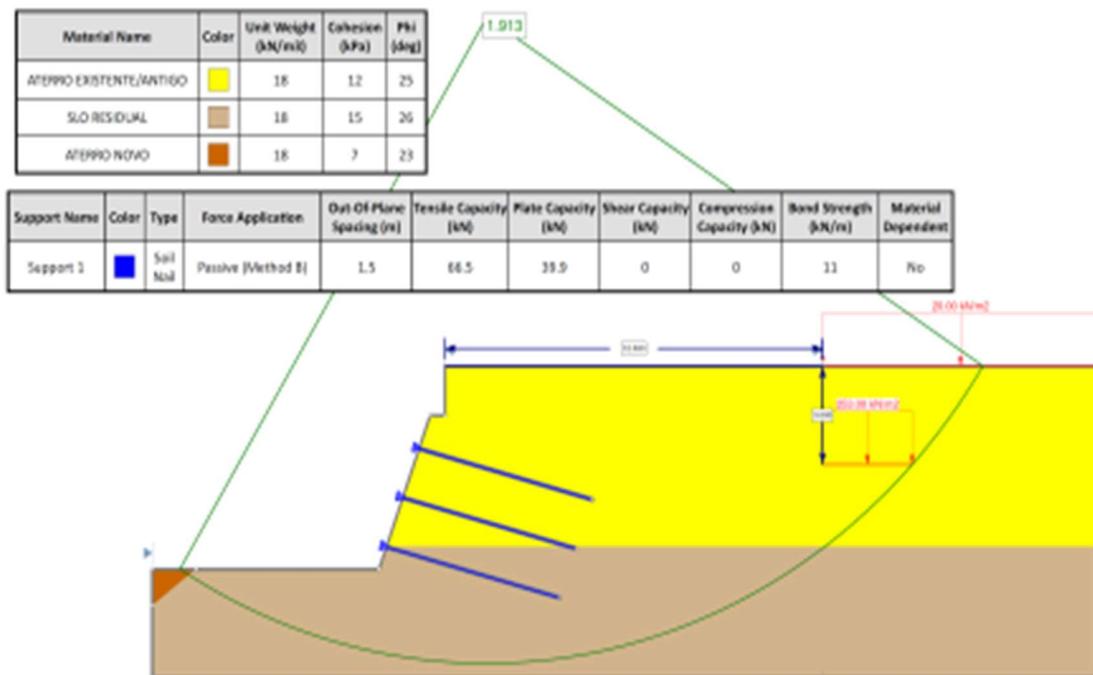


Figura 9. Análise de estabilidade global conduzida considerando sobrecarga de 20kPa. FS=1,91.

Dessa forma, por meio da figura 9, pode-se verificar que, mesmo considerando-se um carregamento distribuído adicional na superfície do terreno além do carregamento imposto pelo teste hidrostático na base do tubulão, que o talude em solo grampeado, de forma global, não apresenta instabilidade, sendo o fator de segurança obtido superior ao mínimo estipulado pela ABNT NBT 11.682/2009 (FS=1,5).

5- CONCLUSÕES

De acordo com as análises efetuadas, pode-se assumir que o carregamento imposto pelas esferas, devido ao teste hidrostático, não apresentará influência na estabilidade do talude grampeado. Tal fato pode ser explicado em função da distância entre a base das esferas e o talude grampeado, suficientemente espaçada para ocasionar o espraiamento e dissipação satisfatórios da tensão aplicada.

A análise de estabilidade apresentada possuiu por finalidade verificar se o carregamento aplicado pelas esferas causariam influência na estabilidade global da contenção. Por meio desta foi constatado que o talude em estudos não apresentará problemas em relação a sua estabilidade.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio dado pela Universidade Nove de Julho/SP, pela Geoconceito Engenharia Consultiva/SP e Universidade do Porto.

REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT:NBR 5629 – *Execução de tirantes ancorados no terreno*. Rio de Janeiro. 2006.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT:NBR 11.682 – *Estabilidade de encostas*. Rio de Janeiro. 2009.
- Massad, F. (2003) *Obras de Terra - Curso básico de geotecnia*. Ed. Oficina de Textos, São Paulo.
- Ortigão, J.A.R. (1997) Ensaio de arrancamento para projetos de solo grampeado. Nota técnica, Revista Solos e Rochas, Vol. 20, n.1, p39-43.
- Ortigão, J.A.R. (1997) *Ensaio de arrancamento para projetos de solo grampeado*. Nota técnica, Revista Solos e Rochas, Vol. 20, n.1, p39-43.
- Ortigão, J.A.R., Palmeira, E.M. (1997) *Optimised Design for Soil Nailed Walls*, In: 3rd Int. Conf. on Ground Improvement Geosystems, 1997, London, Telford, p. 368-374.

Souza Pinto, C. (2006) *Curso Básico de Mecânica dos Solos*. Ed Oficina de Textos. São Paulo.