
OBRAS DE CONTENÇÃO: ESTUDO COMPARATIVO ENTRE CORTINAS ATIRANTADAS E SOLOS GRAMPEADOS

Caroline Cardoso Bassan

Christian Ishihama Suzuki

Jônathas Tchi Fhai Tsai

Paulo Afonso de Cerqueira Luz

Universidade Presbiteriana Mackenzie (UPM)

Resumo

Este artigo tem como objetivo estudar as obras de cortina atirantada e solo grampeado, comparando as características técnicas de projeto, execução, desempenho, custos, vantagens e desvantagens entre elas. Para isso, foi realizada uma revisão bibliográfica de diversos tipos de obras de contenção, com um estudo mais aprofundado nas obras de solo grampeado e cortina atirantada. Por fim, são apresentados dois estudos de caso: uma obra de revitalização do Museu do Ipiranga, em São Paulo, onde estão sendo utilizadas cortinas atirantadas como obra de contenção, para a criação de subsolos adicionais, e uma obra em São José dos Campos, onde está sendo realizada uma obra de contenção em solo grampeado, para a recuperação de um talude rompido. Apresentam-se os motivos da escolha de cada técnica de obra de contenção, vantagens, desvantagens e resultados obtidos para cada solução.

Palavras-chave: Obras de contenção. Cortina atirantada. Solo grampeado.

1 INTRODUÇÃO

As obras de contenção são uma forma de vencer um desnível economizando o máximo de espaço horizontal possível, pois são obras com paramentos verticais. Elas são utilizadas para evitar a ocorrência de escorregamentos e erosões do solo, além de serem úteis na restauração de taludes escorregados. Essas obras são facilmente encontradas em projetos de estradas, túneis (entradas e saídas), estabilização de encostas, escavação de subsolos etc.

Pode-se dizer que elas são divididas em dois grandes grupos:

- a) obras com elemento estrutural externo;
- b) maciços de solos reforçados.

No Brasil têm ocorrido diversos acidentes relacionados aos movimentos de massas (deslizamentos de solos e blocos de rochas) causados tanto por fenômenos naturais quanto antrópicos (intervenção humana). Os movimentos de massas podem ser classificados como: escorregamentos (em estado sólido), fluxos (em estado líquido) e rastejos (movimentos lentos). Com a relação à sua forma, os movimentos de massa podem ser: translacionais (planar em talude infinito ou em cunha) e rotacionais (circular).

Para garantir a estabilidade dos taludes naturais (encostas) e artificiais (obras de terraplenagem), pode ser necessária a implantação de obras de contenção.

Existem diversos tipos de obras de contenção, e a escolha da técnica a ser utilizada na obra depende de diversos fatores, tais como: local da obra, tipo de solo, viabilidade econômica, impacto ambiental, prazo para a execução, entre outros. É essencial encontrar a melhor solução técnica e econômica, de maneira que atenda às condições de segurança estrutural e à viabilidade econômica dela. Para tanto, é necessário o estudo das diversas técnicas de obras de contenção, a fim de se obter uma solução segura, eficiente e com melhor custo-benefício.

Tendo em vista que existem vários tipos de obras de contenção com características semelhantes, tais como cortinas atirantadas e grampeamento dos solos, este trabalho apresenta o seguinte problema de pesquisa:

- Quais são as diferenças de funcionamento entres esses dois tipos de obras quanto às características, à sustentabilidade e à rentabilidade?

Existem diversas pesquisas relacionadas à análise e ao estudo de cortinas atirantadas, como aquelas apresentadas em Hachich *et al.* (1998), Gerscovich, Dazinger e Saramago (2019), Massad (2010), entre outros.

Também existem várias pesquisas referentes à análise e ao estudo de solos grampeados, como aquelas apresentadas em Hachich *et al.* (1998), Zirlis e Pitta (2000), Massad (2010), entre outros.

O estudo de caso foi tratado por meio da comparação de uma obra necessária à reforma do Museu Paulista da Universidade de São Paulo (Museu do Ipiranga), classificada como uma obra de contenção com elemento estrutural externo, sendo ela uma cortina atirantada.

A outra obra consiste em uma recuperação de um talude que está situado em um empreendimento em São José dos Campos, em São Paulo, classificada como uma obra de contenção com maciço de solo reforçado, sendo ela um solo grampeado.

2 METODOLOGIA

O estudo comparativo entre as obras de cortina atirantada e solo grampeado foi desenvolvido por meio de pesquisas bibliográficas em arquivos, livros, *sites*, teses, dissertações e das normas técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (NBR).

Inicialmente foi feito um estudo do contexto geral de todas as obras de contenção, abordando as principais características de cada tipo de obra dos dois grandes grupos (obras com elemento estrutural externo e maciços de solos reforçados), conforme citadas por Luz e Yassuda (1994), para maior entendimento do assunto abordado no trabalho.

Para analisar o funcionamento dessas duas obras de contenção em específico (uma em cortina atirantada e outra em solo grampeado), foi feito um estudo técnico da aplicação dessas obras, suas características e a relação com os tópicos abordados no projeto.

