

SOLO GRAMPEADO E MURO DE GABIÃO: UMA DISCUSSÃO DAS VANTAGENS E DESVANTAGENS DE TAIS TÉCNICAS

Clayton da Ressurreição Oliveira¹

Marcos Rangel Aquino Barros²

Diego Silva Souza³

Engenharia Civil



ISSN IMPRESSO 1980-1777

ISSN ELETRÔNICO 2316-3135

RESUMO

Sabe-se que as encostas e taludes, quando instáveis, representam um desafio significativo em termos de segurança e desenvolvimento de infraestrutura. Com isso, a aplicação de técnicas adequadas de estabilização é fundamental para minimizar os riscos associados a essas áreas. Neste sentido, o presente artigo tem como objetivo geral investigar as duas principais técnicas de estabilização de encostas: Solo Grampeado e Muro de Gabião. A pesquisa adotou um nível exploratório, focado na identificação das causas e no desenvolvimento de soluções para estabilização. Por conseguinte, por meio de uma pesquisa bibliográfica foi construído o referencial teórico e assim descrita e caracterizada as técnicas em estudo. Nos resultados e discussões apresentou-se alguns usos e aplicações das referidas técnicas no Brasil, e ao final propôs-se uma comparação entre ambas evidenciando algumas das suas vantagens e desvantagens. Como considerações finais destaca-se a necessidade de atenção dedicada à seleção, implementação e manutenção de estabilização de encostas, pois tanto o solo grampeado quanto o muro de gabião, cumprem o seu propósito. Contudo, salienta-se que tal decisão reflete um compromisso com a segurança, bem-estar e preservação ambiental para as gerações futuras.

PALAVRAS-CHAVE

Estabilização de Encostas. Muro de Gabião. Solo Grampeado.

ABSTRACT

It is known that slopes and embankments, when unstable, represent a significant challenge in terms of safety and infrastructure development. Therefore, the application of appropriate stabilization techniques is essential to minimize the risks associated with these areas. In this sense, the general objective of this article is to investigate the two main slope stabilization techniques: Nailed Soil and Gabion Wall. To this end, the following are specific objectives: compare the two slope containment techniques; and cite cases of the use of both techniques in Brazil. The study adopts an applied approach to solving landslides in the region, combining qualitative and quantitative elements. It is exploratory research, focused on identifying the causes and developing solutions for stabilization. The methodology involved a comprehensive literature review and proposes the comparison of methods to highlight their advantages and disadvantages. The research highlights the effectiveness of soil nailing and gabion walls in stabilizing slopes. It emphasizes the importance of a careful and collaborative approach to ensure its effectiveness and sustainability. It also highlights the need for ethical and social considerations and continuous advancement in geotechnical engineering to prevent disasters and preserve the environment, ensuring a safer and more sustainable future.

KEYWORDS

Gabion wall. Slope stabilization. Stapled Soil

1 INTRODUÇÃO

Sabe-se que a estabilização de encostas representa um desafio constante para engenheiros em todo o mundo, buscando assim mitigar os riscos associados a deslizamentos de terra e assegurar a integridade de estruturas próximas. A necessidade de estabilizar encostas torna-se evidente tanto em áreas urbanas quanto em áreas rurais, onde a topografia acidentada e os movimentos de massa representam ameaças constantes à segurança e infraestrutura.

Tais ameaças ocorrem como consequência das precipitações, pois pode haver a saturação dos solos e rochas, causando consequente redução de resistência dos mesmos por desagregação de partículas, resultando na perda de estabilidade de maciços (Pinto *et al.*, 2013). Na Figura 1 pode ser verificado movimento de massa desencadeado principalmente por chuvas intensas no ano de 2008 em Ilhota (SC).

Figura 1 – Movimentos de massa no Morro do Baú em Ilhota (Santa Catarina)

Fonte: Prefeitura de Ilhota (2008)¹

Nesse contexto, o Solo Grampeado e o Muro de Gabião surgem como respostas inovadoras, apresentando abordagens distintas para lidar com a variedade de desafios geotécnicos. Entender as nuances teóricas dessas técnicas é crucial para embasar escolhas informadas no campo da engenharia, visando a implementação de soluções eficazes e sustentáveis.

Dessa maneira, o problema que motiva esta pesquisa está centrado na necessidade crítica de compreender e avaliar de maneira abrangente as duas principais técnicas de estabilização de encostas: Solo Grampeado e Muro de Gabião. Embora ambas as abordagens se destaquem como soluções eficazes para a contenção de taludes, a falta de uma análise teórica comparativa abrangente cria lacunas significativas no entendimento dos profissionais da engenharia geotécnica.

