DOI: 10.47094/COBRAMSEG2026.4/10

Análise de desempenho de contenções em solo Grampeado Convencional e solo grampedo verde: Estudo de caso no município de Camaragibe–PE

Heloísa Silva Lisboa dos Santos
Engenheira Civil, UPE/Poli, Recife, Brasil, hslds@poli.br

Pedro Eugenio Silva de Oliveira
Engenheiro Civil, UPE/Poli, Recife, Brasil, pedro.oliveira@poli.br

Alexandre Duarte Gusmão
Engenheiro Civil, UPE/Poli, Recife, Brasil, gusmao.alex@poli.br

RESUMO: A técnica de solo grampeado tem se destacado como uma solução eficiente e economicamente viável para a estabilização de taludes em áreas urbanas, especialmente em regiões com restrições de espaço e relevo acidentado. Este trabalho apresenta uma análise comparativa do desempenho de duas estruturas de contenção em solo grampeado, uma convencional e outra com tratamento em solo grampeado verde, executadas no município de Camaragibe, Pernambuco. O objetivo foi avaliar a eficiência técnica das soluções adotadas, considerando as características geotécnicas do solo local e o comportamento estrutural das obras. A metodologia baseou-se em um estudo de caso, com análise de projetos, dados técnicos disponíveis e resultados de ensaios laboratoriais e de campo, com destaque para os ensaios de cisalhamento direto e de arrancamento dos grampos, utilizados para avaliar a resistência do solo e a capacidade de ancoragem. Os resultados indicaram que menores deslocamentos iniciais dos grampos estão associados a maiores comprimentos e menores cargas iniciais aplicadas. No solo grampeado convencional, o grampo de 12 m apresentou deslocamento médio inicial de 1,1 mm, enquanto o de 3 m apresentou 1,7 mm. No solo grampeado verde, com grampos de 7 m, o deslocamento médio foi de 1,45 mm. Comparativamente, o solo grampeado convencional apresentou desempenho cerca de 24% superior ao solo grampeado verde.

PALAVRAS-CHAVE: Solo grampeado convencional, Solo grampeado verde, Estabilidade de taludes; Ensaio de arrancamento.

ABSTRACT: The soil nailing technique has stood out as an efficient and economically viable solution for slope stabilization in urban areas, especially in regions with space constraints and rugged terrain. This study presents a comparative analysis of the performance of two soil-nailed retaining structures, one conventional and the other with a green soil nailing treatment, constructed in the municipality of Camaragibe, Pernambuco, Brazil. The objective was to evaluate the technical efficiency of the adopted solutions, considering the geotechnical characteristics of the local soil and the structural behavior of the works. The methodology was based on a case study, including the analysis of design documents, available technical data, and results from laboratory and field tests, with emphasis on direct shear tests and nail pullout tests, which were used to assess soil shear strength and nail anchorage capacity. The results indicated that smaller initial nail displacements are associated with greater nail lengths and lower initial applied loads. In the conventional soil nailing system, the 12 m nail showed an average initial displacement of 1.1 mm, whereas the 3 m nail presented an average initial displacement of 1.7 mm. In the green soil nailing system, using 7 m nails, the average initial displacement was 1.45 mm. Comparatively, the conventional soil nailing system exhibited approximately 24% better performance than the green soil nailing system.

KEYWORDS: Conventional soil nailing, Green soil nailing, Slope stability; Pullout test.1.

1 INTRODUÇÃO

A ocupação crescente de áreas urbanas em terrenos inclinados tem aumentado a necessidade de soluções eficientes de contenção. Nesse contexto, o solo grampeado destaca-se como uma técnica amplamente utilizada por sua praticidade, economia e boa adaptação a áreas com restrição de espaço (JUNIOR; SOBRAL, 2022).

A técnica consiste na inserção de barras de aço no maciço, que passam a trabalhar em conjunto com o solo, aumentando a estabilidade dos taludes e reduzindo a suscetibilidade a movimentos de massa (FHWA, 2003; AOKI; CHANG, 2021). Diversas aplicações bem-sucedidas do solo grampeado são registradas, especialmente em obras urbanas e rodoviárias (EÇA; SANTOS, 2022).