Em decorrência da análise, realizou-se um estudo de caso apresentando os dois tipos de obra, com suas vantagens e desvantagens e quando será favorável utilizar determinado método. O estudo de caso serviu para compreender com maior facilidade a prática dos assuntos abordados, seguindo os quesitos básicos de segurança e procedimentos normativos.

Após a realização dos estudos, fez-se uma análise comparativa quanto às características, à sustentabilidade e aos custos para definir qual dos tipos de obras de contenção promove um melhor desempenho no que concerne aos itens comparados.

3 ESTUDO DE CASO

3.1 Cortina atirantada

As cortinas atirantadas são paredes de concreto estrutural (armado) reforçadas com linhas de tirantes, perfuradas e protendidas, gerando pressão contra o solo, com o intuito de suportar o empuxo ativo e assim evitar rupturas, de modo a garantir a estabilidade da escavação vertical.

Segundo Alves (2014), ela possui um grande destaque entre as obras de contenção por sua eficácia e versatilidade, podendo ser utilizada em qualquer situação geométrica, porém com um custo mais elevado que as demais.

3.1.1 Introdução

O objeto de estudo é a obra de ampliação do Museu Paulista da Universidade de São Paulo, também conhecido como Museu do Ipiranga ou Museu Paulista. Está localizado no Parque da Independência, no bairro do Ipiranga, na cidade de São Paulo.

A Figura 1 apresenta o local do talude em estudo.



Figura 1 Obra da cortina atirantada no Museu do Ipiranga

Fonte: Acervo dos autores (2021).

Essa obra é uma ampliação do edifício projetado e construído no final do século XIX por Tommaso G. Bezzi. Foi verificada a necessidade de ampliação e adequação de suas instalações para que a instituição pudesse se atualizar e dar continuidade e expansão às suas atividades científicas, acadêmicas e culturais.

Faz parte do projeto a implantação de três pavimentos enterrados, com aproximadamente 12 metros de profundidade. Para a realização das obras no subsolo, foi necessária a execução de uma estrutura de contenção para conter a instabilização do terreno. O sistema de contenção escolhido foi uma cortina atirantada.

A princípio, questionou-se a equipe de obra sobre o motivo da escolha de uma alternativa em cortina atirantada na reforma do museu. De acordo com a equipe, havia a indicação de outros métodos (como parede diafragma), mas optou-se pela execução de uma cortina atirantada por tratar-se do tipo mais eficiente para a aplicação nessa obra.

3.1.2 Tirantes

Os tirantes podem ser divididos em três tipos: monobarras, cordoalhas e fios.

Para a obra em estudo, foram utilizados tirantes em monobarra tipo DYWIDAG. Nesse tipo de tirante, emprega-se uma barra única como elemento principal do tirante. Segundo Hachich *et al.* (1998), essas barras são torneadas em uma das extremidades onde se abre uma rosca-padrão ou uma cabeça especial de aço trefilado que permite a existência de uma rosca, sem perda de massa nem de resistência.

As monobarras DYWIDAG são compostas por: porca de ancoragem, placa de ancoragem, anéis de compensação de ângulo e luvas de emenda. Suas roscas robustas proporcionam máxima aderência entre a barra e a calda de cimento/concreto, característica fundamental para garantir uma transferência de carga adequada na estrutura ancorada. Como os tirantes DYWIDAG são principalmente aplicados em ambientes agressivos, necessitam de uma adequada proteção anticorrosiva. Foram utilizadas barras com diâmetros de 32 mm, 36 mm e 40 mm, e resistência de escoamento do aço de 500 MPa e 950 MPa.

Na Figura 2 são apresentados os componentes do tirante monobarra DYWIDAG.



Figura 2 Tirante monobarra DYWIDAG

Fonte: Dywidag-systems International (2021).

3.1.3 Projeto e execução

Foram executadas cortinas atirantadas em todo o contorno dos subsolos do museu. Para sua execução, utilizaram-se tirantes com inclinação de 0° e 20° com a horizontal, com cargas de trabalho variando entre 200 e 600 kN (20 e 60 tf), comprimento ancorado de 6 e 10 metros, sendo o maior comprimento total de 25 metros. Os tirantes que

não são inclinados com a horizontal possuem comprimento variável, e não foi informado o comprimento de ancoragem deles. A espessura do concreto das cortinas é de 30 cm, e a resistência característica à compressão do concreto (f_{ck}) é de 30 MPa. O paramento utilizado na execução da cortina atirantada foi o concreto projetado.

Alguns ambientes que foram criados no Museu estão nos subsolos, onde antigamente havia uma fundação aterrada. Para não causarem problemas estruturais, as cortinas foram executadas abaixo dessas fundações para criação do ambiente (áreas técnicas para manutenção e passagem de tubulações), conforme apresentado na Figura 3. Nos ambientes em que os visitantes serão recebidos, as cortinas serão revestidas em *drywall* para fins estéticos. O nível de subsolo mais profundo foi o mais crítico a ser executado, por causa da presença de solo argiloso com baixa resistência durante as escavações.