Por conseguinte, esta pesquisa é crucial em face dos desafios cada vez mais complexos associados à estabilização de encostas, pois com a urbanização contínua e a ocupação de áreas geotécnicas desafiadoras, a escolha entre o Solo Grampeado e o Muro de Gabião torna-se uma decisão crítica na prática da engenharia. Logo, pode-se afirmar que a justificativa para este estudo reside na necessidade de oferecer aos profissionais uma compreensão mais profunda e embasada sobre essas técnicas, capacitando-os a tomar decisões informadas durante o processo de projeto.

Diante do exposto, o objetivo geral do presente artigo é investigar as duas principais técnicas de estabilização de encostas: Solo Grampeado e Muro de Gabião. Para tanto, se fazem necessários os seguintes objetivos específicos: comparar as duas técnicas de contenção de encostas; e citar casos da utilização das duas técnicas no Brasil.

¹ Disponível em: <https://ilhota.sc.gov.br/pagina-6324/>. Acesso em: 21 nov. 2023

A pesquisa será classificada como aplicada, pois tem o objetivo de aplicar os conhecimentos teóricos existentes na área de estabilização de encostas para propor uma solução prática e concreta para o problema do deslizamento/ movimento de terra na área estudada (Caputo; Caputo; Rodrigues, 2015). Quanto à abordagem será mista, combinando elementos qualitativos e quantitativos. Quanto aos objetivos será tratada ao nível exploratório, pois busca-se explorar e compreender melhor a problemática do deslizamento de terra na área estudada, identificando as principais causas e possíveis soluções de estabilização. Também fornecerá subsídios para estudos futuros e aprofundados sobre o tema.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Na literatura especializada, diversos métodos de contenção de encostas são discutidos e aplicados para enfrentar desafios relacionados à estabilidade do solo. Dessa maneira, nesta seção do presente artigo serão abordados dois dos principais métodos para tal finalidade: técnica do solo grampeado, e técnica do muro de gabião.

2.1 TÉCNICA DO SOLO GRAMPEADO

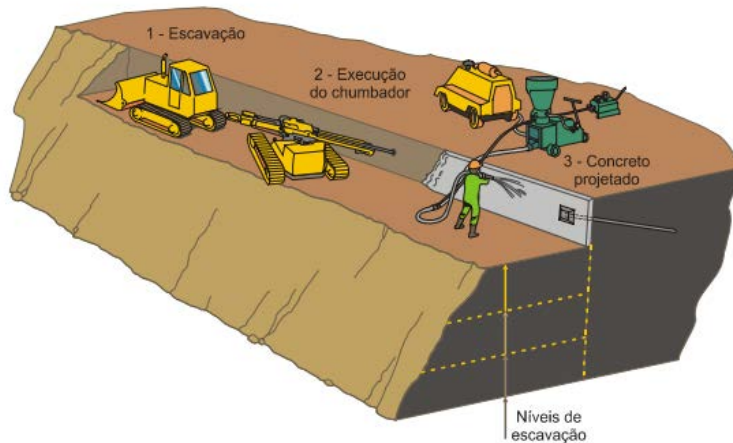
A técnica do solo grampeado é uma abordagem eficaz e comumente utilizada na engenharia geotécnica para a estabilização e contenção de encostas. Esse método envolve a instalação de tirantes ou grampos no solo para melhorar sua estabilidade e resistência a movimentos de massa. A aplicação do solo grampeado é particularmente relevante em encostas íngremes ou áreas propensas a deslizamentos de terra. Sua origem foi uma técnica desenvolvida pelo professor Landislaw Von Rabcewicz, em 1945 e patenteado em 1948, denominada *New Austrian Tunneling Method* (NATM), surgiu devido à necessidade de otimizar o avanço de escavações em túneis rochosos. Nesta técnica, são utilizados chumbadores para fortalecer o maciço rochoso, seguidos de um revestimento flexível de concreto projetado sobre malha metálica ou fibras de aço (Zirlis, 1998).

O processo geralmente começa com a escavação de trincheiras ou perfurações no solo, nas quais são inseridos os grampos. Esses grampos são frequentemente constituídos por barras de aço ou fibras de carbono, ancorados no solo por meio de injeções de calda de cimento ou outro material adequado. A parte exposta do grampo é então protegida por malhas de aço ou concreto projetadas para aumentar a resistência do solo e prevenir a erosão (Silva, 2015).

