

Verificação de Dimensionamento de Contenção por Cortina Atirantada com Vistas à Otimização de Projeto, Estudo de Caso

Amanda K. F. Melo e Gleydson F. de A. Farias

Universidade Paulista, Brasília, Brasil, amandakatielly@gmail.com e
gleydsondeaquino@gmail.com.

Marcos Aires A. Santos

Universidade Paulista, Brasília, Brasil, marcosairess@gmail.com.

RESUMO: O presente trabalho estuda o dimensionamento da contenção por cortina atirantada, utilizada em obra vertical comercial, com três subsolos com talude a 90° de inclinação, em Brasília. O estudo avalia o melhoramento do processo de dimensionamento da cortina a partir de análises mais criteriosas dos parâmetros de entrada combinados a diferentes tipos de tirantes. Para isso, são apresentadas as etapas utilizadas na metodologia empregada de cálculos e verificação de segurança do talude retrocalculado. Conclui-se, diante do estudo realizado, que é possível aplicar a otimização do dimensionamento dos tirantes sem comprometer a segurança da contenção.

PALAVRAS-CHAVE: Estabilidade de Talude, Retroanálise, Cortina Atirantada.

1 INTRODUÇÃO

As obras de contenções têm como propósito prover a estabilidade de maciços de terra ou rocha fornecendo suporte para impedir a ruptura ou escorregamento e podem ser de diferentes tipos, tais como, muros de arrimo, solo grampeado, cortina atirantada, dentre outros. Normalmente, a ruptura ou escorregamento nesses tipos de obra são causados pelo próprio peso dos maciços somados aos carregamentos externos e também pelos efeitos causados pela presença de água.

Diante disso, para casos onde há necessidade de contenções para se evitar o deslizamento de taludes que são construídos com inclinações próximas de 90°, são usadas contenções do tipo solo grampeado ou cortina atirantada. Essas obras têm importância significativa no custo total de um projeto, transformando-se em um processo complicador para sua viabilização.

A contenção por cortina atirantada é uma estrutura composta de concreto armado que transmite os esforços de tração ao terreno através de tirantes. Apesar de seu elevado custo é uma técnica usual em subsolos, pois é

adequada para conter elevados esforços horizontais advindos de escavações de grandes alturas, com o mínimo de deslocamento do maciço de solo e das estruturas localizadas nas vizinhanças, usual em obras de rodovia, ferrovia e encostas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nas formulações que seguem serão apresentados de forma resumida. Caso haja necessidade de aprofundamento nos conceitos de mecânica dos solos, consultar o trabalho de retroanálise e estudo de otimização do dimensionamento de contenção por cortina atirantada – estudo de caso.

2.1 Métodos de análise

Os métodos de análise de estabilidade de taludes são divididos em duas categorias, métodos determinísticos, nos quais a medida da segurança do talude é feita em termos de fator de segurança, com a determinação dos parâmetros de forma determinística e métodos

probabilísticos, nos quais a medida de segurança é feita em termos da probabilidade ou do risco de ocorrência da ruptura. Neste trabalho foi utilizados o método determinístico.

Os métodos determinísticos de análises de estabilidade de taludes estão divididos em dois grupos, de acordo com Massad (2003).

Método de análise de deslocamento, baseado no método dos elementos finitos, onde técnicas numéricas são empregadas com auxílio computacional, considerando as relações tensão e deformação dos materiais.

Método do estado de equilíbrio limite, neste método estão incorporadas as seguintes hipóteses: a superfície de ruptura é bem definida; a massa de solo comporta-se como material rígido-plástico e encontra-se em condições iminentes de ruptura generalizada, ou seja, rompe-se bruscamente sem se deformar.

Para a estimativa do valor de coesão (c) foi aplicada a correlação de Teixeira (1996) com o índice de resistência à penetração (N) do SPT (Tabela 1).