Figura 3 Partes da fundação

Fonte: Acervo dos autores (2021).

Alguns aspectos foram considerados e trouxeram dificuldades na execução da cortina, tais como o aspecto estético final das paredes, em função da passagem de pedestres. Para fins estéticos e de acessibilidade, os tirantes foram “recuados” nas cortinas de for-

ma que sua cabeça não ficasse aparente nas passagens, conforme está apresentado nas figuras 4 e 5.

Já no reservatório, houve interferência do lençol freático e a cortina sofreu deslocamentos excessivos, tendo que ser executado um reforço com mais tirantes.



Figura 4 Tirante instalado e parede da cortina não concretada

Fonte: Acervo dos autores (2021).



Figura 5 Vista de um tirante recuado, em fase de execução

Fonte: Acervo dos autores (2021).

A escolha do tipo de contenção se mostrou vantajosa para a obra, pois permitiu a construção da obra por fases, com execução simultânea de diferentes frentes de serviços.

Na Figura 6, são ilustradas as fases de execução típicas de uma cortina atirantada. Ela é sempre executada de cima para baixo, por níveis e em trechos horizontais curtos (nichos) alternados. Após a concretagem de cada nicho, é aplicada uma carga de protensão parcial nos tirantes. Após a conclusão de um nível inteiro de tirantes, é iniciada a escavação do nível inferior, com a mesma metodologia. Essa sequência construtiva é essencial para garantir a segurança da obra durante sua execução.

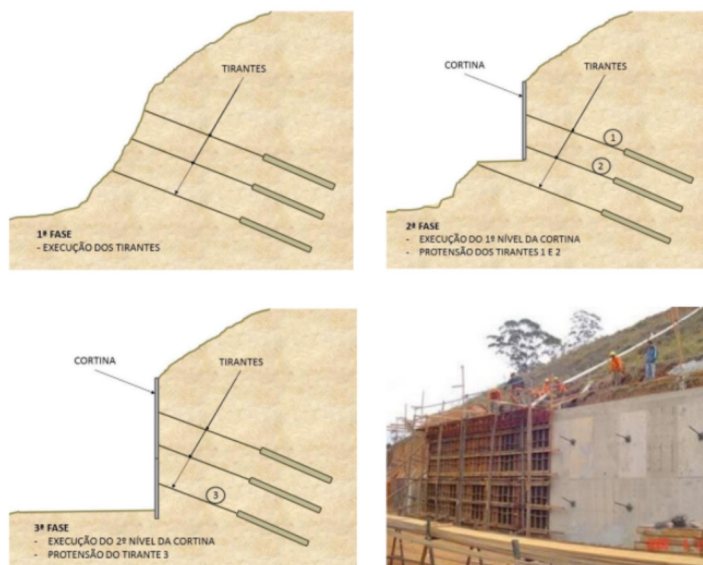


Figura 6 Sequência executiva típica de uma cortina atirantada

Fonte: Cortina de contenção (Dinis, 2020).

3.1.4 Ensaio

Os tirantes da obra de cortina atirantada em estudo foram submetidos aos ensaios de recebimento, executados de acordo com a norma NBR 5629 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2018), que tem o objetivo de verificar se os tirantes projetados resistem à carga prevista em projeto e avaliar os deslocamentos sob cargas constantes, para garantir a estabilidade da estrutura de contenção.

A execução de todos os ensaios é iniciada a partir de uma carga inicial de aplicação de 10% da carga máxima, denominada F_0 , e o carregamento vai aumentando por etapas, até que se atinja uma carga máxima aplicada no tirante que não seja superior a 90% da resistência ao escoamento do elemento resistente à tração.


As etapas de carregamento dos ensaios de recebimento estão apresentadas na Tabela 1, conforme informado na NBR 5629 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2018).

TABELA 1

Cargas para leitura em ensaios de recebimento

Estágios de carga		F0	0,3.Ft	0,6.Ft	0,8.Ft	1,0.Ft	1,2.Ft	1,4.Ft	1,5.Ft	1,6.Ft	1,75.Ft
Em pelo menos 10% dos tirantes	Permanente (tipo A)										
	Provisório (tipo C)										
Nos demais	Permanente (tipo B)										
	Provisório (tipo D)										

Legenda

 Cargas para leitura

Ft = Carga de trabalho prevista

F0 = Carga inicial

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 5629 (2018).

3.1.5 Custos

De acordo com o Sistema de Custos Referenciais de Obra (Sicro), com a última atualização de dados em janeiro de 2021, o custo médio do m² da execução da cortina atirantada está em torno de R\$ 2.000,00 (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, 2021).

O custo médio da obra de contenção estudada foi de aproximadamente R\$ 2.500,00/m², conforme informações fornecidas pela Construtora Concrejato, valor que abrange os custos de escavação, transporte para bota-fora (depósito de material excedente), fornecimento e instalação dos tirantes permanentes protendidos autoinjeteáveis (perfuração, injeção da nata de cimento e protensão), produção e aplicação do concreto projetado.