Na execução de túneis, no método tradicional os deslocamentos do solo próximo à escavação são absorvidos por estruturas rígidas e mais caras; no método NATM os deslocamentos são absorvidos por estruturas flexíveis. A pregagem do solo é utilizada para a estabilização e contenção de taludes naturais ou cortados e é uma técnica eficaz de melhoramento do solo. As estruturas estabilizadoras atuais incluem a inserção de pinças de seção cilíndrica ou retangular, geralmente em aço resistente à corrosão, associadas ao preenchimento com argamassa, drenagem rasa e profunda e construção de paredes frontais com concreto ou grama (Zirlis, 1998).

O processo de execução do grampeamento do solo inicia-se com a escavação, que deve ser realizada em etapas por questões de segurança, pois o material escavado deve permanecer estável até a aplicação dos grampos e da fachada, o que leva várias horas. A profundidade de escavação em cada etapa é de aproximadamente 0,5 a 2,5 m (Lima, 2007). Neste contexto, na Figura 2 podem ser observadas as etapas construtivas.

Figura 2 – Representação dos níveis de escavação, bem como etapas posteriores a escavação



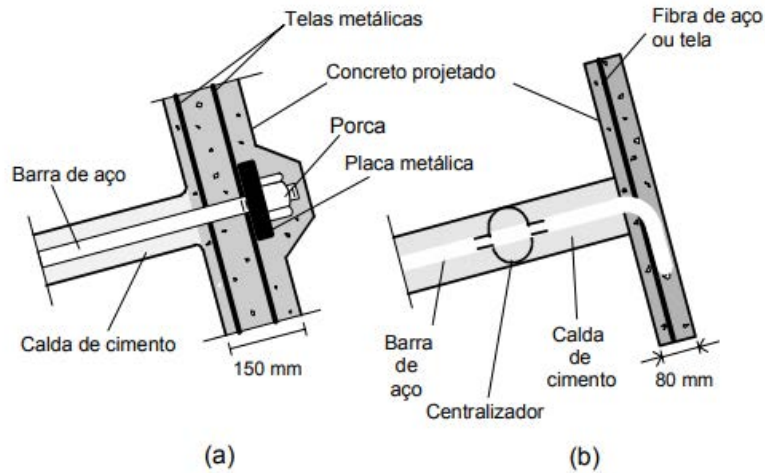
Fonte: Zirlis (1998, p. 4).

A resistência ao cisalhamento não drenada mínima do material a ser escavado é de 10 kPa para permitir a escavação e posterior reforço com pinças (Ortigão, 1997). Esta resistência mínima ao cisalhamento não é um grande problema para esta técnica uma vez que valores maiores ou iguais são observados na maioria das areias e argilas.

Se o solo não estabilizar dentro do tempo necessário, a superfície de escavação deverá ser estabilizada imediatamente. Quando o risco de movimentos de grandes dimensões é considerável, algumas soluções podem ser adotadas para evitar acidentes: reduzir o ângulo de inclinação da parede de escavação para a vertical (5° a 10°) e realizar escavação equilibrada.

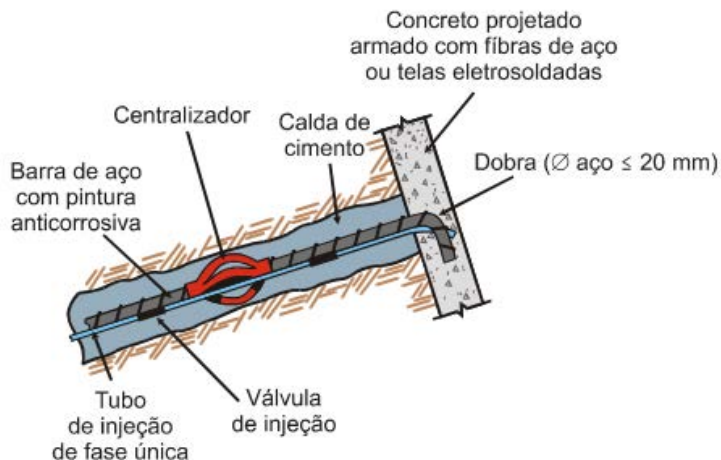
A instalação das pinças deve ser realizada imediatamente após a conclusão da primeira camada de escavação. Este processo será repetido até que a camada final seja escavada. Os grampos podem ser crimpados ou injetados, montados horizontalmente ou levemente inclinados em relação à horizontal.

Os grampos cravados, na grande maioria dos casos, são moldados *in loco*, por meio das operações de perfuração e fixação de armação com injeção de calda de cimento. As perfurações são normalmente executadas por equipamentos, pesando entre 50 e 1000 kgf, portanto leves, de fácil manuseio, instalação e trabalho sobre qualquer talude (Zirlis; Pitta; Souza, 2015), como pode ser observado na Figura 3.

