

Contenção de Encostas com Uso de Tirantes: Estudo de Caso

Daniela Carvalho dos Santos

Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, Brasil, daniela@maua.br

Isabella Vargas Ortiz Picazo Montanari

Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, Brasil, isabella.picazo@gmail.com

Sabrina Helene Pereira

Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, Brasil, sabrinahelene@gmail.com

Fernando Luiz Lavoie

Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, Brasil, fernando.lavoie@maua.br

José Orlando Avesani Neto

Geosoluções, São Paulo, Brasil, avesani.neto@geosolucoes.com

RESUMO: A escolha da contenção a ser executada em uma encosta deve levar em conta alguns aspectos, dentre eles: tipo de solo, dimensões da encosta, eficácia da técnica escolhida e principalmente o custo. Este trabalho de graduação apresenta o dimensionamento geotécnico de uma contenção feita com uma cortina atirantada no trecho Norte da obra do Rodoanel Mário Covas, na região metropolitana de São Paulo-SP, mostrando o passo a passo dos cálculos necessários, a análise de estabilidade global e um estudo comparativo usando outro solo com parâmetros diferentes, um solo argiloso. O cálculo da estabilidade, feito pelo método de Culmann, e a determinação dos comprimentos livres e ancorados dos tirantes, feitos, respectivamente, pelos métodos de Ostermayer e Joppert Junior, resultaram em valores viáveis e com um fator de segurança acima do recomendado pela norma brasileira de estabilidade de encostas. A análise da estabilidade global comprovou a segurança da estrutura calculada. Na parametrização realizada, os valores determinados para o solo argiloso não atendiam ao fator de segurança global crítico, tornando necessário o aumento do comprimento livre dos tirantes. Os resultados referentes ao solo argiloso apresentaram um cenário um pouco mais crítico, com um comprimento ancorado 18% maior e um comprimento livre 84% maior (em média) do que os valores do solo original da obra, o que não inviabiliza a solução empregada de estabilização com uso de tirantes, mas a deixa mais onerosa. O número de tirantes dimensionado para o solo argiloso seria 15% maior do que a quantidade determinada para o solo da obra. Multiplicando os comprimentos livres encontrados pelo número de tirantes, notou-se que a metragem total de tirante no solo argiloso seria 56% maior. Por fim, foi feita uma comparação com os valores de comprimento médio dos tirantes dividido pela altura do talude (L/H), chegando a um valor médio de 0,99 para o solo da obra e 1,26 para o solo argiloso, reforçando, portanto, que o custo para a execução de uma cortina atirantada em solo argiloso seria maior do que no solo atual da obra.

PALAVRAS-CHAVE: Encostas, Tirantes, Dimensionamento, Rodoanel Mário Covas.

1 INTRODUÇÃO

A paisagem do nosso planeta está em constante mudança e as causas podem ser geológicas,

climáticas, biológicas e até antrópicas. Algumas dessas mudanças levam milhares de anos para ocorrer, outras são rápidas o suficiente para serem percebidas na escala da vida humana,

estas, em geral, são as que mais a afetam.

O homem, através dos tempos, vem se constituindo em um importante agente modificador do meio ambiente, interferindo em seu equilíbrio, potencializando e acelerando diversos processos de dinâmica superficial (Cunha, 1991).

Nas encostas, estas interferências tornam-se extremamente importantes, devido à propensão destas aos movimentos gravitacionais de massa e processos erosivos. Conhecer a causa do problema na encosta, de origem antrópica ou não, é a melhor maneira de chegar à melhor solução para cada caso.

Há diversas maneiras de realizar a contenção de uma encosta. As soluções mais simples, não exigem mão de obra especializada e usam materiais corriqueiros da construção civil, mas algumas demandam vasto conhecimento técnico e até equipamentos mais sofisticados. A escolha da contenção a ser executada deve levar em conta alguns aspectos, dentre eles: tipo de solo, dimensões da encosta, eficácia da técnica escolhida e principalmente o custo.