Um dos fatores que reduziram o custo da obra foi a utilização do paramento em concreto projetado, em vez do concreto armado convencional.

3.2 Solo grampeado

O solo grampeado consiste numa técnica de estabilização de taludes, por meio da inserção de elementos estruturais passivos (grampos) em taludes naturais ou artificiais,

seguida da execução de um paramento de concreto projetado e estruturas de drenagem (Gondim, 2018).

Conforme Gondim (2018), o solo grampeado é constituído por chumbadores e um paramento geralmente constituído por concreto projetado. Os chumbadores são revestidos por calda de cimento, que tem como principal função a resistência à tração e ao cisalhamento. É usual a utilização de barras de aço comum (CA-50) nos chumbadores, mas também podem ser usados perfis ou cantoneiras, ambos metálicos. Também é afirmado que, na concepção do solo grampeado, os elementos resistentes (chumbadores) não são protendidos, ou seja, são elementos passivos.

3.2.1 Introdução

O objeto do segundo estudo é uma obra de recuperação de um talude em um empreendimento localizado no município de São José dos Campos, no qual foi executada uma obra em solo grampeado.

Na Figura 7 é apresentado o local do talude em estudo.



Figura 7 Obra em solo grampeado

Fonte: Acervo dos autores (2021).

Para o desenvolvimento dos esforços transversais (cisalhamento e flexão), é indispensável que o solo oponha resistência ao deslocamento transversal do grampo (Hachich; Camargo, 2006).

A obra de solo grampeado no empreendimento foi necessária por causa de uma movimentação de solo (escorregamento) que ocorreu por conta dos seguintes problemas:

a) *Solo saturado*: Quando foi realizada a primeira obra de talude nesse empreendimento, o talude em questão foi aterrado sobre uma mina de água sem a sua devida drenagem, o que gerou a primeira movimentação do solo (escorregamento por ruptura).

Na Figura 8 é apresentado o primeiro escorregamento do solo do talude.



Figura 8 Primeiro escorregamento do solo, próximo ao talude

Fonte: Acervo dos autores (2021).

Após essa primeira ruptura, foi implantado um dreno para essa mina de água. Porém, ele não foi executado por completo. Isso resultou no rompimento dessa tubulação de drenagem, acarretando uma nova ruptura do solo, mais crítica que a primeira.

Na Figura 9 é apresentada essa segunda ruptura do solo.



Figura 9 Pavimento próximo ao talude, com recalque devido ao segundo escorregamento ocorrido no talude em solo

Fonte: Acervo dos autores (2021).

b) *Má compactação do solo*: Não houve um controle tecnológico de compactação do aterro no talude, portanto não existem informações a respeito da execução desse aterro. Mas há evidências no local de que o solo desse aterro possuía uma baixa resistência, indicando que ele foi mal compactado.

Além desses dois principais fatores, houve outros pontos que contribuíram para essa movimentação do solo, como a presença de matéria orgânica no solo de aterro e a ausência de uma análise de estabilidade no projeto desse talude.

Após vários estudos, foi decidida a utilização da obra de solo grampeado para a recuperação desse talude. Apesar de haver várias alternativas como método de contenção, o solo grampeado foi adotado por causa da existência de uma construção localizada na crista do talude.

Na Figura 10 é apresentada a localização da edificação na crista do talude.



Figura 10 Edificação na crista do talude em recuperação

Fonte: Acervo dos autores (2021).

3.2.2 Projeto e execução

Segundo o consultor geotécnico da obra, a maior dificuldade da escolha do tipo de contenção foi devida à existência de uma edificação na crista do talude, que não poderia sofrer qualquer tipo de movimentação que pudesse induzir a ocorrência de uma nova ruptura do talude em recuperação.

No caso do talude estudado, a concepção do projeto de uma obra de contenção em solo grampeado foi adequada pelo fato de que o corte do talude é executado de cima para baixo, e, ao mesmo tempo, os chumbadores são executados em linhas do mesmo sentido do corte, trabalhando como um elemento de reforço do talude. A opção por esse tipo de obra de contenção também foi devida à existência de um muro e uma casa na crista do talude. Dessa forma, o talude ia sendo reforçado ao longo da execução da obra, garantindo maior segurança à casa e ao muro.

Na Figura 11 são ilustradas as fases de execução típicas de um solo grampeado, de maneira geral. Ele é sempre executado de cima para baixo, por níveis e em trechos horizontais curtos (nichos) alternados, de maneira semelhante à execução de uma cortina atirantada. Após a escavação de cada nicho, executam-se a perfuração e a introdução do

chumbador (grampo). Em seguida, é feita a aplicação de concreto projetado, reforçado por uma tela metálica ou por fibras. Após a conclusão de um nível inteiro de chumbadores, é iniciada a escavação do nível inferior, com a mesma metodologia. Essa sequência construtiva é essencial para garantir a segurança da obra ao longo da sua execução.

