



Estudo da Resistência de Interface de Grampos Executados por Meio da Técnica de Reinjeção Setorizada

Max Gabriel Timo Barbosa
Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, maxtimo@gmail.com

George Joaquim Teles de Souza
Solotrat, São Paulo, Brasil, georgeteles@solotrat.com.br

Alberto Casati Zirlis
Consultor, São Paulo, Brasil, zirlis.alberto@gmail.com

André Pacheco de Assis
Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, aassis@unb.br

Renato Pinto da Cunha
Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, rpcunha@unb.br

RESUMO: Este trabalho objetiva mostrar a concepção de uma técnica alternativa para a execução de grampos em contenções de solo grampeado, chamada de reinjeção setorizada. Ilustrou-se as principais influências deletérias à resistência ao arrancamento no processo executivo convencional de grampos e buscou-se, com a técnica alternativa, compensar esses efeitos. Para isso, sete obras brasileiras foram analisadas, cada qual com mais de dois mil grampos. Os resultados encontrados foram sintetizados conservativamente, demonstrando as diferenças em performance entre a técnica convencional e a técnica alternativa. Encontrou-se melhora de no mínimo 93% na resistência ao arrancamento dos grampos com a técnica de reinjeção setorizada.

PALAVRAS-CHAVE: Reinjeção Setorizada, Resistência ao Arrancamento, Grampos, Solo Grampeado.

1 INTRODUÇÃO

O comportamento das contenções em solo grampeado baseia-se fundamentalmente na resistência de interface de inclusões metálicas passivas injetadas resistentes à tração inseridas no solo, denominadas grampos. Essa resistência de interface, também chamada de resistência ao arrancamento, é representada como q_s .

Em solos tropicais, cuja gênese comumente resulta em maior sensibilidade às técnicas de perfuração empregadas para a manufatura de grampos, podem existir feições que dificultam o atingimento do valor mínimo de q_s . Ademais, a

exsudação do ligante utilizado para adesão da inclusão resistente à tração ao solo é passível de ocorrer em qualquer tipo de maciço. Essa exsudação do ligante, o qual comumente é constituído de calda de cimento, resulta em vazios entre o grampo e o solo, diminuindo a área lateral do grampo e, conseqüentemente, a resistência da interface destes.

Dessa forma, a fim de compensar tanto a sensibilidade à perfuração e à exsudação do ligante uma técnica de reinjeção foi preconizada. Vê-se que a técnica também minimiza o desconfinamento local do maciço sendo contido e melhora suas condições geotécnicas, devido ao

processo executivo.

2 METODOLOGIA DE REINJEÇÃO

A execução tradicional da técnica de solo grampeado, vista na Figura 1, inicia-se pela perfuração; dessa forma, há um desconfinamento local do maciço, com plastificação progressiva e deslocamentos induzidos em direção ao interior do furo, resultando em um material de piores propriedades geotécnicas no entorno do furo. Posteriormente, há a injeção de ligante, do fundo do furo para a superfície deste, sem que haja pressão imprimida no ligante.

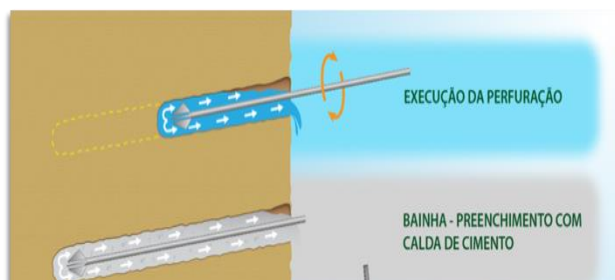


Figura 1. Perfuração e injeção do furo, nesse exemplo considerando a água como fluido de perfuração e a calda de cimento como ligante (modificado – Zirlis et al., 2015)

A Figura 2 ilustra os resultados de resistência ao arrancamento relatados por Ortigao & Sayao (2004) para grampos executados com a metodologia convencional, descrita na Figura 1.