É importante ter em mente que as obras de contenção não podem ser apenas intervenções pontuais. A encosta tem que ser tratada como um todo, para que a solução proposta não perca sua eficácia em pouco tempo, chegando às vezes a serem destruídas, por falta de harmonia com o restante da área.

Só com o conhecimento dos solos e dos mecanismos dos escorregamentos será possível projetar obras seguras, com a preservação do meio ambiente, inclusive no que se refere à erosão, que é um dos maiores males que se pode causar à natureza (Massad, 2003).

2 CARACTERÍSTICAS DA OBRA

2.1 Introdução

De acordo com a Desenvolvimento Rodoviário S/A (DERSA), o projeto do Rodoanel trecho Norte possui 44 km de extensão, além de 3,6 km que faz a ligação com o Aeroporto Internacional de Guarulhos. Este trecho da rodovia ligará os municípios de São Paulo, Guarulhos e Arujá e estima-se que 17000 veículos deixarão de circular pela Marginal

Tietê todos os dias, cerca de 23% do tráfego diário local.

Entre os benefícios desta obra, podem-se citar o desvio e distribuição do tráfego de caminhões para o entorno da região metropolitana de São Paulo, melhorando o fluxo nas marginais e o trânsito, além de permitir o acesso mais rápido ao Porto de Santos. A Figura 1 apresenta a extensão e municípios de interligação.

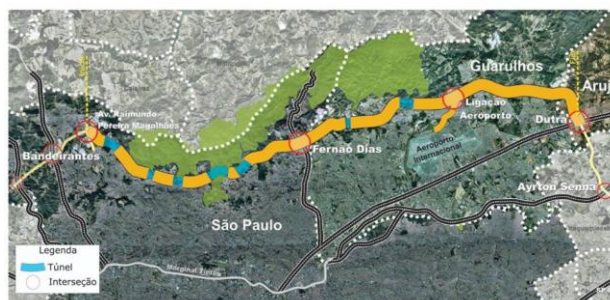


Figura 1. Extensão do Rodoanel Trecho Norte (Dersa, 2015).

Por encontrar-se em uma área urbana, densamente povoada, teve relevante impacto social, retirando aproximadamente 1500 famílias do local. Por estar na Serra da Cantareira, também realiza grande impacto ambiental, sendo necessário contar com uma equipe de biólogos, veterinários e engenheiros ambientais.

Dentre as diversas intervenções realizadas ao longo do trecho em construção nesta obra, o presente artigo apresenta o dimensionamento de uma contenção em uma encosta (Figuras 2, 3 e 4).



Figura 2. Contenção executada em uma Encosta no Trecho Norte do Rodoanel Mário Covas.



Figura 3. Processo de Perfuração do Solo para a Instalação do Tirante.



Figura 4. Processo de Protensão do Tirante.

2.2 Parâmetros Utilizados

A cortina atirantada dimensionada tem um comprimento de 138,2 metros. A altura varia de 10 a 25 metros ao longo do comprimento e por esse motivo a cortina foi dividida em 6 trechos que foram calculados separadamente. A especificação dos trechos de cálculo está na Figura 5.

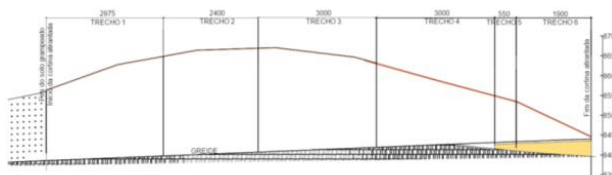


Figura 5. Croqui do Trecho da Encosta Dimensionada.

A Tabela 1 apresenta os valores de altura para cada trecho dimensionado.

Tabela 1. Alturas dos Trechos de 1 a 6.