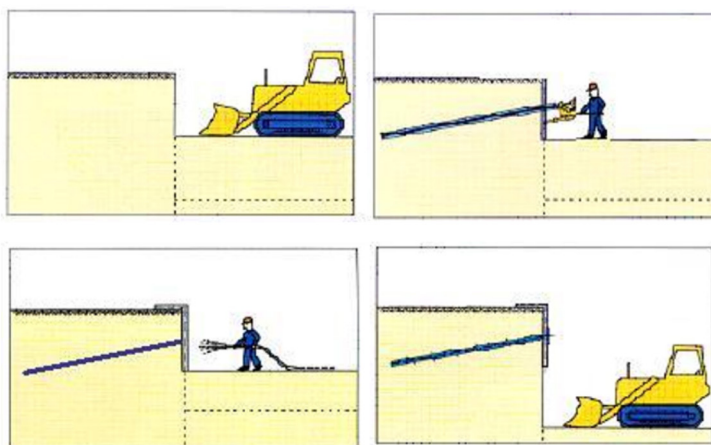


Figura 11 Fases de execução do solo grampeado

Fonte: Dýnamis Engenharia Geotécnica (2021).

Os grampos foram instalados *in loco* por meio das operações de perfuração e fixação de armação com injeção de calda de cimento. Foram executadas sete linhas de grampos, com a utilização de chumbadores com inclinação de 15° com a horizontal e diâmetro de perfuração de 75 mm. O valor da adesão entre solo e calda de cimento (Q_s) adotada em projeto foi de 60 kPa.

Apesar de usualmente o paramento do solo grampeado ser executado em concreto projetado, o paramento adotado foi um geocomposto formado por uma geomanta flexível tridimensional permeável e um reforço metálico em malha hexagonal, por suas características de elevada capacidade antierosiva e elevada resistência à tração, sendo indicado para situações em que existam taludes susceptíveis a processos erosivos com grandes alturas e inclinações acentuadas, agregando as vantagens de uma geomanta a um elemento de reforço.

Realizou-se o sistema de proteção superficial do talude com a aplicação de grama em placas, o que foi possível pelo fato de o geocomposto ser um elemento drenante.

Na Figura 12 é apresentada uma vista geral da obra.



Figura 12 Talude com paramento de geocomposto

Fonte: Acervo dos autores (2021).

3.2.3 Ensaio

Para avaliação da estabilidade do talude, o fator de segurança adotado foi o valor mínimo recomendado pela NBR 11682 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009), ou seja, $FS \geq 1,5$, admitindo o nível de segurança mínimo necessário a um local com alto risco de danos humanos (vítimas fatais), materiais e ambientais.

Na Tabela 2 são apresentados os fatores de segurança conforme o seu nível de segurança.

TABELA 2

Indicação dos fatores de segurança mínimos de acordo com o nível de segurança

Grau de segurança necessário ao local	Métodos baseados no equilíbrio-limite	Tensão-deformação
	Padrão: fator de segurança mínimo (A)	Padrão: deslocamento máximo
alto	1,50	Os deslocamentos máximos devem ser compatíveis com o grau de segurança necessário ao local, à sensibilidade de construções vizinhas e à geometria do talude. Os valores assim calculados devem ser justificados.
médio	1,30	
baixo	1,15	

(A) Podem ser adotados fatores diferentes, desde que justificados.

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009).

A obra em questão foi submetida ao ensaio de arrancamento, de acordo com a norma NBR 14827 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2002), que tem o objetivo de calcular a adesão entre solo e calda de cimento (Qs), que é de suma importância para a verificação dos parâmetros do projeto. Esses ensaios são os que atestam a qualidade dos chumbadores, verificando se eles estão de acordo com os parâmetros determinados em projeto. Para esses ensaios, foram instalados três chumbadores estratégicos para serem submetidos ao ensaio de arrancamento.

3.2.4 Custos

De acordo com o Sicro (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, 2021), com a última atualização de dados em janeiro de 2021, o custo médio do m² da execução do solo grampeado está em torno de R\$ 1.000,00.

O custo médio dessa obra de contenção estudada foi de aproximadamente R\$ 1.500,00/m², valor que abrange os custos de escavação, aterro, fornecimento e instalação dos chumbadores (perfuração, injeção da calda de cimento e armação dos grampos), fornecimento e aplicação do geocomposto (formado por uma geomanta flexível tridimensional permeável e um reforço metálico em malha hexagonal). Vale ressaltar que o custo desse tipo de obra de contenção varia bastante, dependendo da altura do talude, do tipo de solo existente no local da obra e de sobrecargas sobre o talude.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Ensaio de recebimento dos tirantes

Na obra do Museu do Ipiranga, os tirantes foram submetidos a ensaios de recebimento, para determinar o comportamento carga-deslocamento do sistema.

Como exemplo, na Tabela 4 e nos gráficos 1 e 2, são apresentados os resultados do ensaio de recebimento do tirante T-114. Suas propriedades estão apresentadas na Tabela 3.