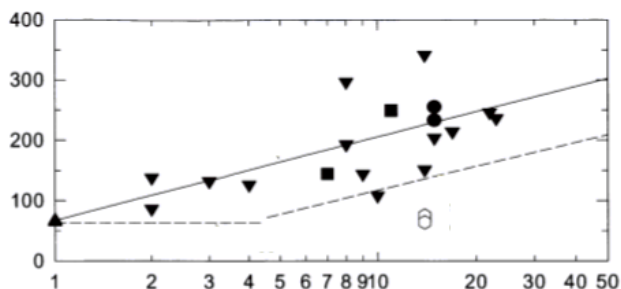


Figura 2. Gráfico N (número de golpes/30 cm) vs q_s (kPa) (Ortigao & Sayao, 2004).

Como não há pressão nessa injeção de grampos convencionais, o entorno do maciço não retorna ao estado de tensões prévio à perfuração e a adesão do ligante com a interface, apesar de oferecer resistência ao cisalhamento, é inferior à possível caso as propriedades do maciço estivessem intactas, e.g. sem desconfinamento e com mesmas propriedades geotécnicas.

Sendo assim, tentou-se desenvolver uma técnica que ao menos restabelecesse o estado de tensões naturais do entorno do maciço, antes da perfuração. Essa alternativa foi pensada como opção mais viável que a solução de aumento do número de grampos na contenção, ainda utilizada para compensar a menor resistência disponível ao arrancamento.

Para alcançar o objetivo de utilização do menor número de grampos e evitar retrabalho, pensou-se em um sistema em que houvesse possibilidade de injeção posterior sob pressão, denominada reinjeção.

Camberfort (1968), por meio do estudo da técnica de tube-à-manchette, observou a possibilidade da reinjeção alterar o maciço de forma a não só recondicionar o entorno do furo às tensões iniciais, mas também incrementar a tensão principal menor (σ_3) para níveis superiores aos existentes, mudando as condições de carregamento de ativo para passivo (Kim et al., 2012). Segundo Lunardi (2008), as injeções posteriores pressurizadas possuem tanto efeitos de melhoria, com possível incremento da coesão e do ângulo de atrito do local sendo injetado, como efeitos de conservação, com a manutenção ou restabelecimento da tensão principal menor.

Yin et al. (2009), Hossain & Yin (2011), Seo et al. (2012), Hong et al. (2013) e Wang et al. (2017) também observaram uma melhoria na resistência de interface dos grampos, q_s , devido à injeção sob pressão do ligante para casos de injeção de execução única, pressurizada. Todavia, o método de execução dos grampos empregado por esses pesquisadores não compensa os efeitos devido à exsudação do ligante, necessitando de adições para dirimir os efeitos retrativos dos ligantes, deletérios devido à redução da dilatância no arrancamento (Moosavi et al., 2005).

Ademais, alguns maciços não permitem a introdução eficaz de obturadores simples, utilizados nos estudos de Seo et al. (2012) e Hong et al. (2013), nem o uso de tamponamento do furo junto à face do talude, método utilizado por Yin et al. (2009) e Houssain & Yin (2011).

Dessa forma, preconizou-se uma metodologia que fosse passível de utilizar independentemente do tipo de maciço, de maneira análoga à execução de injeções tube-à-manchete. Para que a execução fosse mais expedita, resultando em menor retrabalho e uso menor de capital, com equipamentos mais simples, pensou-se no método da Figura 3.

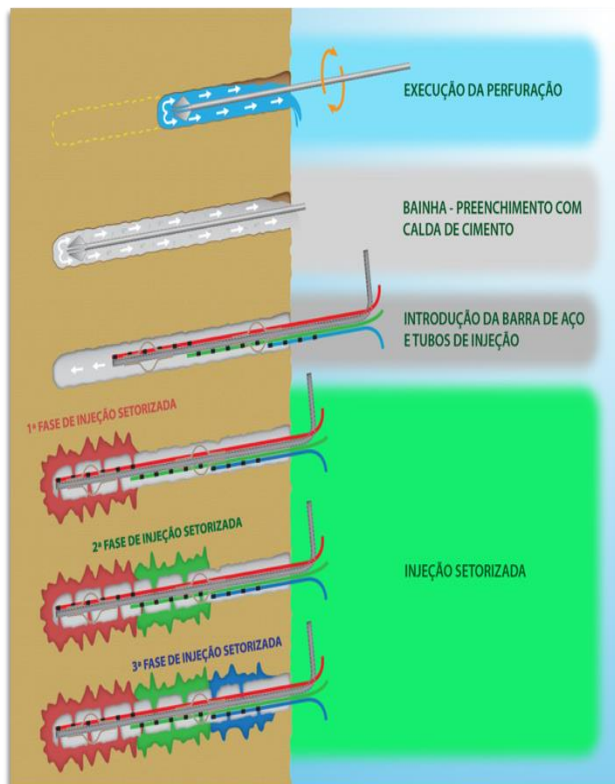


Figura 3. Sequência executiva da injeção sectorizada (Zirlis et al., 2015)