Tabela 1 – Correlação da resistência à compressão e coesão das argilas (TEIXEIRA, 1996).

Consistência	Resistência à compressão (kN/cm ²)	Coesão (kN/cm ²)
Muito mole	0 - 0,25	0 - 0,12
Mole	0,25 - 0,50	0,13 - 0,25
Média	0,50 - 1,00	0,25 - 0,50
Rija	1,00 - 2,00	0,50 - 1,00
Muito rija	2,00 - 4,00	1,00 - 2,00
Dura	> 4,00	> 2,00

2.2 Análise de estabilidade

A análise de estabilidade de taludes engloba um conjunto de procedimentos, visando determinar um valor representativo, que permita quantificar o quão próximo da ruptura um determinado talude se encontra.

2.2.1 Método das fatias

Entre os métodos que são utilizados para hipóteses de equilíbrio limite, o mais aplicado é o método das fatias. Aplicando-se em cada uma delas as seguintes equações de equilíbrio, para cada fatia ou para a massa toda:

$$\sum \text{Forças horizontais} = 0 \quad (1)$$

$$\sum \text{Forças verticais} = 0 \quad (2)$$

$$\sum \text{Momentos} = 0 \quad (3)$$

A análise de estabilidade de taludes engloba um conjunto de procedimentos, visando determinar um valor representativo, que permita quantificar o quão próximo da ruptura um determinado talude se encontra. Levando em conta, um conjunto de condicionantes que atuam no talude, sendo diferenciados quanto à forma da superfície de ruptura considerada, quanto às equações de equilíbrio usadas e quanto às hipóteses sobre as forças atuantes entre as fatias do talude. As forças atuantes em uma fatia genérica estão demonstradas na Figura 1.

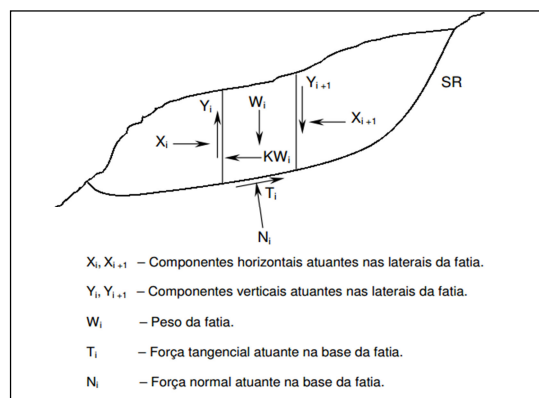


Figura 1 - Forças atuantes em uma fatia genérica (DUTRA, 2013).

Neste trabalho serão utilizados dois métodos para a análise de estabilidade, Bishop Simplificado e o de Morgenstern & Price, por meio do programa computacional GeoSlope 2012 (SLOPE-W).

O método de Bishop foi desenvolvido originalmente para uma superfície de ruptura circular. Conforme Bishop e Morgenstern (1960) é possível omitir os termos de esforços horizontais entre fatias, ($X_n - X_{n-1}$), com uma perda de precisão de menos de 1%. Tem-se então, o método chamado Bishop Simplificado.

O método de Morgenstern e Price é um método rigoroso de análise de estabilidade de taludes, que admite superfície de ruptura qualquer e satisfaz todas as condições de equilíbrio estático. Nesse método, a massa potencialmente instável é dividida em fatias infinitesimais e se faz necessário o uso de

ferramenta computacional para execução dos cálculos.

2.2.1 Método de Culmann

A análise de estabilidade de taludes pelo método de Culmann 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°).

A Figura 2 mostra um talude de altura H , formando um ângulo i com a horizontal, onde AD é um plano de ruptura arbitrado e definido pelo ângulo θ_{cr} que forma com a horizontal e tem dimensão l .

