

Análise da Resistência ao Cisalhamento no Contato Solo-Grampo Através do Ensaio de Arrancamento

Luís Fernando Machado Beserra

Especialista em Engenharia Geotécnica, Universidade Paulista, São Paulo, Brasil,
luis.beserra@outlook.com.br

Marcos Fábio Porto de Aguiar

Professor associado, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza, Brasil,
marcosporto@ifce.edu.br

Giullia Carolina de Melo Mendes

Mestranda em Geotecnia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Brasil, giucmendes@gmail.com

Samuel Castro Prado

Mestrando em Tecnologia e Gestão Ambiental, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza, Brasil, samuelcastroprado@hotmail.com

Lívia Vasconcelos Cavalcante

Graduanda em Engenharia Civil, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza, Brasi, liviavcavalcante@gmail.com

RESUMO: O solo grampeado é uma técnica eficaz para estabilização de taludes por meio do reforço do solo. Entretanto, por tratar-se de uma solução recente, estudos e normativas específicas são necessários para que haja uma maior eficiência de obras que utilizem tal procedimento. Sendo assim, este trabalho apresenta um estudo de caso sobre a estabilização de um talude a margem da pista oeste da rodovia Presidente Castello Branco, KM42, no Estado de São Paulo, em que se adotou como solução o reforço em solo grampeado com paramento verde na porção superior do talude, seguida de uma regularização com inclinação 1V:1,5H em sua porção inferior, utilizando-se de grampos com 12 m de comprimento, inclinação de 15° com a horizontal e espaçamento vertical de 1,5m e horizontal de 1,4m. Após estudo de caracterização do solo em aspectos geológico e geotécnico, realizou-se ensaios de arrancamento e comparou-se os parâmetros obtidos a partir dos ensaios e os valores estabelecidos em projeto. Por fim, foi possível verificar que os valores de resistência ao arrancamento obtidos por meio dos ensaios são superiores aos valores determinados em projeto, o que evidencia a necessidade de uma normatização mais específica da temática a fim de estabelecer melhor eficiência técnica e financeira da solução geotécnica estudada.

PALAVRAS-CHAVE: Solo grampeado. Ensaio de arrancamento. Estabilidade de taludes.

ABSTRACT: Soil Nailing is an effective technique for stabilizing slopes by strengthening the soil. However, as it deals with a more recent solution, specific studies and standards are necessary for greater efficiency in works that use this procedure. Therefore, this work presents a case study on the stabilization of a margin Presidente Castello Branco highway, 42KM, located in the State of São Paulo, which it adopted as a solution or reinforcement in soil fixed with a green parameter at the top of the slope, followed by a regularization with slope 1V: 1.5H at its bottom, using clamps 12 meters long, inclination of 15° with horizontal and vertical spacing of 1.5m and horizontal of 1.4m. After studying soil characterization in geological and geotechnical aspects, organization tests and comparison with parameters selected from tests and values applied in the project were carried out. Finally, it was possible to verify which the resistance values to the arrangement and to test through tests are superior to the values recommended in projects, or that show the need for a more specific standardization of the theme or end of better technical and financial evaluation of the geotechnical technique studied.

KEYWORDS: Soil Nailing. Withdrawal test. Slope stability.

1 Introdução

Devido ao aumento no crescimento econômico e populacional, faz-se necessário cada vez mais o investimento em obras de infraestrutura, que em muitas vezes ocorrem em regiões onde o relevo é desfavorável. Diante disso, durante a construção, surge a necessidade de se realizar obras de contenção, sendo uma das soluções adotadas, a técnica em solo grampeado, que, com a sua praticidade torna-se mais atraente e eficiente que outras opções disponíveis. O objetivo desse artigo é abordar a referida técnica de contenção de talude, por meio de estudo de caso e de avaliação do desempenho da adesão solo/grampo em diferentes fases de injeção.