Trecho	H (m)
1	24,13
2	24,42
3	24,58
4	19,50
5	11,50
6	10,07

Os parâmetros geotécnicos do solo utilizados para o dimensionamento estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros Geotécnicos do Solo da Obra.

Sobrecarga (q) (kPa)	γ_n (kN/m ³)	c (kPa)	φ (°)	N _{spt}
20	18	20	29	15

3 METODOLOGIA UTILIZADA PARA O DIMENSIONAMENTO DA CONTENÇÃO

A análise de estabilidade de taludes foi feita pelo método de Culmann, que tem como hipótese básica a ruptura planar passando pelo pé do talude. Este método produz resultados aceitáveis para taludes aproximadamente verticais (entre 75° e 90°) (Dutra, 2013).

As variáveis utilizadas no cálculo da estabilidade de taludes pelo método de Culmann estão especificadas na Figura 6.

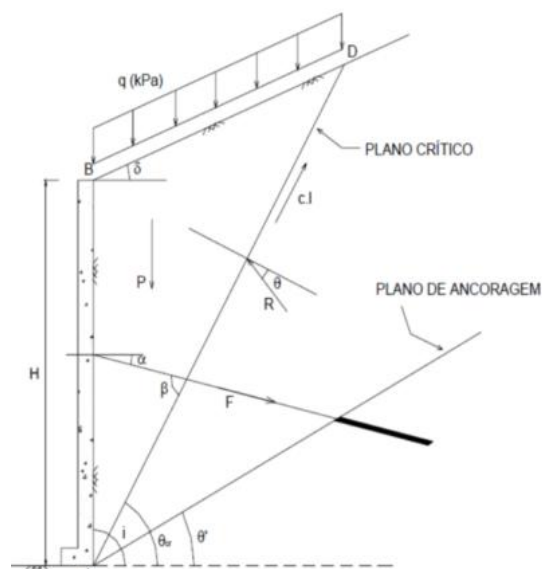


Figura 6. Forças que Atuam no Solo pelo Método de Culmann (Rodrigues, 2011).

Foram adotados o espaçamento horizontal

entre tirantes ($e=3,0$ m) e o tipo de tirante utilizado (RocSolo ST 75/85 com diâmetro de 41 mm e uma carga de trabalho de 510 kN) para a obtenção do número de tirantes necessários (N) em cada trecho dimensionado.

A capacidade de carga da ancoragem dos tirantes foi estimada de acordo com o método de Joppert Junior (2007), multiplicando-se o valor encontrado pelo fator de segurança (1,75 para tirantes permanentes), de acordo com a ABNT NBR 5629, para a obtenção do comprimento ancorado dos tirantes (L_{anc}).

O valor do comprimento livre dos tirantes (L_{livre}) foi calculado geometricamente, seguindo algumas restrições e recomendações ilustradas na figura 7 e incluem:

- A profundidade dos bulbos deve ser no mínimo 5m abaixo da superfície;
- O espaçamento mínimo entre bulbos deve ser de 1,5m de modo a minimizar a interferência entre ancoragens, ocasionando eventuais reduções da capacidade de carga do grupo de ancoragens;
- O comprimento livre não deve ser menor do que 5,0 a 6,0m, não ocasionando aumentos da pressão de contato sobre a cortina;
- É aconselhado que o comprimento ancorado não seja menor do que 3,0m.

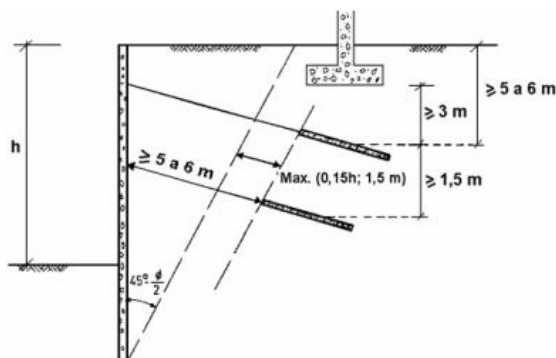


Figura 7. Aspecto do Dimensionamento de Tirantes (Ostermayer, 1976).