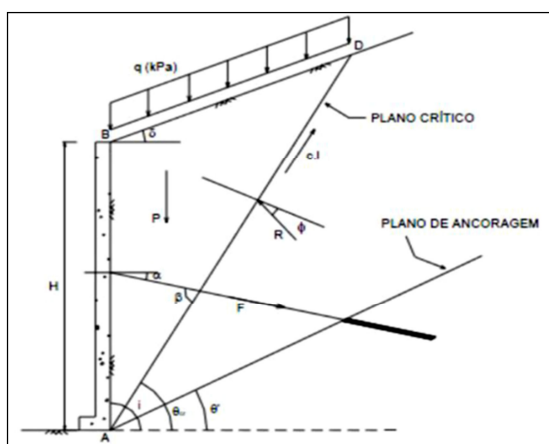


Figura 2 - Forças atuantes na cunha de solo (DUTRA, 2013).

2.2 Dimensionamento dos componentes para contenção

2.2.1 Dimensionamento do tirante

A norma brasileira diz que é possível tracionar o aço em até 90% de sua carga de escoamento ($F_{lim} = 0,9 \cdot f_{yk} \cdot S_f$). Assim, usando o aço em seu limite, a carga de trabalho (F_t) é encontrada pela equação:

$$F_t = \frac{0,9 \cdot f_{yk} \cdot S_f}{FS} \quad (4)$$

Sendo:

f_{yk} = tensão de escoamento do aço;

S_f = seção útil do aço;

FS = Fator de Segurança definido em norma, 1,50 para obras provisórias e 1,75 para obras definitivas.

2.2.2 Dimensionamento do bulbo de ancoragem

Joppert Junior (2007) propôs que a capacidade de carga da ancoragem dos tirantes pode ser estimada pelo método a seguir, o qual define a carga de ruptura como:

$$R_{rup} = 9,2 \cdot N_{spt} \cdot \phi_d \cdot L \cdot K \quad (5)$$

Sendo:

R_{rup} = carga de ruptura do tirante;

N_{spt} = número médio de SPT na região de implantação do bulbo de ancoragem;

ϕ_d = diâmetro do tricone em metro;

L = comprimento de ancoragem do tirante em metros;

K = coeficiente que depende do tipo de solo, de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2 - Coeficiente K em função do tipo de solo (JOPPERT, 2007).

Tipo de Solo	Coeficiente K (t/m²)
Argilas/Siltos	1
Areia muito argilosas/siltosas	0,6
Areia pouco argilosas/siltosas	0,4
Areia	0,3

3 METODOLOGIA UTILIZADA

A metodologia aplicada para realização do estudo de caso pode ser melhor visualizada a partir do fluxograma na Figura 3.



Figura 3 – Fluxograma demonstrativo da metodologia do estudo

4 RESULTADOS OBTIDOS

4.1 Exposição do estudo de caso

A obra estudada é uma escavação vertical com altura de aproximadamente quinze metros, para a implantação de quatro subsolos destinada a estacionamento de veículos leves de um prédio comercial, onde em três de suas limitações faz divisa com avenidas movimentadas, não podendo ser interrompido o tráfego. Faz divisa com edificações particulares, com interrupções como, redes de distribuição elétrica, drenagem de águas pluviais e rede de saneamento público.



Figura 4 - Localização da obra em relação ao Shopping Pátio Brasil e avenida W3 Sul.

O painel da contenção em estudo, parte da contenção total, possui dimensões de 41,80 m x 14,60 m é representado na Figura 5.

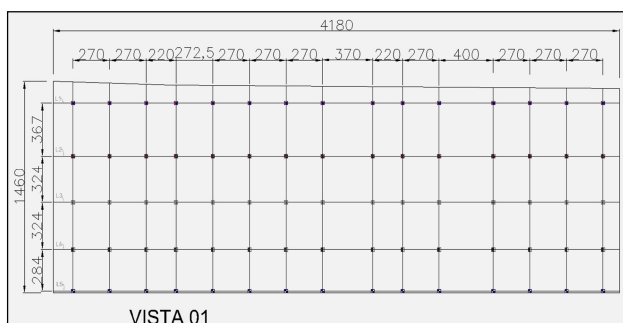


Figura 5 – Vista 01 – Painel da cortina atirantada em estudo.