TABELA 3

Propriedades do tirante

Tirante nº = T-114		Data da Protensão = 12/08/2021	
Tirante Monobarra DW 36 mm		Tensão de Escoramento (Ve)	= 950,00 Mpa
Área (Sf)	= 10,18 cm ²	Carga Inicial (F0)	= 7,00 tf
Trecho Livre	= 15,00 m	Carga de Trabalho (Ftrab.)	= 50,00 tf
Trecho Ancorado	= 10,00 m	Carga Máxima (1,4*Ftrab.)	= 70,00 tf
Trecho Externo	= 0,60 m	Carga Limite (F lim = 0,9*Sf*Ve)	= 87,04 tf
Comprimento Total	= 25,60 m	Inclinação Vertical	= 20,00 °
Diâmetro Perfuração	= 15,00 cm		

Fonte: Enbrageo Engenharia Ltda. (2021).

TABELA 4

Dados do ensaio

Carga		Descarga		Incorporação	
Carga (tf)	Deformação (mm)	Carga (tf)	Deformação (mm)	Carga (tf)	Deformação (mm)
7,0	0,0	70,0	54,0	50,0	42,0
15,0	5,0	60,0	54,0		
30,0	20,0	50,0	48,0		
40,0	29,0	40,0	40,0		
50,0	38,0	30,0	30,0		
60,0	46,0	15,0	16,0		
70,0	54,0	7,0	9,0		

Fonte: Enbrageo Engenharia Ltda. (2021).

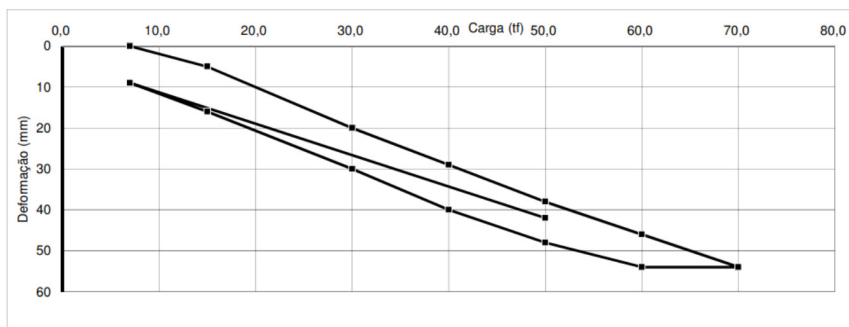


Gráfico 1 Carga versus deslocamento total

Fonte: Enbrageo Engenharia Ltda. (2021).

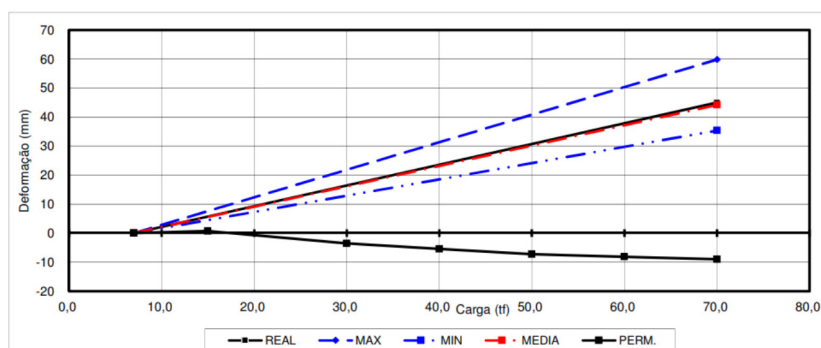


Gráfico 2 Carga versus deslocamento elástico e permanente

Fonte: Enbrageo Engenharia Ltda. (2021).

A partir das informações apresentadas na Tabela 4, foi elaborado o Gráfico 1, que corresponde à curva carga *versus* deslocamento total do tirante ensaiado.

Os tirantes devem possuir deslocamento máximo da cabeça entre as linhas de máximo e de mínimo do Gráfico 2. O limite máximo corresponde ao alongamento de um trecho livre real maior do que o projetado. Nele o trecho livre real é igual ao trecho livre de projeto somado à metade do trecho ancorado de projeto. Já o limite mínimo corresponde a um trecho livre igual a 80% do trecho livre projetado. O deslocamento permanente corresponde ao deslocamento do bulbo de ancoragem.

Por meio da análise do Gráfico 2, conclui-se que o tirante ensaiado está dentro da faixa estipulada pela norma NBR 5629 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2018).

Apesar das dificuldades na realização das obras no último subsolo, por causa da presença de solo de baixa resistência, a utilização de uma cortina atirantada atendeu às necessidades da obra. Não houve ocorrência de deformações em solos vizinhos, e foi possível a utilização da área do plano superior do talude, para a realização da reforma do Museu.

4.2 Ensaio de arrancamento dos chumbadores

Na obra do empreendimento em São José dos Campos, os chumbadores foram submetidos aos ensaios de arrancamento, para a determinação da sua resistência à tração.

Na Tabela 5, são apresentadas as propriedades dos chumbadores, que foram adotadas no pré-dimensionamento deles. Na Tabela 6 e no Gráfico 3, são apresentados os resultados do ensaio de arrancamento de um dos chumbadores. Suas propriedades estão apresentadas na Tabela 5.