Por fim, foi realizada a análise da estabilidade global do talude em estudo, garantindo a segurança do mesmo. A estabilidade foi analisada separadamente para os diferentes trechos definidos em projeto, por meio do software computacional Slide, do

grupo RocScience. As análises foram realizadas pelo método de Bishop Simplificado.

4 PARAMETRIZAÇÃO

O solo da obra utilizado para a análise e dimensionamento foi o silte argiloso com um pouco de areia. Neste trabalho, foi realizado um estudo da influência que o solo exerce sobre o dimensionamento dos tirantes. Para tal, foi feito um novo estudo para um solo diferente (argiloso) variando o valor do peso específico (γ_n), coesão (c) e ângulo de atrito (ϕ).

A Tabela 3 apresenta os valores propostos de peso específico natural, coesão e ângulo de atrito para os solos a serem estudados.

Tabela 3. Características Geotécnicas dos Solos da Parametrização.

Tipo de Solo	γ_n (kN/m ³)	c (kPa)	ϕ (°)
Obra	18	20	29
Argiloso	17	25	25

5 RESULTADOS

5.1 Dimensionamento dos Tirantes com o Solo da Obra

5.1.1 Cálculo do Número e Comprimento Ancorado dos Tirantes

A Tabela 4 apresenta os resultados do dimensionamento dos tirantes nos trechos de 1 a 6, variando de acordo com a altura de cada trecho.

Tabela 4. Análise de Estabilidade para os Trechos 1 a 6.

Trecho	F (kN/m)	N	R_{rup} (kN)	L_{anc} (m)
1	1.839,35	11	892,50	4,97
2	1.887,50	11	892,50	4,97
3	1.913,22	11	892,50	4,97
4	1.161,12	7	892,50	4,97
5	352,88	2	892,50	4,97
6	256,74	2	892,50	4,97

Em que:

F: Força de Protensão para Atingir o FS=1,5;

N: Número de Tirantes na Vertical;

R_{rup} : Carga de Ruptura do Tirante;

L_{anc} : Comprimento do Bulbo de Ancoragem.

5.1.2 Cálculo do Comprimento Livre dos Tirantes

A Figura 8 mostra o detalhamento do comprimento dos tirantes para o trecho 1, atendendo as especificações de Ostermayer (1976), sendo o comprimento ancorado 4,97m e o comprimento livre medido individualmente e apresentado na Tabela 5.

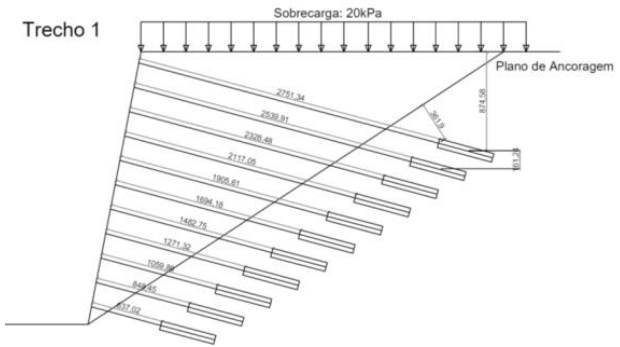


Figura 8. Geometria dos Tirantes no Trecho 1.

Tabela 5. Comprimento Livre, Ancorado e Total dos Tirantes no Trecho 1.

Nº do Tirante	L _{livre} (m)	L _{anc} (m)	L _{total} (m)
1	27,51	4,97	32,48
2	25,40	4,97	30,37
3	23,28	4,97	28,25
4	21,17	4,97	26,14
5	19,06	4,97	24,03
6	16,94	4,97	21,91
7	14,83	4,97	19,80
8	12,71	4,97	17,68
9	10,60	4,97	15,57
10	8,48	4,97	13,45
11	6,37	4,97	11,34

A Figura 9 mostra o detalhamento do comprimento dos tirantes para o trecho 2, sendo o comprimento ancorado 4,97m e o comprimento livre medido individualmente e apresentado na Tabela 6.