2 Metodologia Executiva do Solo Grampeado

A execução do solo grampeado é abordada por diversos autores na literatura. Entre eles, pode-se citar Zirlis (1999), De Souza *et al.* (2005) e Pitta *et al.* (2013). Inicia-se com a escavação do solo, podendo ser realizada de forma mecânica ou manual. Em seguida, a primeira linha de chumbadores é executada, pressequindo a aplicação do revestimento frontal, sendo, normalmente, a execução realizada de cima para baixo. Em taludes naturais ou previamente cortados, os trabalhos podem ser iniciados de forma descendente ou ascendente. Simultaneamente, é executado o sistema de drenagem, utilizando drenos profundos, paramentos e canaletas.

Os grampos, utilizados nessa solução, são inclusões semi-rígidas capazes de resistir à tração e ao cisalhamento, as quais são moldadas *in loco*, onde são preparadas recebendo uma aplicação de proteção anticorrosiva. Logo após, são instalados centralizadores e mangueiras de injeção, que são divididas em trechos conforme especificado em projeto. A Figura 1 apresenta as partes constitutivas de um chumbador de solo grampeado.

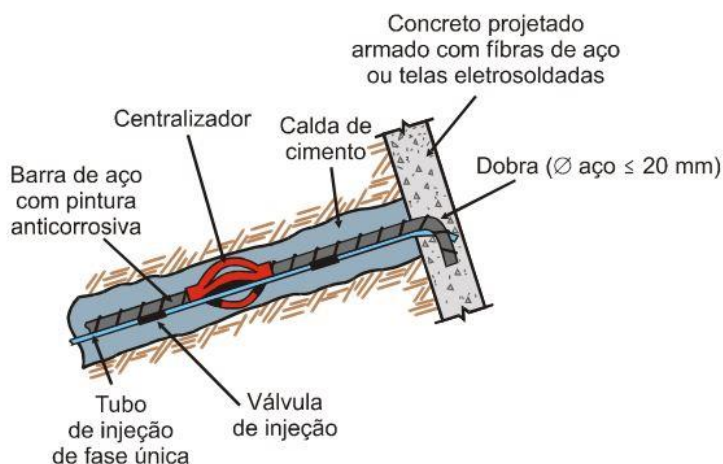


Figura 1. Partes constitutivas de um chumbador. Fonte: Zirlis (1999).

A injeção do grampo é realizada por um fluido cimentante, podendo ser utilizado calda de cimento, para solos, ou resina, para materiais rochosos. Algumas técnicas empíricas recomendam fator água cimento de 0,5. O processo de injeção pode ser dividido em setores, pois conforme o dimensionamento do projeto, a injeção pode ocorrer através de uma única fase (bainha), ou várias fases distintas.

Após finalizada a introdução e injeção dos grampos, é executada a proteção da face do talude, a fim de que a mesma não sofra com rupturas localizadas e erosões superficiais. Esta proteção pode ser realizada de duas maneiras distintas: através de grama em placa e tela metálica ou por meio de concreto projetado.

A drenagem é um elemento importante quando se fala em estrutura de contenção, pois um sistema desse tipo, executado adequadamente, protege a face de possíveis deteriorações causadas pela água e previne a geração de poropressões no interior do maciço. A estrutura em solo grampeado com paramento verde, devido a sua face verde, possui um sistema de drenagem natural. Já as estruturas em concreto projetado precisam estar protegidas contra infiltração de água, pois esta pode resultar em carregamentos na face, acarretando em deslizamento ou ruptura do solo.

3 Dimensionamento

O dimensionamento de uma estrutura em solo grampeado, abordado por autores como Campos (2015), Franco (2016) e Corte (2017), é realizado por meio da análise da estabilidade do talude a ser contido, a partir da verificação dos fatores de segurança em diferentes condições pré-determinadas, pelo conceito de equilíbrio limite. As análises da interação solo-grampo devem ser realizadas considerando três tipos distintos de ruptura global: ruptura externa, mista e interna, apresentados na Figura 2. Para os dois últimos tipos, devem ser considerados a ruptura e arrancamento dos grampos.