4.2 Investigação do subsolo

Para a caracterização do material, a análise dos resultados obtidos pelos ensaios SPT

demonstra, as camadas de solo, ilustradas na Figura 6.

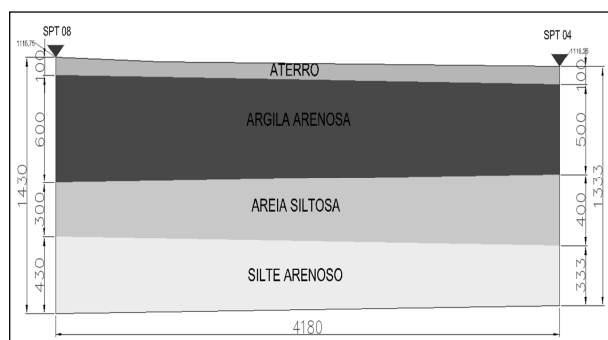


Figura 6 - Corte A-A, perfil do solo analisado a partir do SPT n°04 e 08.

Analisando os resultados obtidos nos ensaios de SPT obtiveram-se os seguintes parâmetros, considerado o furo 08, (Tabela 3):

Tabela 3 – Valores dos parâmetros adotados do solo em estudo, furo 08.

	TIPO DE SOLO	N-SPT	COESÃO, c (kPa)	ÂNGULO DE ATRITO (°)	PESO ESPECÍFICO (kN/m³)
CAMADA 01	ARGILA ARENOSA	5	19	25,00	15,00
CAMADA 02	AREIA SILTOSA	17	0	33,44	19,00
CAMADA 03	SILTE ARENOSO	41	0	43,55	20,00

Dado que o topo do talude em estudo, em que é executado a contenção, será utilizado para a implantação de estacionamento de veículos leves, foi determinada sobrecarga de 10kN/m², distribuídos em seu plano superior.

4.3 Análise de estabilidade

Para determinação do fator de segurança (FS), apresentado pela geometria proposta em corte, foram utilizados dois métodos, Bishop simplificado e Morgenstern & Price.

A partir dos parâmetros geotécnicos, da geometria do talude e desconsiderando a interferência de água, dado que não foi percebido água no momento da construção, tampouco na sondagem, foram realizadas as análises de estabilidade.

Por meio do GeoSlope (SLOPE-W) foi verificado que os fatores de segurança estão abaixo do recomendado pela norma, que seria de $FS \geq 1,5$, sendo que para Bishop simplificado o $FS=0,592$ e para Morgenstern-Price o $FS=0,635$. Com isso, faz-se necessária

uma intervenção no maciço. Sendo definido pelo projetista como melhor solução a cortina atirantada.

4.4 Cálculo de estabilidade pelo método de Culmann

A fim de validar o valor encontrado pelo programa computacional utilizado, foi calculado o fator de segurança a partir do método de Culman. Adotou para isso apenas um tipo de solo, correspondente a argila arenosa, considerado como sendo o pior caso. Observa-se na Tabela 4, os parâmetros com os dados do solo para o dimensionamento.

Nota-se também, na Tabela 5 o resumo dos valores obtidos para o cálculo da estabilidade do maciço pelo o Método de Culmann.

Tabela 4 - Dados de entrada do solo para cálculo.

Tipo de Solo	Argila Arenosa
Coesão (c)	19 kPa
Ângulo de Atrito (ϕ)	25 °
Inclinação (i)	90 °
Altura do Talude (H)	14,6 m
Ângulo formado pelos tirantes (α)	15 °
Ângulo da inclinação do terreno (δ)	0 °
Sobrecarga (q)	10 kN/m ²

Tabela 5 - Resumo de cálculo da estabilidade pelo Método de Culmann.