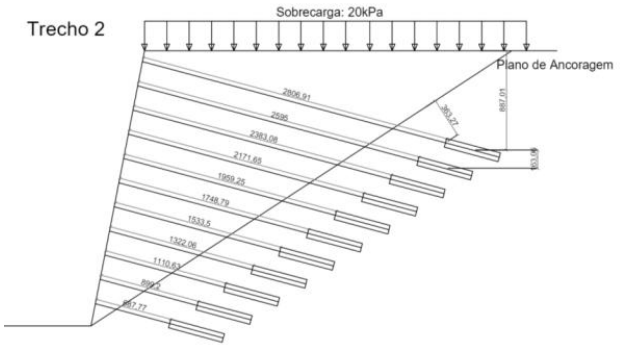


Figura 9. Geometria dos Tirantes no Trecho 2.

Tabela 6. Comprimento Livre, Ancorado e Total dos Tirantes no Trecho 2.

Nº do Tirante	L _{livre} (m)	L _{anc} (m)	L _{total} (m)
1	28,07	4,97	33,04
2	25,95	4,97	30,92
3	23,83	4,97	28,80
4	21,72	4,97	26,69
5	19,59	4,97	24,56
6	17,49	4,97	22,46
7	15,33	4,97	20,30
8	13,22	4,97	18,19
9	11,11	4,97	16,08
10	8,99	4,97	13,96
11	6,88	4,97	11,85

A Figura 10 mostra o detalhamento do comprimento dos tirantes para o trecho 3, sendo o comprimento ancorado 4,97m e o comprimento livre medido individualmente e apresentado na Tabela 7.

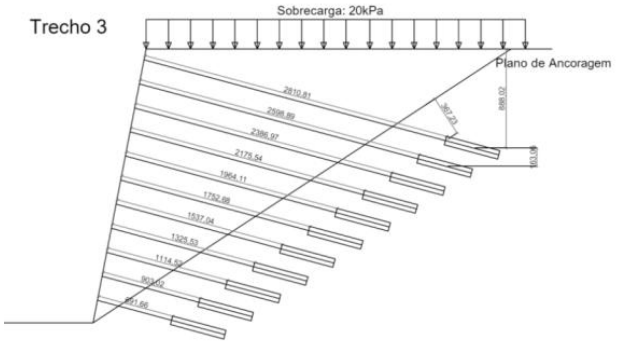


Figura 10. Geometria dos Tirantes no Trecho 3.

Tabela 7. Comprimento Livre, Ancorado e Total dos Tirantes no Trecho 3.

Nº do Tirante	L _{livre} (m)	L _{anc} (m)	L _{total} (m)
1	28,11	4,97	33,08
2	25,99	4,97	30,96
3	23,87	4,97	28,84
4	21,76	4,97	26,73
5	19,64	4,97	24,61
6	17,53	4,97	22,50
7	15,37	4,97	20,34
8	13,25	4,97	18,22
9	11,15	4,97	16,12
10	9,03	4,97	14,0
11	6,92	4,97	11,89

A Figura 11 mostra o detalhamento do comprimento dos tirantes para o trecho 4, sendo o comprimento ancorado 4,97m e o comprimento livre medido individualmente e apresentado na Tabela 8.

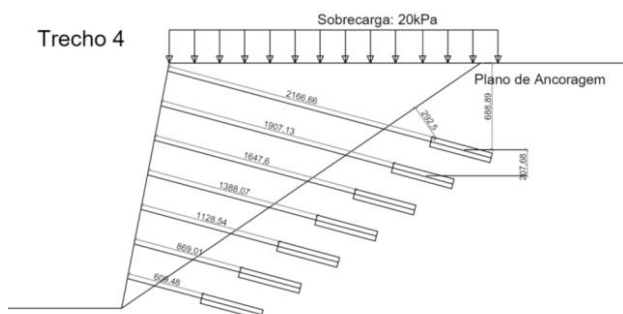


Figura 11. Geometria dos Tirantes no Trecho 4.