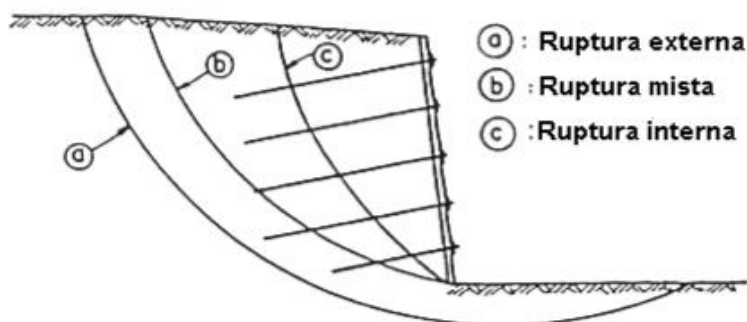


Figura 2. Tipos de ruptura no estado limite último. Fonte: Clouterre (1991).

Tendo em vista que os grampos são mobilizados a cisalhamento e flexão, a interação entre solo-grampo torna-se complexa, que por sua vez, devem ser considerados outros modelos de ruptura, como a ruptura do solo abaixo do grampo e ruptura dos grampos por flexão.

Os esforços de cisalhamento presentes na superfície de ruptura são equilibrados através da introdução dos grampos no qual ultrapassam esta superfície, e resistem aos esforços. Sendo assim, após definida a superfície de ruptura, é estimada a disposição dos grampos juntamente com as características em relação ao diâmetro, inclinação em relação a horizontal, comprimento e tipo de rugosidade da barra.

Um das maiores dificuldades na execução de uma estrutura em solo grampeado é encontrar a relação confiável para se determinar a resistência ao arrancamento (q_s). Devido a tal fato, a interação solo-grampo vem sendo vastamente estudada por diversos pesquisadores, entre eles Da Silva (2005), Magalhães (2005), De França (2007) e D'Hyppolito (2017).

4 Ensaio de Arrancamento

O objetivo do ensaio de arrancamento é determinar a resistência ao arrancamento (q_s), que é obtida em função da carga axial de tração nos grampos (T_n) e de suas dimensões, conforme observado na Figura 3.

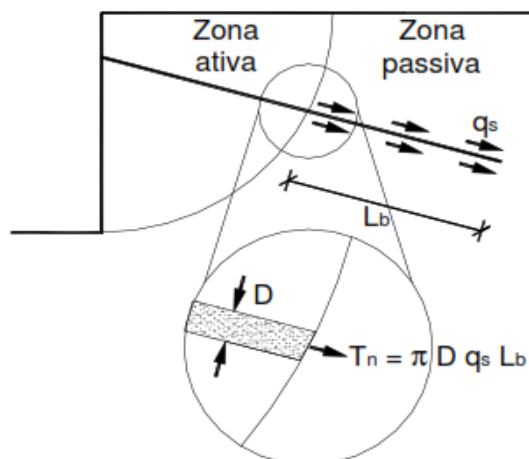


Figura 3. Tração no grampo. Fonte: Ortigão *et al.* (1993).

Onde: q_s = Resistência ao arrancamento mobilizada; D = Diâmetro da perfuração; L_b = Comprimento do bulbo (zona passiva do grampo); T_n = Carga axial de tração cortante no grampo.

Este ensaio consiste em aplicar cargas de tração, por meio de um macaco hidráulico à barra de aço ancorada no terreno. Com isso, para cada carga aplicada, registra-se o deslocamento de arrancamento do grampo, onde através da curva carga x deslocamento, obtém-se a máxima carga axial de tração cortante no grampo. A resistência ao arrancamento obtida através do ensaio possui unidade de tensão é definida conforme a Equação 1.

$$q_s = \frac{F_{\max}}{\pi D L_{\text{ancorado}}} \quad (1)$$

Onde:

q_s = Resistência ao arrancamento mobilizada;

F_{\max} = Máxima carga axial de tração cortante no grampo;

D = Diâmetro da perfuração;

L_{ancorado} = Comprimento ancorado ou injetado do grampo.