Ângulo do plano de deslizamento (°)	Θ_{crit}	57,50
Comprimento da linha de maior declive (m)	l	17,31
Peso da cunha de provável deslizamento (kN/m)	P	1111,50
Fator de Segurança Mínimo	FSmin	0,499

Com base na Tabela 5, pelo método de Culmann, obteve-se para FSmin o valor de 0,499. Com isso foi confirmada a instabilidade do maciço, feitas anteriormente com o auxílio do software GeoSlope pelos métodos de Bishop simplificado e Morgenstern-Price.

4.5 Cálculo do número de tirantes

Observa-se na Tabela 6 o resumo dos valores obtidos da retroanálise para o cálculo do número de tirantes pelo o Método de Culmann.

Tabela 6 - Resumo de cálculo para o número de tirantes pelo Método de Culmann.

Ângulo do Plano de Ancoragem (°) adotado	Θ'	32,00
Ângulo formado pelos tirantes (°)	β	72,50
Coefficiente de Segurança em relação ao plano de ancoragem	FSp	1,52
Relação entre o fator de segurança e forças de protensão	λ	3,05
Força de ancoragem (kN/m)	F	594,00
Número de tirantes na vertical	Nt	4,0

Variando os valores de Θ' , para obtenção de um FSp $\approx 1,5$, o menor fator de segurança possível, de forma a atender aos critérios da NRB 5629 (ABNT 2006), obteve-se os valores dispostos na Tabela 7.

Tabela 7 - Variações de Θ' para a obtenção de FSp $\approx 1,5$

Θ'	FSp
28,00	3,40
30,00	2,08
32,00	1,52
34,00	1,21

Com isso, adotou-se para Θ' , o valor de 32° obtendo para FSp=1,52, atendendo a norma.

- Ângulo formado pelos tirantes com a superfície crítica de deslizamento (β)

Foi adotado o ângulo entre os tirantes e a horizontal (α) como sendo de 15° para que seja facilitada a execução dos tirantes, de forma a permitir o preenchimento do furo com nata de cimento para o recobrimento dos tirantes por gravidade. Dessa forma, aplica-se a equação:

$$\beta = 15^\circ + 57,50^\circ = 72,50^\circ \quad (6)$$

- Calcula-se a relação entre o fator de segurança obtido com as forças de protensão e o fator de segurança mínimo relativo ao plano crítico de deslizamento, pela equação:

$$\lambda = \frac{1,52}{0,499} = 3,05 \quad (7)$$

Enfim, pode-se ser calculada a força de protensão necessária para atingir o FS de 1,52.

- Pela equação a seguir calcula-se a força de protensão necessária:

$$F_{anc} = \frac{3,05-1}{3,05} \cdot 1111,50 \cdot \frac{\sin(57,50-25)}{\cos(72,50-50)} = 594,00 \quad (8)$$

- Número de tirantes:

O número de tirantes na vertical (N_t) é determinado pelo produto da força de ancoragem (F_{anc}) e do espaçamento horizontal entre tirantes (e) e, dividido pela carga de trabalho dos tirantes (Q_w).

Para a elaboração da retroanálise foi considerada os valores dos tirantes em quatro cordoalhas CP 190 RB 12,7mm, os mesmos aplicados em projeto, com uma carga de trabalho de 400kN por tirante.

Para determinação da quantidade de tirantes foi adotada um espaçamento horizontal (e) de 2,7 metros, o mesmo adotado pelo projetista, e calcula-se a partir da equação 9, abaixo:

$$N_t = \frac{594,00 \cdot 2,7}{400} = 5,00 \rightarrow 5 \text{ tirantes} \quad (9)$$

Além da retroanálise para o dimensionamento pelo método de Culmann, realizou-se análise de estabilidade com os tirantes de projeto, tendo uma media de 12 metros de bulbo, a partir do software GeoSlope pelo métodos de Bishop Simplificado e Morgenstern-Price com finalidade de confirmar o fator de segurança.

