

# Controle de qualidade de calda de cimento para execução de grampos

Max Gabriel Timo Barbosa

Diretor, SCO Engenharia Geotécnica, Brasília, Brasil, max.barbosa@sco.eng.br

Max Valério Rodrigues Barbosa

Diretor, SCO Engenharia Geotécnica, Brasília, Brasil, max@sco.eng.br

**RESUMO:** A norma de referência que tem sido utilizada para controle de qualidade de calda de cimento para grampos em solo é a NBR 7681/2013. Entretanto, a referida norma não é condizente com aplicações geotécnicas, com exigências incompatíveis com a NBR 16920-2/2021. Este trabalho sugere controle de qualidade para a calda de cimento para uso em grampos, com controle de viscosidade via funil Marsh e reômetro, enfatizando a avaliação na performance dos grampos feita nos ensaios de arrancamento, conforme preconiza a NBR 16920-2/2021. Essa sugestão baseia-se no espectro de resistências de caldas de fator água-cimento entre 0,5 a 0,7, e do fato que caso a calda porventura tenha resistência inferior à necessária de projeto, o grampo não passaria nos ensaios de arrancamento.

**PALAVRAS-CHAVE:** Controle de qualidade, solo grampeado, calda de cimento.

**ABSTRACT:** The reference standard that has been used for quality control of cement grout for soil nails is NBR 7681/2013. However, that standard is not consistent with geotechnical applications, with requirements incompatible with NBR 16920-2/2021. This work suggests quality control for the cement grout for use in nails, with viscosity control via Marsh funnel and rheometer, emphasizing on the performance of the soil nails made in the pullout tests, as recommended by NBR 16920-2/2021. This suggestion is based on the resistance spectrum of grouts with a water-cement factor between 0.5 and 0.7, and the fact that if the grout has a lower resistance than the required in design, the soil nail would not pass the pullout tests.

**KEYWORDS:** Quality control, soil nailing, cement grout

## 1 INTRODUÇÃO

A ausência de especificações detalhadas quanto às características do controle de qualidade de calda de cimento nas normas NBR 5629/2018 “Tirantes ancorados no terreno — Projeto e execução”, e a NBR 16920-2/2021 “Muros e taludes em solos reforçados Parte 2: Solos grampeados”, em que apenas a resistência aos 28 dias é especificada, gera incertezas não somente durante a execução, mas também no que diz respeito ao projeto de estruturas enterradas.

Em virtude dessa significativa lacuna, é frequentemente observado que projetistas e contratantes, mesmo sem ambas normas brasileiras mencionarem, acabam por especificar a NBR 7681/2013 “Calda de cimento para injeção” e seus anexos como norma de referência para o controle de qualidade. No entanto, a despeito de sua nomenclatura, esta norma possui um escopo completamente distinto das aplicações geotécnicas em pauta. A NBR 7681/2013 é voltada para a injeção de calda de cimento em tendões de concreto protendido, com foco em lajes e vigas, tornando-se inaplicável para o contexto de grampos ou tirantes de barra, como será explanado no decorrer deste artigo.

Portanto, o presente estudo tem como propósito a apresentação de um sistema de controle de qualidade destinado à calda de cimento utilizada em grampos e, fundamentalmente, por em pauta junto à comunidade geotécnica a necessidade de procedimento normativo de controle de calda de cimento para aplicações de grampos e tirantes. A base para tal delineamento é construída a partir das investigações realizadas por Barbosa (2018) e ainda toma como referência a norma britânica BS EN 12715:2000 (Execution of special geotechnical work - Grouting).

## 2 CONTROLE DE QUALIDADE DE CALDA DE CIMENTO

A atual situação do controle de qualidade de calda de cimento em aplicações geotécnicas revela uma notável falta de padronização, o que culmina em uma variedade de abordagens adotadas por diferentes empresas e contratantes. Esta ausência de uniformidade torna-se evidente na interpretação dada a diretrizes normativas, resultando em procedimentos divergentes na avaliação da qualidade da calda de cimento utilizada.