Quando aplicada em taludes íngremes resultantes de cortes, a técnica apresenta vantagens como melhor aproveitamento do espaço, menor necessidade de escavações, rapidez de execução, uso de equipamentos compactos e adaptação a diferentes geometrias, características que explicam sua ampla aplicação em contextos urbanos e rodoviários. Este trabalho tem como objetivo analisar o desempenho de duas contenções, uma em solo grampeado convencional e outra em solo grampeado verde, executadas no município de Camaragibe–PE, com base em dados de projeto, execução e resultados de ensaios de cisalhamento direto e arrancamento dos grampos.

A área de estudo está inserida em região caracterizada por solos da Formação Barreiras, cujas propriedades geotécnicas exercem influência direta na estabilidade das encostas. Nesse contexto, a análise busca verificar a eficácia das técnicas empregadas na garantia da segurança da contenção.

2 METODOLOGIA

2.1 Sondagens

Foram executados no local da obra um total de 39 furos de sondagem a percussão e 9 furos de sondagem mista, quantidade de furos que atende a NBR 8036 (ABNT, 1983). Foram realizadas por duas empresas distintas, a primeira empresa entre o fim de 2017 e início de 2018 realizou 3 sondagens mistas e 16 a percussão, enquanto a segunda empresa realizou 6 sondagens mistas e 23 a percussão, realizadas no ano de 2019. Foram localizadas de forma distribuída ao longo de todo o terreno da obra, como mostra a Figura 1.

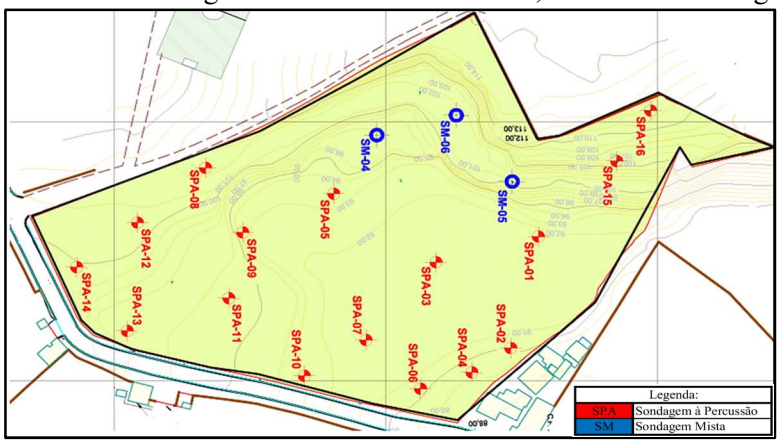


Figura 1. Locação das sondagens da empresa 1.

2.2 Ensaios de Laboratório

Na etapa de ensaios laboratoriais, foram coletadas amostras de solo natural em trincheiras escavadas nos taludes de corte. As amostras indeformadas, em formato de blocos cúbicos com 30 cm de aresta, foram obtidas a 1,50 m de profundidade (AME-01 a AME-05), com o objetivo de preservar a estrutura natural do solo. Nessas

amostras foram realizados ensaios de caracterização (granulometria e limites de consistência), compactação Proctor Normal, CBR com expansão.

Além disso, também foram realizados ensaios de cisalhamento direto em corpos de prova, com cinco amostras indeformadas (AME-01 a 05) por ensaio. Os ensaios foram conduzidos em duas condições distintas: com umidade natural e com amostras previamente submersas, para avaliar o comportamento do solo sob diferentes estados de saturação. Foram realizados em aparelho de cisalhamento direto (Shear Box), conforme especificações da norma ABNT NBR 12025, (ABNT, 2012), com sistema de aplicação de carga vertical e movimentação horizontal controlada.