Após feita a análise de estabilidade com o auxílio do software, constatou-se que o fator de segurança mínimo, $FS=1,5$, foi alcançado com cinco tirantes em quatro cordoalhas CP 190 RB 12,7mm, com carga de trabalho de 400kN cada tirante. A diferença de FS entre os dois métodos utilizados para verificação da estabilidade, foi irrelevante, sendo que, para Bishop, $FS=1,721$ e Morgenstern-Price, $FS=1,723$. Com isso confirma-se que o dimensionamento adotado pela empresa atinge a estabilidade exigida.

- Comprimento do bulbo de ancoragem

Definido o número de tirantes através da retroanálise, verifica-se o comprimento necessário do bulbo de ancoragem, através do método proposto por JOPPERT JUNIOR (2007), dado pela equação 10:

$$R_{rup} = 9,2 \cdot N_{spt} \cdot \phi_d \cdot L \cdot K = 213,13 \text{ kN} \quad (10)$$

O valor de FS foi tomado como 1,50 devido ao fato do tirante ser provisório, conforme a NBR 5629 (ABNT, 2006).

Sabendo que, o valor da carga de ruptura do tirante é de 213,13kN, que o N_{spt} foi de 17, que o solo é uma argila arenosa, considerando $K=$

1,00 de acordo com a Tabela 2 e o diâmetro do tricone é de 0,15m, dado de projeto. O valor calculado para o bulbo de ancoragem foi obtido da seguinte forma:

$$213,13 = 9,2 \cdot 17 \cdot 0,15 \cdot L_b \cdot 1,00$$

$$L_b = 9 \text{ metros} \quad (11)$$

O trecho de ancoragem obtido pela retroanálise, igual a 9 metros, é menor que o utilizado em projeto, que varia entre 11 e 12 metros. Sabendo-se que o custo de execução do tirante é de R\$ 130,00 por metro, com essa nova dimensão de bulbo calculada haveria uma economia de execução R\$ 390,00 em média, por tirante, e ainda assim, não afetaria seu fator de segurança.

4.6 Otimização dos tirantes

Os resultados da retroanálise confirmam os valores estabelecidos em projeto garantido à estabilidade do maciço. A partir desse momento, tem-se como finalidade a otimização do uso dos tirantes, visando à economia da execução sem comprometer a segurança, para isso fixaremos um $FS=1,5$, ressaltando que em cálculo de projeto e na retroanálise chegou-se a uma segurança de 70%. Para a otimização será mantido os parâmetros do solo, geometria do maciço e o numero de tirantes no espaçamento vertical, alterando-se apenas as cargas, os tipos e o espaçamento horizontal dos tirantes.

Na Tabela 8 são expostos os resultados do fator de segurança obtidos a partir otimização feita com três tipos de tirantes, com cargas distintas sendo usado os mesmo critérios da retroanálise, tendo como ferramentas de cálculo a tabela elaborada a partir do método de Culmann e para confirmação da estabilidade o software GeoSlope, 2007.

Tabela 8 – Tipos de tirante (INCOTEP) e respectivos fatores de segurança.

CASO	Nº de Tirantes	Tirante	Espaçamento horizontal m	Carga de Trabalho a 80% kN	FS	
					s/ sobrecarga	c/ sobrecarga
1	5	INCO35D	2,7	321	1,57	1,43
2	5	INCO45D	2,85	415	2,19	1,94
3	5	INCO50D	3,95	470	2,57	2,23

- CASO 1: 5 tirantes INCO 35 D:

Utilizando o tirante INCO 35D com carga de trabalho igual a 321 kN e espaçamento horizontal de 2,7 metros, obteve-se um FS=1,57, sem considerar sobrecarga, e FS=1,43, considerando uma sobrecarga de 10kN/m².