A metodologia consiste na introdução de tubos plásticos perdidos que são instalados juntamente com a armação dos grampos. Os tubos perdidos tem as pontas vedadas, sendo fragilizados em pontos determinados ao longo de seu comprimento em locais onde se pretende efetuar a reinjeção do ligante. Esses pontos fragilizados, vulgarmente designados de válvulas, são aqueles em que furos ou rasgos no tubo de reinjeção são feitos, protegidos apenas por uma fita gomada, ou similar, para isolar o interior do tubo perdido durante a introdução da armação, conforme visto na Figura 3. Os tubos perpassam totalmente o comprimento do furo, de forma a uniformizar a reinjeção dos grampos e evitar quaisquer pontos que, porventura, estejam com resistência ao arrancamento prejudicada devido aos efeitos deletérios da exsudação e do desconfinamento

do furo.

Os detalhes reais e esquemáticos dos grampos, sem o ligante, podem ser vistos na Figura 4.

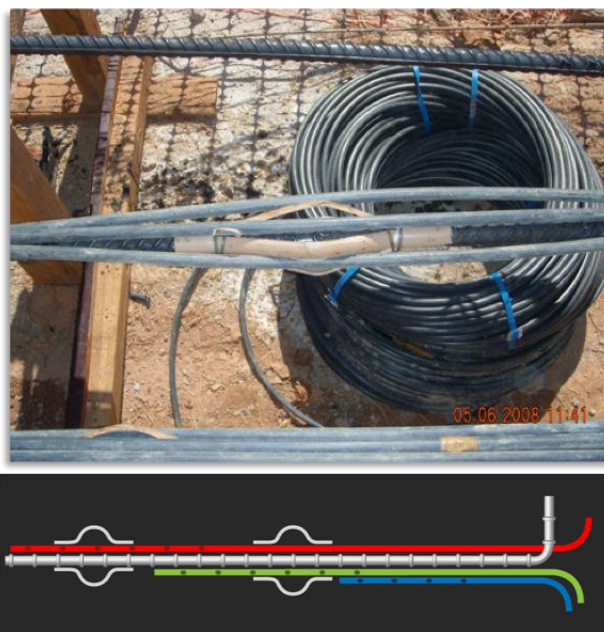


Figura 4. Detalhe dos tubos perdidos deixados para a reinjeção, juntos à armação do grampo e aos centralizadores

Após o endurecimento do ligante, é feita a reinjeção sectorizada. Esta é feita por meio de um obturador simples, introduzido na extremidade superior dos tubos perdidos, com o ligante rompendo as válvulas de fita gomada, nos pontos em que há menor confinamento do furo.

Um exemplo de exumação de grampo executado com a metodologia de reinjeção descrita pode ser visto na Figura 5.

A fim de verificar experimentalmente as premissas envolvidas na concepção da técnica, ensaios de arrancamento foram realizados em seis obras no estado de São Paulo e uma no Distrito Federal. Essas obras, cada qual com mais de 2000 grampos feitos, foram executadas utilizando a metodologia de reinjeção por setores. Estes grampos foram ensaiados de acordo com Lazarte et al. (2015), em que há mínimo de 1,0 m de trecho livre entre a face do talude e a parte ancorada e um mínimo de 3,0 m de comprimento ancorado, conforme visto na Figura 6.

Os ensaios foram feitos em 1,0 % dos grampos de cada obra, resultando em cerca de 150 ensaios de arrancamento em grampos executados com a metodologia de reinjeção setorizada.