O panorama atual é caracterizado por uma ampla gama de práticas. Algumas empresas optam por submeter corpos de prova cilíndricos de calda de cimento a ensaios, a fim de avaliar sua resistência e propriedades mecânicas. Outras empresas buscam atender rigorosamente às recomendações da norma NBR 7681/2013, a qual é originalmente direcionada à injeção de calda de cimento para preenchimento de tendões de concreto protendido em lajes e vigas. Por outro lado, outras ainda propõem a adoção do padrão de calda de cimento estabelecido para microestacas, conforme descrito na NBR 6122/2022.

Cada uma destas abordagens apresenta suas vantagens e considerações específicas. No entanto, a falta de uniformidade nos critérios de avaliação e controle de qualidade gera incerteza e inconsistência na condução das atividades de injeção de calda de cimento. Esta situação é particularmente preocupante quando há a exigência da aplicação da norma NBR 7681/2013, a qual não possui enfoque em aplicações geotécnicas relacionadas a grampos.

Essa variação de procedimentos em decorrência da falta de padronização cria um cenário onde as empresas executoras e contratantes frequentemente precisam se adaptar aos requisitos específicos de cada projeto, muitas vezes influenciados pelas particularidades das empresas envolvidas nos serviços. Como resultado, a insegurança em relação ao progresso das atividades de injeção de calda de cimento surge como um desafio significativo, o que destaca a necessidade de uma abordagem mais coerente e uniforme no controle de qualidade desse material em aplicações geotécnicas.

Especificamente quanto aos grampos em solo, a principal função destes numa estrutura de solo grampeado é atingir a resistência ao arrancamento de projeto, denominada  $q_s$ , satisfatoriamente ao longo da vida útil da estrutura. Dentro desse espectro, além do atingimento do  $q_s$  mínimo de projeto, a NBR 16920-2/2021, estabeleceu um  $f_{ck}$  mínimo de 25 MPa para as caldas de cimento das bainhas dos grampos, além de fator água-cimento (a/c) máximo de 0,5 para as bainhas e 0,7 para as reinjeções.

Entretanto, como a referida norma não apresenta procedimento de controle de qualidade, há o uso da NBR 7681/2013 para controle de campo das caldas de cimento. Esse uso pode ser detrimental ao atingimento do  $q_s$  almejado, já que apesar de caldas de melhor resistência terem tendência de melhor resistência ao arrancamento (Moosavi *et al.*, 2005), a resistência ao arrancamento é também influenciada pela rugosidade da interface solo-grampo (Barbosa, 2023). Pela NBR 7681/2013 há um fator a/c máximo de 0,4, recomendação de uso de água refrigerada, índice de fluidez máximo de 12 segundos, exsudação máxima de 2% e resistência mínima à compressão de 35 MPa, exigências que além de estarem em desconformidade com a NBR 16920-2/2021, ainda podem gerar caldas pouco rugosas, de forma detrimental à resistência ao arrancamento de grampos em solo.

## 3 INFLUÊNCIA DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES DA CALDA NA RESISTÊNCIA AO ARRANCAMENTO

Estudos como os realizados por Moosavi *et al.* (2005) e Han *et al.* (2022) têm detalhadamente analisado a influência da resistência à compressão simples das caldas de cimento em diferentes interfaces. Essas pesquisas evidenciam que a principal interface afetada pela resistência à compressão simples é a interface barra-calda de cimento. Essa interface demonstra ser mais robusta em termos de resistência quando comparada à interface solo-calda de cimento ( $q_s$ ).

Essa descoberta tem significativas implicações no contexto de controle de qualidade e projeto. Ainda que o foco na interface barra-calda de cimento seja crucial, vale ressaltar que um projeto com um baixo valor de  $q_s$  não necessariamente demanda a utilização de uma calda de cimento de resistência à compressão excepcionalmente alta. Essa percepção contrasta com o cenário vigente, em que a norma de solo grampeado (NBR 16920-2/2021) estabelece um patamar mínimo de 25 MPa de resistência à compressão. Tal requisito mínimo, embora importante, tende a dificultar a aplicação de solo grampeado em cenários temporários. Isso, por sua vez, implica que projetos que poderiam se beneficiar de especificações de resistência à compressão

mais baixas, como 20 MPa, como em microestacas injetadas, ou 15 MPa, como em tirantes, enfrentam dificuldades em termos de conformidade normativa.

