

1 Introdução

1.1. Importância da pesquisa

O solo grampeado ou solo pregado é uma técnica em que o reforço do maciço é obtido por meio da inclusão de elementos resistentes às tensões de tração, esforços cortantes e momentos de flexão. Os elementos de reforço são muito semelhantes às ancoragens, porém sem pré-tensão ou trecho livre.

A prática brasileira de grampeamento consiste na realização de pré-furo, seguido da introdução da barra metálica e preenchimento do furo por nata ou argamassa de cimento.

A técnica de solo grampeado apresenta vantagens econômicas tanto no escoramento de escavações quanto na estabilização de taludes. Desde o primeiro emprego no Brasil em 1970, vários projetistas e construtores têm optado por esta solução.

A resistência dos grampos está relacionada à mobilização do atrito no contato dos mesmos com o solo circundante. Como as inclusões trabalham basicamente à tração, quanto maior o atrito entre os dois materiais, melhor será o desempenho do grampo. Para que o atrito na interface seja mobilizado é necessário que haja pequenos deslocamentos (de apenas alguns milímetros) entre o grampo e o material do maciço.

A quantificação da resistência ao arrancamento é obtida por meio de ensaios, executados no campo. A estabilidade de uma contenção em solo grampeado é estudada em seu estado limite último. Assim, o objetivo principal dos ensaios de arrancamento é determinar a resistência ao arrancamento (q_s).

A resistência ao arrancamento de grampos, portanto, é o parâmetro essencial para o projeto de estruturas de solo grampeado. Este parâmetro é freqüentemente estimado durante a fase de projeto (baseado na experiência do projetista) para posterior verificação, por meio de ensaios de arrancamento, durante a construção.

A técnica de grampeamento de solos carece de estudos mais detalhados sobre a influência de parâmetros executivos e do tipo de solo na determinação da resistência ao arrancamento [q_s].

Com o objetivo de se estudar os principais fatores de influência na resistência ao arrancamento, definiu-se um programa experimental de 25 ensaios de arrancamento. Os grampos foram executados, em solo residual de gnaiss, com ângulo de inclinação de 10 graus, diâmetros iguais a 75 e 100mm (3 e 4 polegadas) e comprimento total de 4 metros (3m injetados e 1m livre).

1.2. Objetivos da pesquisa

A principal proposta desta pesquisa é correlacionar o comportamento tensão-deformação e a resistência ao arrancamento de grampos [q_s] em função do método de execução considerando o número de injeções, a lavagem do furo, tempo de cura da nata e o solo. A análise da influência destes fatores na resistência ao arrancamento de grampo pode permitir a definição de um método executivo de solo grampeado mais eficiente, além de mais rápido e menos oneroso.

Um dos principais objetivos da pesquisa consiste na determinação dos valores de q_s obtidos em solos residuais em um intervalo relativamente curto (3 dias e 10 dias de cura da bainha) entre a instalação do reforço e a execução do ensaio de arrancamento. Este estudo fornece subsídios para a avaliação da velocidade com que as escavações podem ser realizadas. Caso os reforços apresentem valores de q_s satisfatórios com períodos de cura mínimos, o tempo de execução da obra pode ser diminuído, gerando, portanto, uma redução de custos.

Outro objetivo importante desta pesquisa é a obtenção do percentual do ganho de eficiência no valor de q_s de grampos com 2 injeções (Bainha + 1 injeção) em relação aos grampos executados apenas com 1 injeção (Bainha).

Objetiva-se também verificar por meio dos ensaios de arrancamento, se o procedimento de limpeza do furo com água promove um acréscimo no valor de q_s que justifique a sua execução rotineira. Ressalta-se que a lavagem do furo com água acarreta um aumento significativo dos custos da obra em solo grampeado.

Esta pesquisa também procura analisar o comportamento tensão-deformação do grampo em ensaios de arrancamento. Para tanto foi

desenvolvido um projeto de instrumentação *strain gages* diretamente colados nas barras de aço dos grampos. Por meio das deformações medidas pelos *strain gages*, pode-se estimar a distribuição de tensões ao longo do comprimento dos grampos solicitados pelos ensaios de arrancamento.

Por meio da exumação de 4 grampos arrancados objetiva-se destacar os aspectos da superfície de arrancamento, a uniformidade do diâmetro, a presença de fissuras no grampo, e a litologia dos materiais encontrados ao longo do comprimento do grampo.