Figura 5. Exumação de grampos executados com reinjeção (Zirlis et al., 2015)

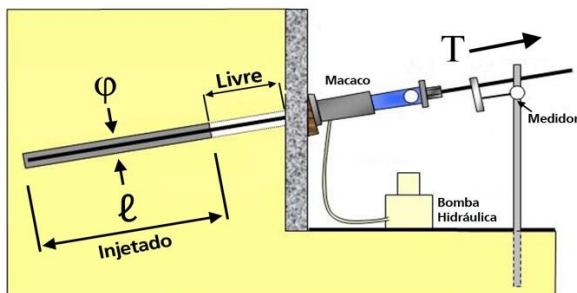


Figura 6. Montagem de ensaio de arrancamento. Trecho livre de 1,0 m e trecho ancorado de no mínimo 3,0 m (Zirlis et al., 2015)

3 RESULTADOS

Os ensaios de arrancamento são sumarizados na Figura 7, nesse presente artigo de forma conservativa, com o limite inferior dos resultados dos ensaios de arrancamento de cada obra sendo apresentado como um ponto único.

Relacionou-se, conforme Ortigao & Sayao (2004), a resistência ao arrancamento q_s , em kPa, com o número de golpes N do ensaio de sondagem à percussão SPT. A Tabela 1 apresenta, para cada obra, o tipo de solo, o N e o q_s .

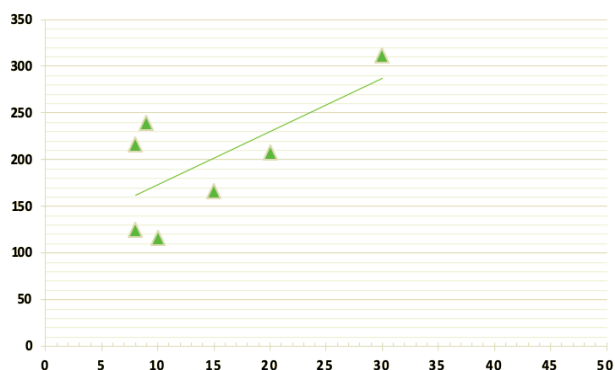


Figura 7. Gráfico N (número de golpes/30 cm) vs q_s (kPa). Cada ponto do gráfico é o limite inferior dos resultados dos ensaios de arrancamento de cada obra.

Tabela 1. Tipo de solo, q_s e N de cada obra

Obra	Tipo de solo	N	q_s (kPa)
1*	Argila porosa	10	116
2	Silte argiloso	8	216
3	Aterro e solo residual	8	125
4	Silte arenoso	9	239
5	Silte argiloso	15	166
6	Areia silto argilosa	20	208
7	Saprólito	30	312

*Obra em Brasília

4 DISCUSSÃO

Os principais resultados deste estudo demonstram que a técnica preconizada obtém maiores resistências ao arrancamento do que os resultados obtidos em grampos não reinjetados. Essa tendência foi encontrada para todos os tipos de solo ensaiados, confirmando estudos de Yin et al. (2009), Hossain & Yin (2011), Seo et al. (2012), Hong et al. (2013) e Wang et al. (2017) para injeções pressurizadas.

Apesar da dispersão significativa, indicou-se que mesmo considerando o limite inferior dos resultados de obra, as resistências ao arrancamento cresceram, comparando-se com o encontrado por Ortigao & Sayao (2004) para grampos executados de maneira convencional.

De acordo com os resultados, a ação da injeção pressurizada, para argilas normalmente consolidadas, argilas não consolidadas, areias, siltes e pedregulhos, resultou numa maior resistência ao cisalhamento na interface dos

grampos e, conseqüentemente, num maior q_s .

Notadamente, para os siltes arenosos de São Paulo, houve um acréscimo de mais de 400% na resistência ao arrancamento. Para a argila porosa de Brasília, em que foi encontrado o menor aumento nas resistências ao arrancamento dos grampos, houve um acréscimo de 93%, quando comparado aos resultados ilustrados por Ortigao & Sayao (2004). Ressalta-se que a argila porosa encontrada por estes autores apresentou N de 1, e neste artigo o N da argila porosa era de 10. De todo modo, o resultado da argila porosa nesse estudo foi o limite inferior dos resultados de campo.