2.3 Contenção

Em ambas as soluções foram utilizadas as técnicas de solo grampeado, aplicadas em trechos diferentes da mesma obra. A primeira estrutura refere-se ao solo grampeado convencional, enquanto a segunda adota a técnica de solo grampeado verde, visando integração paisagística e sustentabilidade ambiental. A Figura a seguir apresenta a modelagem tridimensional realizada a partir do projeto de terraplenagem para interpretação da geometria e elaboração das seções transversais para as análises de estabilidade, no talude entre o lado oeste do terreno e o estacionamento da Rua 7 encontra-se a situação crítica de aterro em meia encosta, no pé deste aterro está projetado em desnível vertical de até 3 m, conforme apresentados nas Figura 2.

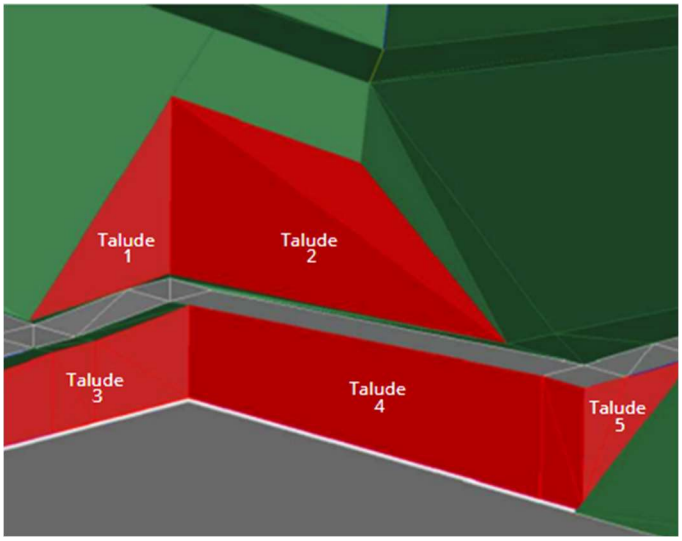


Figura 2. Desnível em situação crítica (Solo Grampeado Convencional).

2.3.1 Solo Grampeado Convencional

A técnica de solo grampeado convencional foi empregada como solução de contenção nos trechos do terreno onde foram identificadas instabilidades durante a fase de terraplenagem. A estrutura de contenção possui um comprimento total de 687 metros, com aplicação de 25,15 m³ de concreto no parâmetro vertical. A execução foi realizada em cinco taludes distintos, totalizando 70 grampos metálicos sendo 53 com comprimento de 12,00 metros e 17 com comprimento de 3,00 metros, dispostos em uma malha quadrada com espaçamento de 1,50 m x 1,50 m, cobrindo uma área total de 114 m². Complementarmente, foram instalados 83 drenos do tipo barbacã, distribuídos conforme as necessidades de drenagem de cada talude.

2.3.2 Solo Grampeado Verde

A contenção em solo grampeado verde foi aplicada em um trecho com 1.414 metros e 577 m² de geocomposto MACMAT. Foram utilizados 202 grampos com comprimento de 7,00 metros com malha quadrada conforme o solo grampeado convencional de 1,50 x 1,50m. Além disso, foram instalados 248 drenos do tipo barbacã. Na superfície do talude, aplicou-se uma malha metálica do tipo MACMAT R1

(MACAFERRI), associada a biomanta, ambos fixados com grampos de ancoragem. A malha metálica desempenhou uma função estrutural, distribuindo os esforços superficiais, enquanto a biomanta atuou na proteção contra erosão e estimula a revegetação. As figuras 3 e 4 a seguir apresentam detalhes dos grampos do solo grampeado convencional e o verde, respectivamente.