Como não há uma norma técnica que regulamente a execução de ensaios de arrancamento de grampos, a pesquisa também busca apresentar procedimentos e recomendações de ensaios, esquemas de montagem dos ensaios e interpretações do comportamento de arrancamento do grampo, reunidos da literatura especializada e testados neste estudo.

1.3. Organização da Tese

Esta tese foi dividida em nove capítulos. Este primeiro capítulo apresenta uma breve introdução sobre a técnica de solo grampeado e sua relevância, destaca os objetivos e a metodologia desta pesquisa.

O Capítulo 2 apresenta uma revisão bibliográfica sobre a técnica de grampeamento de solos. Aborda aspectos importantes da técnica, tais como, execução do grampeamento, tipos de grampos existentes, comportamento mecânico do grampo, modelos de análise e métodos de projeto, vantagens e limitações da técnica de grampeamento, além de comparações entre diferentes técnicas de estabilização. Apresenta uma breve revisão sobre as correlações empíricas para estimativa da resistência ao arrancamento. Relata também o desenvolvimento das pesquisas em solo grampeado no Brasil.

O Capítulo 3 faz uma revisão sobre ensaios de resistência diversos, além dos mecanismos de ruptura de reforços com geometria, interfaces e mobilização de esforços similares aos de solo grampeado, tais como tirantes e estacas.

O Capítulo 4, em função de não haver uma norma técnica que regulamente a execução de ensaios de arrancamento de grampos, apresenta procedimentos, recomendações e esquemas de montagem dos ensaios, além do comportamento de arrancamento do grampo, reunidos da literatura especializada.

O Capítulo 5 apresenta o programa experimental desenvolvido na pesquisa, que tem por objetivo permitir o estudo do comportamento tensão-deformação e a resistência ao arrancamento de grampos, em função do número de injeções de nata de cimento (1 ou 2 injeções), do método de perfuração (com ou sem lavagem do furo) e do tempo de cura da nata de cimento (3 ou 10 dias). Neste capítulo, apresenta-se a geologia das áreas de estudo, o programa de ensaios de laboratório e de campo e a metodologia de instrumentação dos grampos da presente pesquisa.

O capítulo 6 apresenta os resultados dos 25 ensaios de arrancamento realizados nesta pesquisa. São analisados o comportamento Carga x Deslocamento de todos os ensaios, além da distribuição de carga nos grampos instrumentados ao longo do arrancamento. Dificuldades e problemas executivos dos ensaios também são reportados.

O capítulo 7 apresenta os aspectos de quatro exumações de grampos: duas em um solo residual jovem e duas em uma rocha alterada. Foram obtidos os diâmetros dos grampos e o padrão de fissuração ao longo do comprimento. São apresentados os resultados dos ensaios de caracterização realizados em amostras de solo adjacentes aos grampos, coletadas durante o processo de exumação.

O capítulo 8 apresenta os resultados das calibrações das barras de aço instrumentadas, utilizadas para a execução dos grampos de arrancamento, além dos resultados dos ensaios de arrancamento e avaliações de correlações empíricas da literatura para o cálculo da resistência ao arrancamento de grampos. O capítulo também reporta os resultados dos ensaios de laboratório executados em amostras obtidas de blocos indeformados, coletados ao longo da escavação do talude. São apresentados os comportamentos típicos obtidos a partir da campanha de 25 ensaios de arrancamento. Em particular, são apresentados resultados da influência de parâmetros tais como o tempo de cura da nata de cimento, o número de injeções, a lavagem do furo e o tipo de solo na resistência ao arrancamento $[q_s]$. Apresenta o comportamento tensão-deformação-resistência de grampos sob solicitação de arrancamento, em função do método de instalação. Foram considerados grampos com e sem pré-lavagem do furo, com uma ou duas injeções de nata de cimento, com três ou dez dias de tempo de cura.

O Capítulo 9 resume as principais conclusões do trabalho, e apresenta algumas sugestões para pesquisas futuras.

Este documento apresenta dois apêndices. No Apêndice 1, intitulado “Resultados dos ensaios de arrancamento” são apresentadas as curvas Carga x Deslocamento dos ensaios de arrancamento de grampos desta pesquisa e as curvas de distribuição de carga ao longo do comprimento do grampo. No Apêndice 2, intitulado “Resultados da calibração das barras” são apresentados todas as curvas de calibrações das barras instrumentadas.