Portanto, embora a atenção à interface barra-calda de cimento seja essencial, os resultados desses estudos sustentam a necessidade de uma reavaliação dos padrões normativos atuais. Uma flexibilização desses padrões poderia permitir uma gama mais ampla de opções para engenheiros geotécnicos ao especificar as resistências das caldas de cimento e possibilita maior ênfase ao controle de qualidade mais assertivo, considerando a natureza variável das aplicações e suas exigências específicas de projeto.

#### 4 CONTROLE DE QUALIDADE DESTINADO À CALDA DE CIMENTO UTILIZADA EM GRAMPOS

Embora a norma britânica de calda de cimento, BS EN 12715:2000, estabeleça um conjunto de 16 parâmetros para o controle de calda de cimento em aplicações geotécnicas, com muitos deles relacionados à reologia do fluido, é interessante notar que a utilização de medidas de reologia, como aquelas obtidas através de funil Marsh para medida de viscosidade e reômetros como o de Lombardi, que mede a coesão da calda de cimento, juntamente com a resistência à compressão simples, proporciona a obtenção de três parâmetros mensuráveis, além do próprio fator água-cimento. Esses parâmetros podem ser incorporados em cálculos simplificados de permeabilidade de calda e estimativa do diâmetro efetivo do grampo.

Esses controles relativos à reologia da calda de cimento tornam-se mais importantes sob a luz da observação de Hyett *et al.* (1992), conforme Figura 1, que constatou que, para fatores água-cimento de até 0,7, em condições controladas, independentemente do tipo de cimento utilizado em sua pesquisa e considerando a minimização de incertezas ligadas à moldagem, conservação e ruptura de corpos de prova, a resistência característica atingiu valores superiores a 20 MPa aos 28 dias.

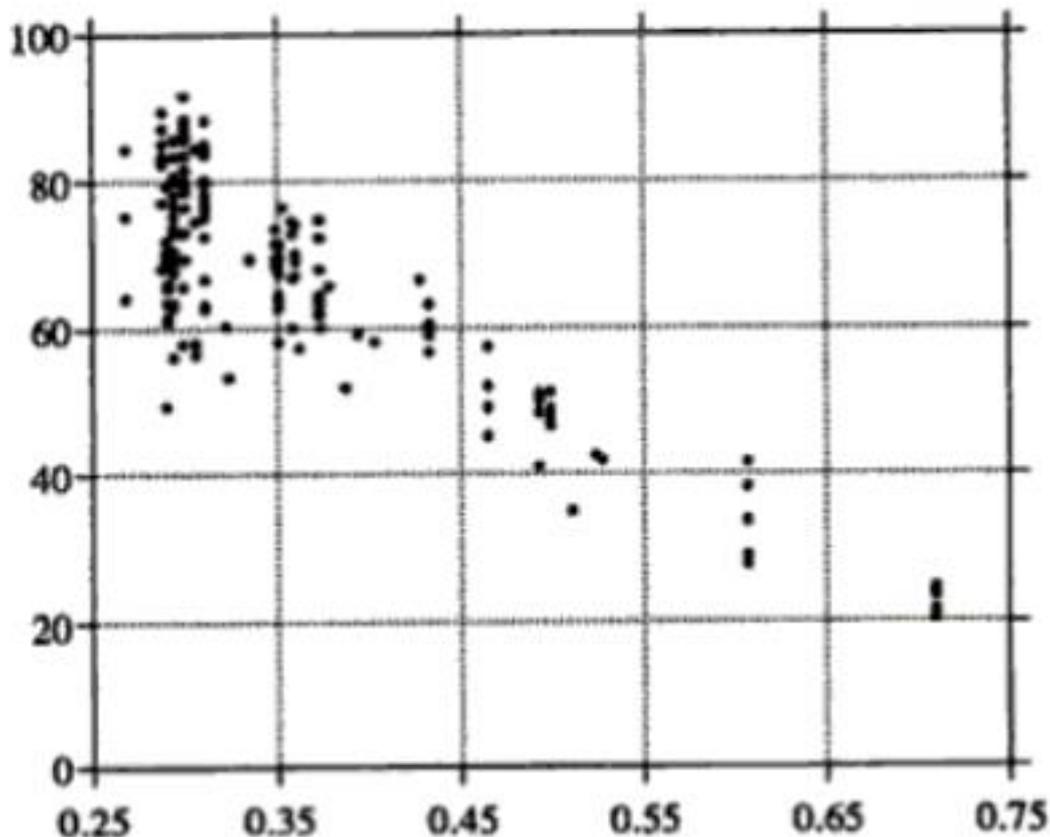


Figura 1. Relação fator água/cimento vs resistência à compressão uniaxial da calda de cimento. Figura extraída de Hyett *et al.* (1992)