A Figura 4 apresenta o típico esquema para realização de ensaio de arrancamento, que pode ser realizado antes e também durante a obra, para confirmação dos parâmetros definidos em projeto.

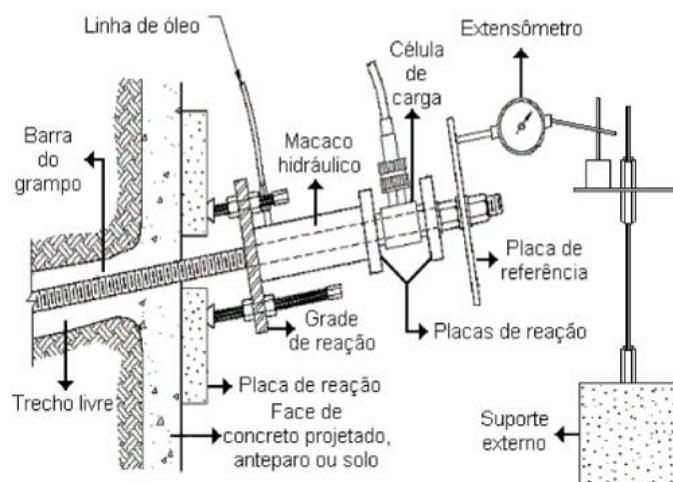


Figura 4. Montagem do ensaio de arrancamento. Fonte: Adaptado de Lazarte *et al.* (2003).

A Tabela 1 apresenta as quantidades de ensaios a serem realizados, segundo Clouterre (1991), em uma estrutura de solo grampeado. Os ensaios preliminares são realizados na fase de projeto, os ensaios de conformidade são realizados durante a construção para se verificar os valores de q_s do projeto e os ensaios de inspeção são realizados durante a obra, próximos aos grampos permanentes.

Tabela 1. Número de ensaios de arrancamento.

Ensaio de arrancamento			
Área da face (m ²)	Preliminares e de conformidade	Área da face (m ²)	De inspeção
Até 800	6	Até 1000	5 (para cada camada de solo) e 1 (para cada fase de escavação)
800 a 2000	9		
2000 a 4000	12		
4000 a 8000	15	Maior que 1000	Aumenta-se em 1 para cada 200m ²
8000 a 16000	18		
16000 a 40000	25		

Fonte: Clouterre (1991).

5 Estudo de Caso

Este artigo apresenta as etapas de projeto da solução adotada para contenção de um talude localizado nas margens da pista oeste da rodovia Presidente Castello Branco, KM42, no Estado de São Paulo, com ocorrência prévia de ruptura. Este talude consiste em um aterro com altura aproximada de 16 m e inclinação da ordem de 1,5(H):1,0(V), e apresenta uma trinca de ruptura bem definida junto à crista. A provável causa da ruptura seria a perda de coesão aparente, causada pelo avanço de uma frente de saturação, devido a ocorrência súbita de um evento de precipitação pluviométrico intenso.

5.1 Caracterização Geotécnica

Para o estudo, foram realizadas 4 sondagens SPT, que apresentaram uma camada de aterro de granulometria relativamente homogênea, constituído de silte argiloso e argila siltosa. A espessura do aterro no nível da rodovia variou entre 19,00 e 22,50 m, com índices de resistência a penetração (N_{SPT}) quase majoritariamente inferiores a 10 golpes, sendo típicos valores entre 4 e 10 golpes. Além disso, há a presença de aluvião argiloso sob o aterro, com espessura variando de 2,40 m e 3,58 m, e consistência variando de muito mole a média.

5.2 Fatores de Segurança

A escolha do fator de segurança mínimo a ser obtido nas análises foi realizada de acordo com as recomendações da Norma Brasileira de Estabilidade de Encostas (ABNT, 2009), que recomenda a definição deste, relacionando os níveis de segurança contra perda de vidas humanas e contra danos materiais e ambientais, considerando assim, para esse caso, um fator de segurança igual ou superior a 1,4.