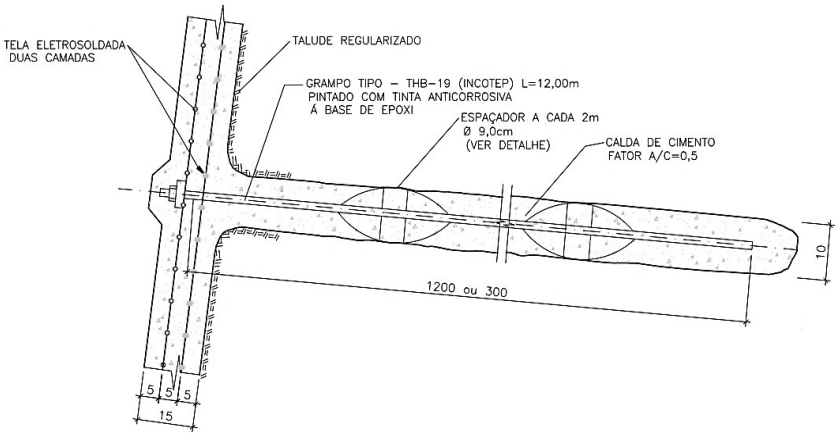


Figura 3. Detalhe dos grampos em solo grampeado convencional.

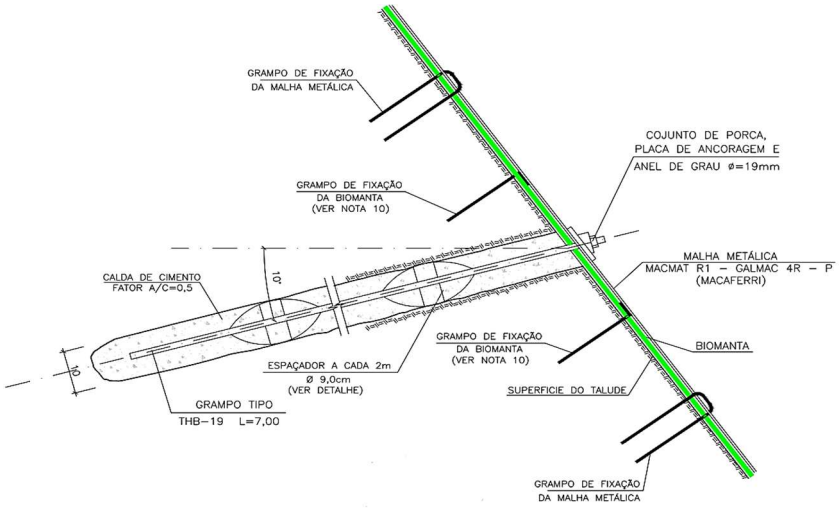


Figura 4. Detalhe dos grampos em solo grampeado verde.

2.4 Ensaios de arrancamento de grampos (Convencional x Verde)

Os ensaios de arrancamento foram realizados conforme a NBR 14827 (ABNT, 2010), com a execução de quatro ensaios em solo grampeado verde e cinco em solo grampeado convencional. Os ensaios foram conduzidos em campo por meio da aplicação de carga axial aos grampos, utilizando bomba e macaco hidráulicos. A estrutura de reação foi composta por barra metálica e placas de apoio laterais, garantindo estabilidade durante o ensaio. A carga foi aplicada de forma incremental, com registro da pressão e do deslocamento, permitindo a obtenção da curva carga × deslocamento para avaliação do desempenho dos grampos. As tabelas 1 e 2 apresentam dois dos ensaios de arrancamento em solo grampeado verde e solo grampeado convencional, com diâmetro de 19 mm para ambos os tipos de contenção.

Tabela 1. Força aplicada x deslocamento – solo grampeado verde.

TF	Pressão (Kg/cm²)	Deslocamento (mm)
0	0	1,5
8	40	1,9
14	70	2,1

Tabela 2. Força aplicada x deslocamento – solo grampeado convencional.

TF	Pressão (Kg/cm²)	Deslocamento (mm)
0	0	1,3
8	40	1,8
14	70	2,2

4 RESULTADOS

4.1 Caracterização geotécnica do terreno

A área de estudo é composta predominantemente por solos finos da Formação Barreiras, com elevada porcentagem de material passante na peneira 0,075 mm (59% a 88%), caracterizando solos de comportamento coesivo. Os ensaios de limites de consistência indicaram Índice de Plasticidade variando entre 14% e 25%, classificando os materiais como medianamente a altamente plásticos, com predominância de solos CL e CH (SUCS) e A-6 e A-7-5 (AASHTO).