Tabela 8. Comprimento Livre, Ancorado e Total dos Tirantes no Trecho 4.

Nº do Tirante	L _{livre} (m)	L _{anc} (m)	L _{total} (m)
1	21,67	4,97	26,64
2	19,07	4,97	24,04
3	16,47	4,97	21,44
4	13,88	4,97	18,85
5	11,29	4,97	16,26
6	8,69	4,97	13,66
7	6,09	4,97	11,06

A Figura 12 mostra o detalhamento do comprimento dos tirantes para o trecho 5, sendo o comprimento ancorado 4,97m e o comprimento livre medido individualmente e apresentado na Tabela 9.

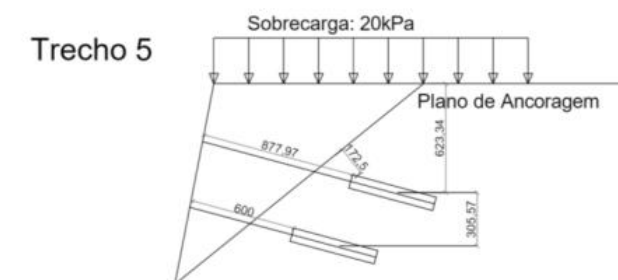


Figura 12. Geometria dos Tirantes no Trecho 5.

Tabela 9. Comprimento Livre, Ancorado e Total dos Tirantes no Trecho 5.

Nº do Tirante	L _{livre} (m)	L _{anc} (m)	L _{total} (m)
1	8,78	4,97	13,75
2	6,0	4,97	10,97

A Figura 13 mostra o detalhamento do comprimento dos tirantes para o trecho 6, sendo o comprimento ancorado 4,97m e o comprimento livre medido individualmente e apresentado na Tabela 10.

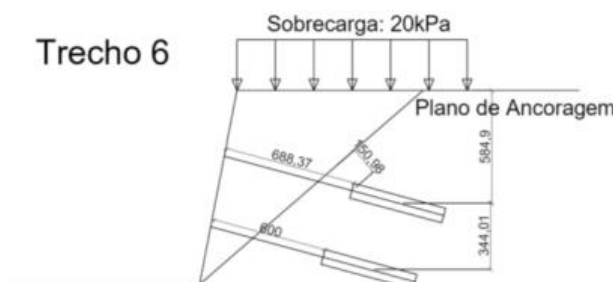


Figura 13. Geometria dos Tirantes no Trecho 6.

Tabela 10. Comprimento Livre, Ancorado e Total dos Tirantes no Trecho 6.

Nº do Tirante	L _{livre} (m)	L _{anc} (m)	L _{total} (m)
1	6,88	4,97	11,85
2	6,0	4,97	10,97

5.1.4 Análise da Estabilidade Global

A Tabela 11 apresenta os fatores de segurança críticos encontrados na verificação da estabilidade global para os 6 trechos distintos avaliados.

Tabela 11. Fatores de Segurança Críticos Obtidos por Meio da Análise de Estabilidade Global.

Trecho	H (m)	FS _{crítico}
1	24,13	1,41
2	24,42	1,47
3	24,58	1,50
4	19,50	1,53
5	11,50	1,15
6	10,07	1,06

As Figuras 14 a 19 apresentam as potenciais superfícies de ruptura e o menor fator de segurança calculado para cada um dos trechos de 1 a 6.