5.3 Solução Proposta

A solução proposta trata-se de um reforço em solo grampeado com paramento verde na porção superior do talude, seguida de uma regularização com inclinação 1V:1,5H em sua porção inferior. O solo grampeado,

nesse caso, consiste de grampos com 12 m de comprimento, inclinação de 15° com a horizontal e espaçamento 1,5m (V) x 1,4 m (H).

5.4 Dimensionamento Geotécnico

O dimensionamento do solo grampeado foi realizado utilizando o método de Bishop Simplificado, através do programa SLIDE, considerando os grampos como elementos de reforço passivo constituídos de barras de aço CA50 Ø20mm, instaladas em furos injetados com 100 mm de diâmetro. A resistência ao arrancamento dos grampos foi estimada a partir da correlação entre adesão solo/grampo (q_s) e N_{SPT} proposta por Ortigão (1993), conforme Equações 2 e 3, adotando-se N_{SPT} de 4 golpes e obtendo-se resistência ao arrancamento de 25 kN/m.

$$q_s = 50 + 7,5 \times N_{spt} \quad (\text{Adesão solo/grampo}) \quad (2)$$

$$Q = \pi \times D \times q_s \quad (\text{Resistência ao arrancamento}) \quad (3)$$

Foi considerada uma sobrecarga rodoviária de 20 kPa ocorrendo em todo o pavimento. Também foi levado em consideração a condição crítica de aterro submetido ao avanço de uma frente de saturação com fluxo vertical e sem coesão aparente, em condições análogas à da retroanálise. No dimensionamento para este fator de segurança foi considerado reação igual a 0 (zero) na face do terrapleno, por este motivo não se utilizou o paramento em concreto e sim o paramento verde adotado no estudo.

5.5 Ensaio de Arrancamento

A resistência ao arrancamento prevista em projeto é determinada, em geral, através de fórmulas empíricas, sendo necessária à realização de ensaios *in loco* para confirmação do valor de q_s . Dessa maneira, procedeu-se, nesse caso, 6 ensaios de arrancamento de grampos, com os resultado obtidos apresentados nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2. Resultados de resistência obtidos nos ensaios.

Valores de resistência obtidos nos ensaios			
Fases de injeção	Ensaio	Carga máxima do ensaio (kgf)	Deslocamento (mm)
Bainha	EA3	22.000	3,64
	EA6	9.000	3,16
1ª fase	EA2	9.000	4,67
	EA5	9.000	2,77
2ª fase	EA1	12.000	2,33
	EA4	9.000	Ruptura interna

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 3. Valores de resistência ao cisalhamento.

Resultados de resistência ao cisalhamento (q_s)		
Fases de injeção	Ensaio	q_s obtido (kPa)
Bainha	EA3	1.688
	EA6	478

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 3. Valores de resistência ao cisalhamento (continuação).

Resultados de resistência ao cisalhamento (q_s)		
Fases de injeção	Ensaio	q_s obtido (kPa)
1ª fase	EA2	478
	EA5	478
2ª fase	EA1	637
	EA4	478

Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme apresentado na Tabela 4 é possível observar que os resultados de resistência ao arrancamento, são superiores aos estimados no projeto.

Tabela 4. Comparativo entre valores de resistência ao arrancamento do projeto e ensaios.

Fases de injeção	Ensaio	q_s projeto (KPa)	Q - Resistência ao arrancamento de projeto (kN/m)	q_s ensaio (kPa)	Q - Resistência ao arrancamento do ensaio (kN/m)
Bainha	EA3	80	25	1.688	530
	EA6			478	150
1ª fase	EA2			478	150
	EA5			478	150
2ª fase	EA1			637	200
	EA4			478	150

Fonte: Elaborado pelo autor.