Portanto apesar de estável, não atende os requisitos pedidos pela norma NBR 5629 (ANBT, 2006), os fatores de segurança obtidos através do GeoSlope pelo método de Morgenstern-Price.

- CASO 2: 5 tirantes INCO 45 D:

Utilizando o tirante INCO 45D com carga de trabalho igual a 414 kN e espaçamento horizontal de 2,85 metros, obteve-se um FS=2,19, sem considerar sobrecarga, e FS=1,94, considerando uma sobrecarga de 10kN/m².

Portanto os fatores de segurança obtidos superam o valor exigido por norma, elevando-se assim o custo de execução. Os fatores de segurança obtidos através do GeoSlope pelo método de Morgenstern-Price.

Já que o fator de segurança, com sobrecarga, para o INCO 35D resultou num valor próximo a FS=1,5, porém não atingindo os 50% de segurança exigido, o tirante INCO 45D possui um FS intermediário, decidiu-se então, fazer uma relação entre os tirantes INCO 35D e INCO 45D.

Como a intenção desta otimização é atingir o FS mais próximo possível de 1,5, atendendo assim a norma vigente e a viabilidade econômica, não comprometendo a segurança, com isso não houve acréscimo no número de tirantes INCO 35D, já que aumentando sua quantidade influenciaria o espaçamento vertical e o custo de execução e, reduzindo a quantidade de tirantes INCO 45D o valor do FS ficaria abaixo do necessário, obtido no GeoSlope.

Através das considerações acima citadas, será realizada uma otimização relacionando os dois tipos de tirantes, INCO 35D e 45D, permanecendo os mesmos critérios adotados, alterando-se apenas as proporções dos tirantes usados.

O objetivo desta otimização foi alcançado no caso 5, conforme Tabela 9. Através da otimização da retroanálise, verificasse o comprimento necessário do bulbo de

ancoragem, para a ultima relação realizada com 4 tirantes INCO 35D na parte superior e 1 tirante INCO 45D na parte inferior, dado pela equação, citada anteriormente:

- Sendo para o tirante INCO 35D:

$$R_{rup} = 214,3 \text{ kN}$$

$$214,3 = 9,2 \cdot 17 \cdot 0,15 \cdot L_b \cdot 1,00$$

$$L_b = 9 \text{ metros} \quad (12)$$

- E, para o tirante INCO 45D:

$$R_{rup} = 267,7 \text{ kN}$$

$$267,7 = 9,2 \cdot 17 \cdot 0,15 \cdot L_b \cdot 1,00$$

$$L_b = 12 \text{ metros} \quad (13)$$

A Tabela 9 mostra um resumo de todos os resultados obtidos nesta otimização, com a relação dos tirantes utilizados, suas respectivas quantidades e cargas de trabalho e por ultimo o fator de segurança obtido para cada caso.

Tabela 9 – Resumo dos valores obtidos pela otimização pela relação de tirantes.

CASO	Nº de Tirantes	Tirante	Espaçamento horizontal m	Carga de Trabalho a 80% kN	FS	
					s/ sobrecarga	c/ sobrecarga
3	2	INCO35D	2,85	321	1,83	1,63
	3	INCO45D		415		
4	3	INCO35D	2,85	321	1,74	1,56
	2	INCO45D		415		
5	4	INCO35D	2,85	321	1,74	1,50
	1	INCO45D		415		

Na Tabela 10, mostra resumo comparativo dos dados de projeto versus dados otimizados, concluindo com custo total de cada dimensionamento e a economia de custo de execução gerada a partir da otimização.