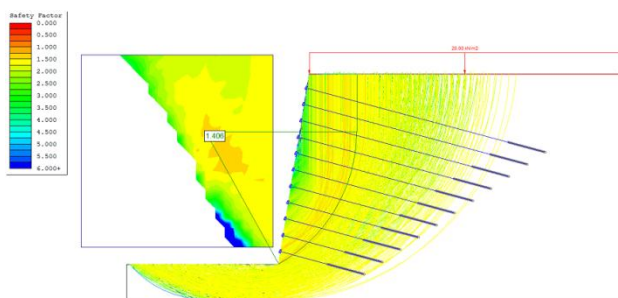


Figura 14. Análise de Estabilidade Global do Trecho 1.

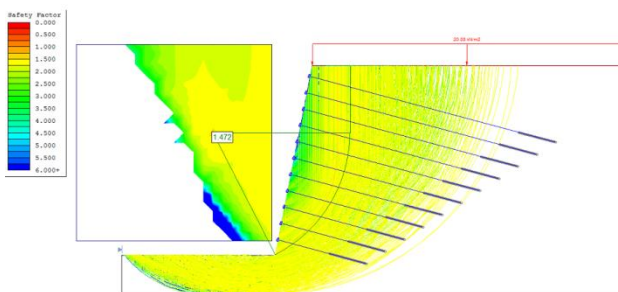


Figura 15. Análise de Estabilidade Global do Trecho 2.

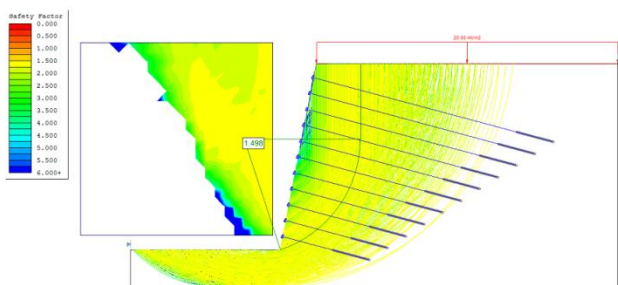


Figura 16. Análise de Estabilidade Global do Trecho 3.

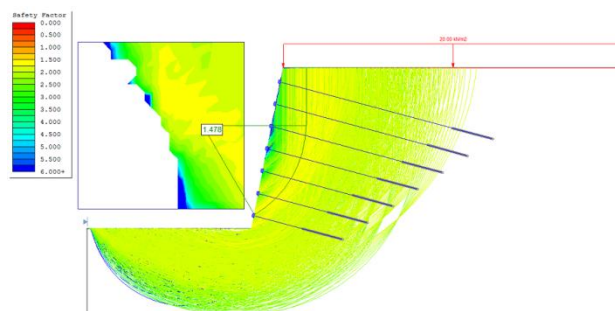


Figura 17. Análise de Estabilidade Global do Trecho 4.

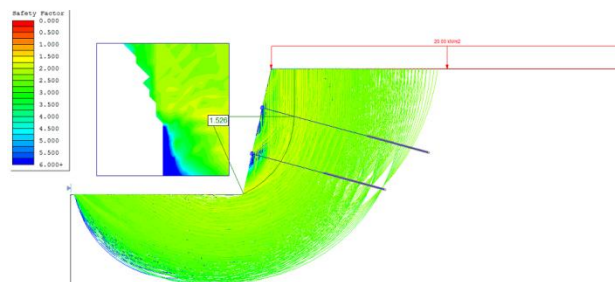


Figura 18. Análise de Estabilidade Global do Trecho 5.

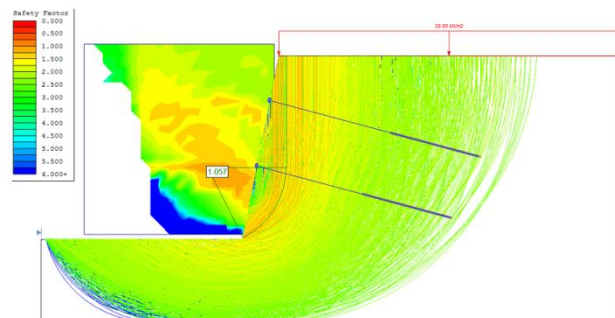


Figura 19. Análise de Estabilidade Global do Trecho 6.