Os resultados em siltes foram os mais surpreendentes, devido ao aumento considerável de q_s , mesmo para menores N. Hipotetiza-se esse comportamento dos maciços majoritariamente compostos de silte devido ao maior confinamento provido ao entorno do grampo, maior área lateral por conta do maior volume injetado nos grampos e o menor espaçamento entre grampos utilizado nas obras executadas, de até 1,5 m, possivelmente compensando a menor coesão de solos predominantemente siltosos.

5 CONCLUSÃO

Após observação das principais influências deletérias à resistência ao arrancamento no processo executivo convencional de solo grampeado, preconizou-se uma técnica alternativa de execução de grampos, denominada de reinjeção setorizada.

A técnica visa, por meio de tubos perdidos colocados ao longo de todo o comprimento dos grampos, realizar injeções pressurizadas em pontos fragilizados desses tubos perdidos, denominados de válvulas.

Nesse artigo, analisou-se a técnica de reinjeção setorizada por meio de ensaios de arrancamento em 7 obras da empresa Solotrat. Constatou-se que a técnica apresentou melhores resultados devido a diversos fatores. Hipotetizou-se que os principais fatores foram a melhoria do maciço no entorno do grampo por conta da restituição e aumento do confinamento provido pela tensão

principal menor e a compensação da exsudação do ligante devido a um volume injetado posteriormente. Ainda assim, sugere-se que estudos posteriores possam quantificar separadamente a influência de cada um desses fatores e, também, estimar a diferença entre grampos ensaiados isoladamente e grampos ensaiados em conjunto.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às diversas construtoras e projetistas que permitiram o uso dos dados deste artigo. Também reconhecemos a pioneira e fundamental importância de Cairbar Azzi Pitta, *in memoriam*, na preconização e aperfeiçoamento da técnica de injeção e reinjeção de grampos apresentada neste artigo.

REFERÊNCIAS

- Camberfort, H. (1968). *Soil Injection* (in Spanish). Ediciones Omega, Barcelona, ES, 532 p.
- Hong, C. Y., Yin, J. H., Pei, H. F., & Zhou, W. H. (2013). Experimental study on the pullout resistance of pressure-grouted soil nails in the field. *Canadian geotechnical journal*, 50(7), p. 693-704.
- Hossain, M. A., & Yin, J. H. (2011). Influence of grouting pressure on the behavior of an unsaturated soil-cement interface. *Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering*, 138(2), p.193-202.
- Kim, T. S., Sim, B. K., Kim, J. S., Lee, S. W., & Lee, I. M. (2012). Effect of pressurized grouting on anchor behavior in residual soils: Tae-Sub Kim Bo-Kyoung Sim Jong-Sun Kim. In *Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground* (pp. 547-554). CRC Press.
- Lunardi, P. (2008) *Design and Construction of Tunnels: Analysis of Controlled Deformations in Rock and Soils (ADECO-RS)*. 1st Edition. Springer. Berlin, DEU, 587 p.
- Moosavi, M., Jafari, A., & Khosravi, A. (2005). Bond of cement grouted reinforcing bars under constant radial pressure. *Cement and Concrete Composites*, 27(1), pp. 103-109.
- Ortigao J A R & Sayao A S F J (2004) *Handbook*

- of Slope Stabilisation*, Springer Verlag, Heidelberg, (pp. 372-373).
- Seo, H. J., Jeong, K. H., Choi, H., & Lee, I. M. (2012). Pullout resistance increase of soil nailing induced by pressurized grouting. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 138(5), pp. 604-613.
- Wang, Q., Xinyu, Y., Shanyong, W., Sloan, S.W., Sheng, D. (2017). Experimental investigation of compaction grouted soil nails. *Canadian Geotechnical Journal*. e-First Article : p. 1-11.
- Yin, J. H., Su, L. J., Cheung, R. W. M., Shiu, Y. K., & Tang, C. (2009). The influence of grouting pressure on the pullout resistance of soil nails in compacted completely decomposed granite fill. *Geotechnique*, 59(2), pp. 103-113.
- Zirlis, A. C., Souza, G. J. T., Pitta, C.A. (2015). *Manual de Serviços Geotécnicos*. Solotrat, São Paulo, SP, 93 p.