Os ensaios de compactação mostraram densidades secas máximas entre 1,48 g/cm³ e 1,65 g/cm³, associadas a umidades ótimas elevadas (16,7% a 25,8%), comportamento típico de solos argilo-siltosos. Os valores de CBR variaram entre 11% e 17%, indicando baixa capacidade de suporte, insuficiente para aplicações estruturais sem tratamento. As sondagens identificaram a presença de solos de alteração de rocha e o contato com rocha sã a partir de aproximadamente 13,4 m de profundidade, condição determinante para o desempenho das ancoragens.

4.2 Ensaios de arrancamento (Solo grampeado convencional x verde)

Foram realizados ensaios de arrancamento em cinco grampos do solo grampeado convencional, com comprimentos de 3 m e 12 m, e em quatro grampos do solo grampeado verde, todos com 7 m de comprimento. As cargas foram aplicadas de forma incremental até 14 tf, com monitoramento dos deslocamentos.

No solo grampeado convencional, os grampos de 12 m apresentaram deslocamentos finais entre 1,6 mm e 1,7 mm, enquanto os grampos de 3 m atingiram deslocamentos de até 2,4 mm, evidenciando maior deformabilidade dos grampos mais curtos. No solo grampeado verde, os deslocamentos finais variaram entre 2,1 mm e 2,6 mm, com comportamento relativamente uniforme entre os grampos, porém com maiores deslocamentos iniciais e finais quando comparados aos grampos longos do sistema convencional. A tabela 3 e a figura 5 apresentam os deslocamentos máximos sofridos pelos grampos do solo convencional e verde.

Tabela 3. Forças máximas aplicadas e deslocamentos máximos sofridos nos grampos.

Nº	Tipo	(m)	Força máxima (TF)	Deslocmamento máximo (mm)
1	Verde	7	14	2,1
2	Verde	7	14	2,6
3	Verde	7	14	2,4
4	Verde	7	14	2,2
5	Convencional	12	14	1,7
6	Convencional	12	14	1,6
7	Convencional	12	14	1,7
8	Convencional	3	14	2,4
9	Convencional	3	14	2,4

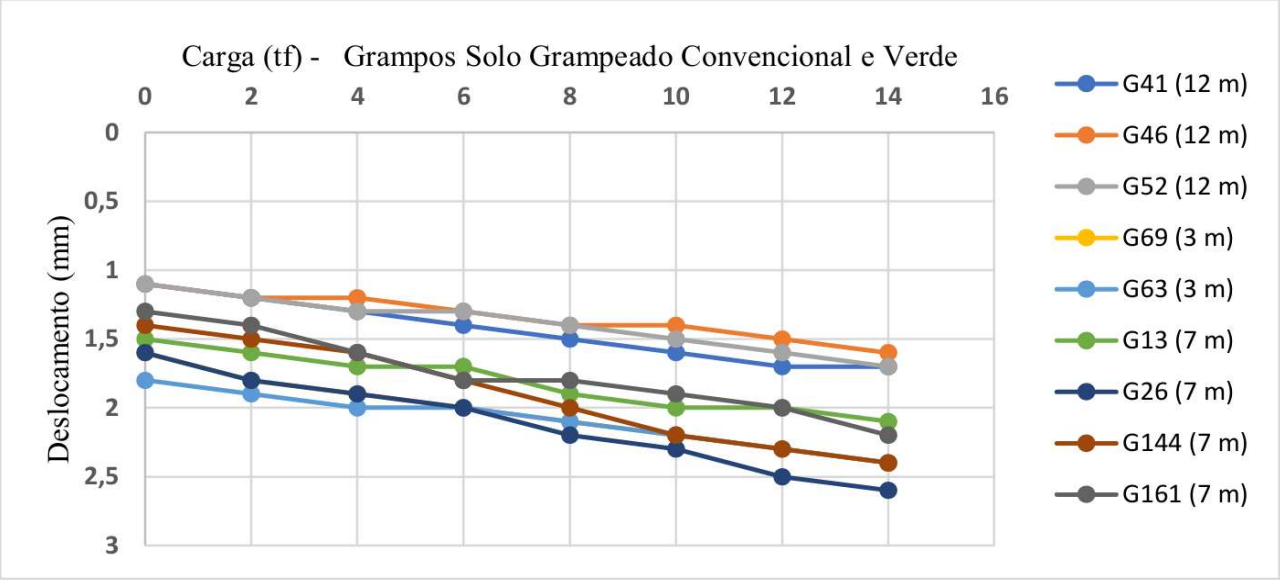


Figura 5. Gráfico da Variação dos deslocamentos nas contenções.