Portanto, todos os trechos estão dentro do fator de segurança mínimo recomendado, garantindo assim a estabilidade global do talude após a execução dos tirantes.

5.2 Parametrização

Os valores determinados inicialmente para o solo argiloso não atendiam ao fator de segurança global crítico, tornando necessário o aumento do comprimento livre dos tirantes. Os resultados referentes ao solo argiloso apresentaram um cenário um pouco mais crítico, com um comprimento ancorado 18% maior e um comprimento livre 84% maior (em média) do que os valores do solo original da obra, o que não inviabiliza a solução empregada

de estabilização com uso de tirantes, mas a deixa mais onerosa. O número de tirantes dimensionado para o solo argiloso seria 15% maior do que a quantidade encontrada para o solo da obra. Multiplicando os comprimentos livres encontrados pelo número de tirantes, notou-se que a metragem total de tirante no solo argiloso seria 56% maior. A Tabela 12 apresenta a relação entre o comprimento médio do tirante dividido pela altura do talude em cada trecho (L/H) para o solo da obra e o solo argiloso.

Tabela 12. Comprimento Médio do Tirante Sobre a Altura do Trecho para o Solo da Obra e para o Solo Argiloso.

Trecho	L/H _{solo obra}	L/H _{solo argiloso}
1	0,91	1,0
2	0,92	1,08
3	0,91	1,43
4	0,97	1,70
5	1,08	1,16
6	1,13	1,22

6 CONCLUSÃO

O cálculo da estabilidade, feito pelo método de Culmann, e a determinação dos comprimentos livres e ancorados dos tirantes resultaram em valores viáveis e com um fator de segurança acima do estipulado pela norma brasileira regulamentadora. A análise da estabilidade global feita pelo com o uso do software Slide comprovou a segurança da estrutura calculada.

Na parametrização realizada, a comparação com os valores de comprimento médio dos tirantes dividido pela altura do talude (L/H) apresentou um valor médio de 0,99 para o solo da obra e 1,26 para o solo argiloso, reforçando, portanto, que o custo para a execução de uma cortina atirantada em solo argiloso seria maior do que no solo atual da obra.

AGRADECIMENTOS

À equipe da Geosoluções que nos forneceu todas as informações relevantes para o dimensionamento da obra e nos permitiu as visitas ao canteiro de obras, para que pudéssemos desenvolver este trabalho.

REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 5629 (2006): Execução de Tirantes Ancorados no Terreno. Rio de Janeiro.
- Cunha, M.A. (1991). *Ocupação de Encostas*, São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, n. 1831.
- Massad, F. (2003). *Obras de Terra*, Oficina de Textos, 170 p.
- Dersa (2015). Desenvolvimento Rodoviário S/A. Rodoanel Norte. São Paulo. Disponível em: < <http://www.dersa.sp.gov.br/Empreendimentos/GrupoEmpreendimento.aspx?idGrupo=2>>. Acesso em 23 de agosto de 2015.
- Dutra, V.A.S. (2013). *Projeto de Estabilização de Taludes e Estruturas de Contenção Englobando Dimensionamento Geotécnico e Estrutural*. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Joppert Junior, I. (2007). Fundações de Contensões em Edifícios: *Qualidade Total* - Editora PINI, São Paulo, 221p.
- Ostermayer, M. (1976). *Practice on the Detail Design Application of Anchorages*. Institution of Civil Engineers, London, pp.55-61.
- Rodrigues, J.M. de A. (2011), *Método de Culmann. Ancoragens e tirantes*. Apostila de Obras de Terra I. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica. Departamento de Construção Civil. Rio de Janeiro.