TABELA 5

Propriedades adotadas no pré-dimensionamento

Descrição	Valor	Unidade
Comprimento de reforço	12,00	m
Diâmetro da barra	20,00	mm
Espaçamento (HXV)	1,5x1,5	m
Inclinação do grampo	15	°
Resistência à tração do grampo	136,6	kN
Resistência ao arrancamento	60,00	kPa

Fonte: ENG Consultoria (2021).

TABELA 6

Dados do ensaio

TF	PRESSÃO (kg/cm ²)	DEFORMAÇÃO (mm)
0	0	1
1,8	9	1
3,6	18	1
5,4	27	1,5
3,6	18	1,5
1,8	9	1,4
0,9	4,5	1
1,8	9	1
3,6	18	1
5,4	27	1
7,2	36	1,5
9	45	1,8
7,2	36	2
5,4	27	2
3,6	18	1,5
1,8	9	1,5
0,9	4,5	1

Fonte: E. G. Barros (2021).

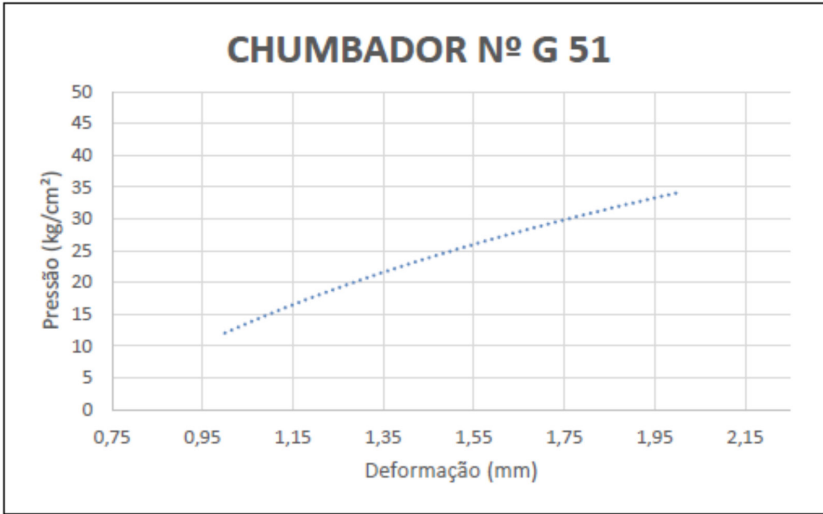


Gráfico 3 Pressão *versus* deformação

Fonte: E. G. Barros (2021).

A partir das informações apresentadas na Tabela 6, foi elaborado o Gráfico 3, que corresponde à curva pressão *versus* deformação total do chumbador ensaiado.

O cálculo de Q_s (adesão entre solo e calda de cimento) realizado por meio do ensaio de arrancamento é a relação entre a força de arrancamento (kgf) e a área do furo (cm²).

Embora os chumbadores em estudo não tenham sido submetidos até o seu rompimento total, por meio da análise do gráfico em comparação aos dados adotados no pré-dimensionamento, o valor de Q_s obtido pelo ensaio de arrancamento está dentro do estipulado em projeto.

O uso do solo grampeado nessa contenção de São José dos Campos foi satisfatório em termos de execução e desempenho. Apesar de alguns fatores que dificultaram a execução da contenção, como um solo pouco resistente e a presença de sobrecarga na crista do talude, houve apenas um leve deslocamento vertical do solo após a execução da obra de contenção, o qual não foi o suficiente para causar algum dano às obras vizinhas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar de ambas as obras possuírem um método executivo similar, sendo executadas de cima para baixo, elas pertencem a dois grupos completamente diferentes: cortina atirantada, que é uma obra de contenção com elemento estrutural externo, e solo grampeado, que é uma obra de contenção com maciço de solo reforçado. No caso da utilização de solo grampeado, pelo fato de o talude ser íngreme, foi possível a adoção de uma obra com paramento flexível.

A escolha de cada tipo de obra de contenção para a sua respectiva obra mostrou-se vantajosa em razão das especificidades de cada uma delas. Para a revitalização do Museu do Ipiranga, a cortina atirantada foi a mais recomendada pelo fato de resistir a uma carga maior, de forma a assegurar a estabilidade da fundação junto à edificação do Museu e a construção de novos ambientes nos subsolos.

Para a obra de recuperação do talude rompido no empreendimento em São José dos Campos, o solo grampeado mostrou-se mais vantajoso por conta de seu método executivo, por meio do qual o talude ia sendo reforçado ao longo da sua execução, garantindo a segurança do muro e da casa, situados na crista do talude, evitando quaisquer riscos de deslizamento decorrentes dessas sobrecargas aplicadas no topo do talude.

A partir do estudo dessas duas obras de contenção, foi possível observar que a obra em cortina atirantada apresentou-se economicamente mais cara que a obra em solo grampeado, por m² construído, em razão de alguns fatores, tais como: paramento da cortina atirantada ser de concreto projetado, enquanto a do solo grampeado foi de um geocomposto; necessidade do uso de tirantes (em vez de chumbadores) para resistir a uma carga de empuxo maior etc.