Observou-se, a partir dos ensaios de arrancamento, que existe uma correlação direta entre o deslocamento inicial dos grampos, registrado ainda sob força nula (0 tf) e o comprimento dos mesmos. É possível identificar que quanto menor o comprimento do grampo, maior tende a ser o deslocamento inicial, o que reflete uma menor rigidez na interação solo–grampo e, consequentemente, maior deformabilidade ao longo do ensaio. Com base nesses dados, foi calculada a média aritmética dos deslocamentos iniciais para os três comprimentos analisados: 3 m, 7 m e 12 m. A Tabela 4 demonstra as médias dos deslocamentos iniciais.

Tabela 4. Média dos deslocamentos iniciais.

L(m)	Média dos deslocamentos iniciais	Contenção
3	1,7	Solo grampeado convencional
7	1,45	Solo grampeado verde
12	1,1	Solo grampeado convencional

4.2 Comparação entre solo grampeado convencional e verde

A análise comparativa dos ensaios de arrancamento indicou maior rigidez do sistema de solo grampeado convencional, especialmente quando utilizados grampos de maior comprimento. Observou-se uma relação aproximadamente linear entre o comprimento dos grampos e os deslocamentos iniciais, sendo registrados maiores deslocamentos para grampos de 3 m, valores intermediários para 7 m e os menores deslocamentos para 12 m.

A análise conjunta com os dados de sondagem SPT evidenciou que os grampos convencionais mais longos atingiram camadas com maiores valores de NSPT (até 13 golpes), enquanto os grampos do solo grampeado verde permaneceram inseridos em solos de menor resistência (NSPT entre 2 e 8). Essa condição explica os maiores deslocamentos observados no sistema verde, demonstrando que o desempenho das contenções está diretamente associado não apenas ao comprimento dos grampos, mas também à resistência do solo de ancoragem.

A Figura 6 também destaca as posições relativas das pontas dos grampos em cada tipo de contenção, permitindo uma análise integrada entre o comportamento observado nos ensaios de arrancamento e as condições geotécnicas do solo ao longo da profundidade.