Esse achado de Hyett *et al.* (1992) sugere a possibilidade de antecipar a fase de moldagem de corpos de prova para o início dos trabalhos, concentrando os controles durante a obra no traço e na reologia da calda de

cimento, o que oferece uma avaliação mais realista das condições de injeção que gerarão grampos de melhor interface solo-grampo em comparação ao controle baseado apenas na ruptura de corpos de prova, com a resistência mínima de 20 MPa sendo de maior confiabilidade de atingimento que a resistência mínima de 25 MPa e também sendo a resistência recomendada pela FHWA (2015). E, como relatado, como o principal parâmetro a ser observado nas estruturas de solo grampeado é o  $q_s$ , vê-se que a NBR 16920-2/2021 pode ser atualizada não só com o controle de qualidade sugerido, mas também com exigência maior quanto à quantidade de ensaios de arrancamento a serem executados em determinada obra, para maior representatividade estatística.

## 5 CONCLUSÕES

Em síntese, este artigo defende uma padronização específica da calda de cimento para grampos, dado que a NBR 7681/2013 tem sido usada indiscriminadamente para monitorar a qualidade das caldas de cimento em projetos de grampos em solo. No entanto, essa norma não atende bem às necessidades geotécnicas e está desalinhada com a NBR 5629/2018 e a NBR 16920-2/2021. Por conseguinte, é defendida uma abordagem de controle de qualidade de caldas de cimento voltadas às necessidades de uma estrutura em solo grampeado, especialmente em maximizar o  $q_s$ , que aumenta com maior rugosidade da interface solo-grampo e maiores diâmetros efetivos. Para isso, propôs-se controles mais próximos à BS EN 12715:2000, utilizando ensaios voltados à reologia da calda de cimento, bem como aumentar o foco na avaliação dos grampos por meio de ensaios de arrancamento, conforme indicado pela NBR 16920-2/2021, mas em maior proporção que atualmente exigido. Em caso de resistência insuficiente, os testes de arrancamento funcionariam como critério de aprovação. Assim, a proposta deste estudo se apoia tanto em considerações teóricas quanto na aplicação prática dos grampos.

Ao adotar essa abordagem para controlar a qualidade das caldas de cimento, buscou-se alinhar as especificações com as necessidades concretas das aplicações geotécnicas. Isso não somente otimiza a eficiência e a segurança das obras, mas também pode servir de referência para futuras discussões sobre os padrões normativos existentes, o que este artigo mostra que são imperativas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2022). NBR 6122. *Projeto e execução de fundações*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2021). NBR 16920-2. *Muros e taludes em solos reforçados Parte 2: Solos grampeados*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2018). NBR 5629. *Tirantes ancorados no terreno — Projeto e execução*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2013). NBR 7681. *Calda de cimento para injeção*. Rio de Janeiro.
- Barbosa, M.G.T. (2018). Estudo do efeito de injeções cimentícias no comportamento de túneis rasos em solos metaestáveis. Dissertação de Mestrado, Publicação G.DM-296/2018, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 137 p.
- Barbosa, M.G.T. (2023). Estudo da Resistência ao Arrancamento de Grampos em Solos. Tese de Doutorado, Publicação G.TD-187/2023, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 204 p.
- British Standard (2000). BS EN 12715 Execution of special geotechnical work - Grouting. Londres.
- FHWA (2015), Geotechnical engineering circular No. 7- soil nail walls, Report FHWA-NHI-14-007, U. S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Washington D. C. 420 p.
- Han, J., Liu, D., Guan, Y., Chen, Y., Li, T., Jia, D., ... & Zhao, Y. (2022). Study on shear behavior and damage constitutive model of tendon-grout interface. *Construction and Building Materials*, 320, 126223.

- Hyett, A. J., Bawden, W. F., & Reichert, R. D. (1992). The effect of rock mass confinement on the bond strength of fully grouted cable bolts. In *International journal of rock mechanics and mining sciences & geomechanics abstracts* (Vol. 29, No. 5, pp. 503-524). Pergamon.
- 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.