Embora esta pesquisa não tenha como objetivo recomendar ou rejeitar qualquer um dos tipos de obras de contenção estudados, espera-se que essa análise comparativa entre esses dois métodos, apresentada neste artigo, tenha como foco principal analisar as suas diferenças quanto às características e aos custos, criando uma base útil de informações para o auxílio na tomada de decisão para escolha do tipo de obra de contenção para cada caso a ser estudado.

Deve-se observar que os dois tipos de obras de contenção apresentados neste artigo foram aplicados em obras diferentes. Existem possibilidades de estudos futuros comparativos sobre o assunto em questão, pois poderiam ser comparadas essas duas soluções quando aplicadas a um mesmo local.

EARTH RETAINING STRUCTURES: COMPARATIVE STUDY BETWEEN ANCHORED WALL AND SOIL NAILING

Abstract

This article aims to study the construction of anchored wall and soil nailing, comparing the technical characteristics of projects, execution, performance, costs, advantages and disadvantages between them. For this, a bibliographical review of some types of earth retaining structures, with a more detailed study of anchored wall and soil nailing. Finally, two cases are presented: a revitalization work at Museu do Ipiranga, in São Paulo (SP), where the anchored wall is used as an earth retaining structure to create an additional basement. And a construction in São José dos Campos (SP), where the soil nailing is used to restore a failed slope. The reasons for choosing each earth retaining structures are presented by their advantages, disadvantages and results obtained for each solution.

Keywords: Earth retaining structures. Anchored wall. Soil nailing.

REFERÊNCIAS

ALVES, L. L. *Análise para otimização dos custos de cortinas atirantadas*. 2014. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <http://repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10012072.pdf>. Acesso em: 22 maio 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 14827*: chumbadores instalados em elementos de concreto ou alvenaria – determinação de resistência à tração e ao cisalhamento. Rio de Janeiro: ABNT, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 11682*: estabilidade de encostas. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5629*: tirantes ancorados no terreno. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. Sicro. Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/custos-e-pagamentos/custos-e-pagamentos-dnit/sistemas-de-custos/sicro>. Acesso em: 11 nov. 2021.

DINIS, H. Teoria – aula 6: Cortina de contenção. São Paulo: Universidade Presbiteriana Mackenzie, 2020.

DYÑAMIS ENGENHARIA GEOTÉCNICA. A vez do solo grampeado na construção civil. Disponível em: <https://dynamisbr.com.br/2016/06/29/a-vez-do-solo-grampeado-na-construcao-civil/>. Acesso em: 11 nov. 2021.

DYWIDAG-SYSTEMS INTERNATIONAL. Sistemas DYWIDAG. Disponível em: <https://silo.tips/download/sistemas-dywidag-st-85-105>. Acesso em: 11 nov. 2021.

E. G. BARROS. Ensaio de arrancamento. São Paulo, 2021.

ENBRAGEO ENGENHARIA LTDA. Ensaio de recebimento de tirantes. São Paulo, 2021.

ENG CONSULTORIA. Relatório geotécnico – recuperação de taludes. São Paulo, 2021.

GERSCOVICH, D.; DAZINGER, B. R.; SARAMAGO, R. *Contenções: teoria e aplicações em obras*. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2019.

GONDIM, A. *Dimensionamento geotécnico de solo grampeado*. 2018. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/21654/1/TCC%20-%20DIMENSIONAMENTO%20GEOT%20CNICO%20DE%20SOLO%20GRAMPEADO.pdf>. Acesso em: 22 maio 2021.

HACHICH, W.; CAMARGO, V. E. L. B. Sobre a contribuição dos grampos à estabilidade de estruturas de solo grampeado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, 13., 2006, Curitiba. Curitiba, 2006. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Waldemar-Hachich/publication/319162096_Sobre_a_contribuicao_dos_grampos_a_estabilidade_de_estruturas_de_solo_grampeado/links/5995d64b458515017ea5f5f5/Sobre-a-contribuicao-dos-grampos-a-estabilidade-de-estruturas-de-solo-grampeado.pdf. Acesso em: 22 maio 2021.

HACHICH, W.; FALCONI, F. F.; SAES, J. L.; FROTA, R. G. Q.; CARVALHO, C. S.; NIYAMA, S. *Fundações: teoria e prática*. 2. ed. São Paulo: Pini, 1998.

LUZ, P. A. C.; YASSUDA, C. T. *Estabilização de taludes: solos do litoral de São Paulo*. Santos: ABMS, 1994.

MASSAD, F. *Obras de terra: curso básico de geotecnia*. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

ZIRLIS, A.; PITTA, C. A. Chumbadores injetados: a qualidade do solo grampeado. In: SEMINÁRIO DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES ESPACIAIS E GEOTECNIA, 4., 2000, São Paulo. São Paulo, 2000.

Contato

Paulo Afonso de Cerqueira Luz

E-mail: paulo.luz@mackenzie.br

Tramitação

Recebido em: 09/03/2022

Aprovado em: 07/03/2023