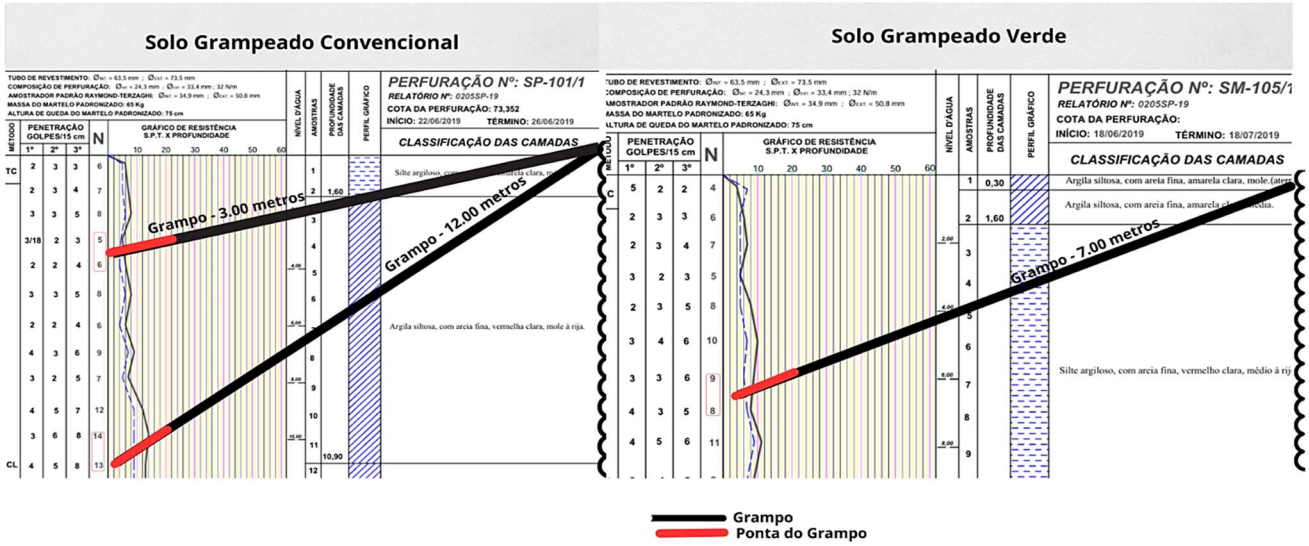


Figura 6. Posição dos grampos nas sondagens do solo grampeado convencional e verde..

A análise das sondagens SPT evidenciou a influência direta da resistência do solo no desempenho dos grampos. No solo grampeado convencional, os grampos de 3 m apresentaram maiores deslocamentos por estarem ancorados em camadas com baixos valores de NSPT (5 a 6 golpes), caracterizadas por menor resistência e maior deformabilidade. Em contraste, os grampos de 12 m atingiram camadas mais competentes, com NSPT de até 13 golpes, o que conferiu maior rigidez ao sistema e resultou em menores deslocamentos, mesmo sob cargas elevadas. Esses resultados confirmam que o desempenho dos grampos está condicionado não apenas ao seu comprimento, mas também à resistência do solo na zona de ancoragem.

5 Conclusão

Este artigo apresentou a análise comparativa do desempenho de contenções em solo grampeado convencional e solo grampeado verde, executadas em área caracterizada por solos da Formação Barreiras. A avaliação foi baseada na caracterização geotécnica do terreno e nos resultados de ensaios de arrancamento realizados em campo.

Os ensaios de laboratório indicaram a predominância de solos finos, de comportamento coesivo, com média a alta plasticidade e baixa capacidade de suporte, evidenciada pelos baixos valores de CBR. As investigações geotécnicas também identificaram a presença de solos de alteração de rocha e o embasamento rochoso em maiores profundidades, condição determinante para o desempenho das ancoragens.

Os resultados dos ensaios de arrancamento demonstraram que o solo grampeado convencional apresentou maior rigidez e menores deslocamentos, especialmente nos grampos de maior comprimento, ancorados em camadas com maiores valores de NSPT. Por outro lado, o solo grampeado verde apresentou maiores deslocamentos iniciais e finais, associados à menor resistência do solo de ancoragem e à menor profundidade de inserção dos grampos.

A análise conjunta evidenciou que o desempenho das contenções está diretamente relacionado não apenas ao tipo de sistema adotado, mas principalmente à interação entre comprimento dos grampos e resistência do solo ao longo da profundidade. Dessa forma, embora ambas as soluções sejam tecnicamente viáveis, o solo grampeado convencional mostrou desempenho superior nas condições analisadas, enquanto o solo grampeado verde requer maior atenção ao dimensionamento dos grampos e às características geotécnicas locais para garantir níveis adequados de rigidez e segurança.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas (1983). NBR 8036. Representação de perfis em sondagens de solos. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2012). NBR 12025. Solos – Ensaio de compactação: método de ensaio. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2010). NBR 14827. Solos – Ensaio de compactação: método de ensaio. Rio de Janeiro.

Aoki, S.; Chang, F. Y. (2021). *Estabilidade de taludes: teoria e prática*. São Paulo: Oficina de Textos.

Santos, M. C.; Eça, M. (s.d.). Análise de estabilidade de talude pelo método de solo grampeado verde. Artigo acadêmico, Curso de Engenharia Civil, Anhanguera Faculdade.

Santos Junior, P. J.; Sobral, M. L. (2022). Solo grampeado verde – análise numérica quanto à deformação de face. In: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica – COBRAMSEG, 20., Campinas. *Anais...* Campinas: ABMS