Tabela 10 - Resumo Projeto x Otimização

DESCRIÇÃO	Projeto	Otimização
Tipo de Tirante	4 cordoalhas CP 190 RB 12,7mm	Monobarra INCO 35D/45D
Carga de Trabalho	400	321/415
Painel	14,60 x 41,80	14,60 x 41,80
Espaçamento Horizontal	2,70	2,85
Espaçamento Vertical	3,24	3,24
Quantidade de Linhas	5	5
Quantidade de Colunas	15	14
Comprimento do Bulbo	12	9/12
Quantidade total de tirantes	75	70
Custo total de execução*	206.700,00	182.910,00
Diferença de Custo	R\$ 23.790,00	

* O valor estabelecido para custo de execução é de R\$ 130,00/m.

5 CONCLUSÕES

Observa-se neste trabalho que houve divergência em relação aos parâmetros adotados pelo projetista, que são baseados em conhecimentos dos solos de Brasília e, os adotados neste estudo, baseados em correlações a partir do Nspt. Com isso, foram feitas análises de estabilidade, com o auxílio de software computacional, e constatou-se que o solo encontrava-se instável surgindo à necessidade de intervenção no talude. Foi elaborado a retroanálise do dimensionamento, mantendo características dos tirantes usadas pelo projetista, como o tipo de tirante, o espaçamento horizontal, dentre outros.

Ao realizar a retro análise observou-se os mesmos valores apresentados em projeto, foram obtidos 75 tirantes, com espaçamentos verticais e horizontais, de em média 3,24 m e de 2,70 m respectivamente, comprovando que a ferramenta de cálculo utilizada na retroanálise, atende o objetivo inicial deste estudo.

A partir dos resultados da retroanálise, observou-se que fator de segurança poderia ser otimizado, já que o FS alcançado foi igual 1,72, superando o mínimo exigido por norma de 1,5, tornando assim, a execução mais onerosa, além disso, deve-se considerar que as condições do terreno foram estimadas inferiores, tanto pelo projetista quanto pelo estudo, em termos de resistência, para contrapor características temporais, não encontrando água no solo estudado (o estudo foi feito em período de seca). Para isso, elaborou-se uma otimização do uso de tirantes, alternando o tipo de tirante, sua distribuição de cargas e seu espaçamento horizontal. Ao relacionar dois tipos de tirantes, com cargas de trabalho distintas, foi possível reduzir uma linha de tirantes e diminuir em três metros de comprimento dos quatro primeiros tirantes, causando uma economia de R\$23.790,00 para execução da contenção, conforme capítulo anterior.

Vale ressaltar, que essa economia poderia ser maior, já que nenhuma das duas formas de reconhecimento de solo são ideais a sua parametrização. Ela poderia ser mais rigorosa, sendo necessária a realização de ensaios específicos de caracterização, influenciando

assim, os fatores de relevância para o dimensionamento.

AGRADECIMENTOS

Desejamos também expressar nossa gratidão ao orientador Marcos Aires, a empresa EMBRE Engenharia Geotécnica e aos autores dos diversos trabalhos que contribuíram para a elaboração deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas, (2006), *Execução de Tirantes Ancorados no Terreno*: NBR- 5629, 36p.
- Bishop, A. W., Morgenstern, N., (1960), *Stability Coefficients for Earth Slopes Géotechnique*, Vol. 10, No. 4, pp 164-169.
- Dutra, Vinícius Araújo de Souza, (2013). *Projeto de estabilização de taludes e estruturas de contenção englobando dimensionamento geotécnico e estrutural*, Rio de Janeiro-RJ, Especialização pela Universidade Federal do Rio de Janeiro - Escola Politécnica.
- Joppert, Ivan Junior, (2007), *Fundações e contenções de edifícios*, 1ª Edição, São Paulo: Editora PINI, 215p.
- Massad, F., (2003), *Obras de Terra: curso básico de geotécnica*, São Paulo: Oficina de Textos.
- Morgenstern, N. R., Price, V. E., (1965), “*The Analysis of the Stability of General Slip Surfaces*”, *Géotechnique*, v.15, n 1.
- Teixeira, A.H., (1996), *Projeto e execução de Fundações. 3º Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia*, São Paulo, SP, n. 1, p 33-50.