6 Conclusão

O solo grampeado é uma técnica bastante empregada, nos últimos anos, e muito recomendada por vários executores e projetistas como uma solução de contenção, principalmente por suas vantagens, tais como: rapidez executiva, baixo custo, adaptabilidade às condições locais, devido à utilização de equipamentos de pequeno porte, entre outras. Porém, por ser uma técnica relativamente recente, necessita-se de mais estudos, pois, devido a uma ausência de normativa que rege a execução desta técnica, os detalhes construtivos, controles tecnológicos e metodologias de dimensionamentos não estão bem consolidadas. Tal fato pode ser observado nos resultados do estudo de caso, onde os ensaios mostraram resultados de q_s consideravelmente superiores ao estimado em projeto, mesmo que se considere fatores de segurança conservadores para tal parâmetro. Diante do exposto, pode-se concluir que a utilização da técnica em solo grampeado detém grande potencial de crescimento no país, entretanto, a elaboração de uma norma específica se torna cada vez mais necessária, pois alguns itens de projeto podem ser melhor avaliados e aperfeiçoados.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará pela bolsa do autor⁵.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira De Normas Técnicas (2009). NBR 11682. *Estabilidade de Encostas*. Rio de Janeiro.

CAMPOS, T. D. G. (2015) *Análise do Fator de Segurança de um Muro de Solo Grampeado*. Dissertação de mestrado, Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

CLOUTERRE. (1991) *Recomendations Clouterre 1991 – Soil nailing recommendations for designing, calculating, constructing and inspecting earth support systems using soil nailing*. French National Project Clouterre, English Language Translation, 302p.

CORTE, F. H. (2017) *Análise de Contenção em Solo Grampeado na Cidade de São Bernardo do Campo/SP*. Dissertação de mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas.

DA SILVA, T. P. (2005) *Resistência ao Arrancamento de Grampos de Solo Residual de Gnaisse*. Dissertação de mestrado, Departamento de Engenharia Civil da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

DE FRANÇA, F. A. N. (2007) *Ensaio de Arrancamento em Solo Grampeado Executados em Laboratório*. Dissertação de mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

DE SOUZA, G. J. T., PITTA, C. A., ZIRLIS, A. C. (2005) *Solo Grampeado - Aspectos Executivos do Chumbador*. Disponível em: < <http://www.solotrat.com.br/assets/pdf/2005-solo-grampeado-aspectos-executivos-do-chumbador.pdf> >. Acesso: Fevereiro de 2020.

D'HYPPOLITO, L. C. B. de S. (2017) *Relações Empíricas para Estimativa da Resistência ao Arrancamento de Ancoragens*. Dissertação de mestrado, Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

FRANCO, L. de A. (2016) *Solução em Solo Grampeado com Faceamento Flexível de Alta Resistência*. Dissertação de mestrado, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto.

LAZARTE, C. A., ELIAS, V. R.; ESPINOZA, D., SABATINI, P.J. (2003) *Soil nail walls. Geotechnical Engineering Circular no. 7*, Technical Manual. Federal Highway Administration, U. S. Department of Transportation. USA. 239p.

LIMA, A. P. (2007) *Comportamento de uma Escavação Grampeada em Solo Residual de Gnaisse*. Tese de Doutorado (Engenharia Civil). Área de concentração: Geotecnia. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

MAGALHÃES, M. A. (2005) *Resistência ao Arrancamento de Grampos com Fibras de Polipropileno*. Dissertação de mestrado, Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

ORTIGÃO, J.A.R, et al.(1993) *Experiência com solo grampeado no Brasil: 1970 – 1993*. *Solos e Rochas*, São Paulo, v 16:291.

PITTA, C. A., DE SOUZA, G. J. T., ZIRLIS, A. C. (2013) *Alguns Detalhes da Prática de Execução do Solo Grampeado*. VI Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas. Angra dos Reis-RJ.

ZIRLIS, A. C. (1999) *Solo Grampeado – Execução*. Mesa redonda da Associação Brasileira de Mecânica dos Solos (ABMS).