Figura 3 – Cabeça das barras com dobras em “L” ou parafusadas

Fonte: Lima *et al* (2002, p. 1).

Já na técnica de grampos injetados, o processo inicia-se com a perfuração do solo, com diâmetro compreendido entre 50 e 600 milímetros (França, 2007). A injeção do grampo em fases ou setores, poderá ser realizada por fluido cimentante qualquer. Usualmente são empregadas caldas de cimento ou resinas. Normalmente se utiliza uma calda com elevado teor de cimento para solos, reservando as resinas para materiais rochosos (Zirlis *et al.*, 2015). Os elementos aqui citados podem ser verificados na Figura 4.

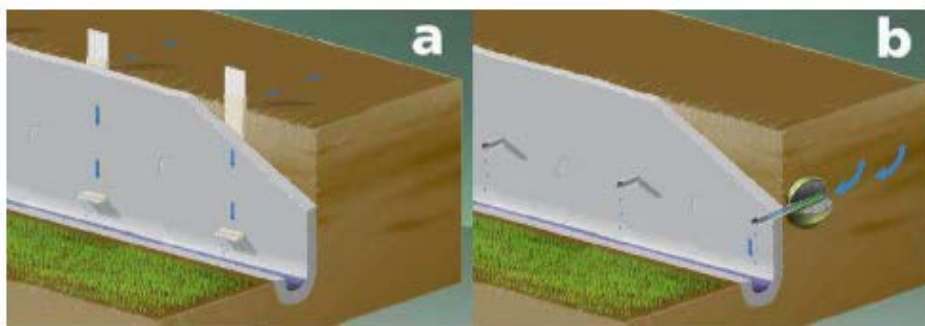
Figura 4 – Centralizadores, tubos e válvulas de injeção

Fonte: Zirlis (1998, p. 6).

Há de se comentar que no início do processo de estabilização do parâmetro, é fundamental destacar que a superfície não desempenha uma função estrutural, pois apenas absorve pequenas cargas, mas têm a finalidade de prevenir rupturas pontuais e início de processos erosivos. O revestimento normalmente é realizado com concreto projetado e malha de aço eletrosoldada. Se o talude tiver uma inclinação suave, em torno de 45°, é viável considerar a utilização de um revestimento com vegetação. Fibras de aço ou fibras sintéticas associadas ao concreto projetado podem substituir a malha eletrosoldada. Dessa forma, o processo é otimizado, pois o tempo de execução e o volume de concreto diminuem resultando em uma maior economia.

Por fim, o sistema de drenagem visa oferecer um fluxo organizado para as águas internas ou externas que a ele convergem. Durante a execução, devem ser conferidas e ajustadas as posições dos drenos previstos na fase do projeto. Desta forma, haverá um correto sistema de drenagem. Diante disso, se faz necessário o uso de drenagem para evitar que a percolação de água de outras fontes ocorra em direção ao paramento. Assim, usam-se os drenos lineares contínuos e o barbacã - dreno superficial (FIGURA 5).

Figura 5 – Drenagem de paramento utilizando sistema com drenos lineares contínuos (a) e barbacã (b), respectivamente



Fonte: Pitta, Souza e Zirlis (2013, p. 12).

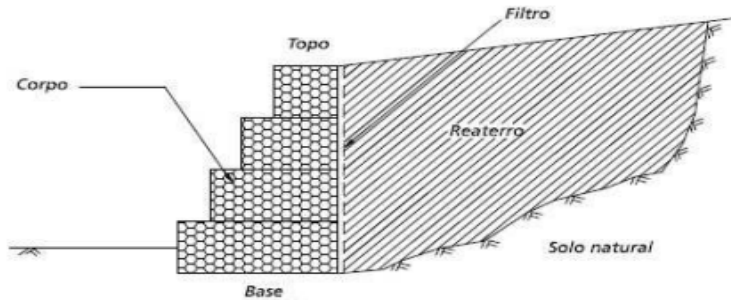
A drenagem superficial realizada com os drenos de superfície (barbacã) é um procedimento de drenagem pontual projetado para abranger toda a superfície do paramento, conforme especificado no projeto. E estes são executados com inclinação descendente e possui a escavação de uma cavidade preenchida com material arenoso.

2.2 TÉCNICA DO MURO DE GABIÃO

Estruturas de contenção ou de arrimo são obras civis construídas com a finalidade de prover estabilidade contra a ruptura de maciços de terra ou rocha. São estruturas que fornecem suporte a estes maciços e evitam o escorregamento causado pelo seu próprio peso ou por carregamentos externos. Exemplos típicos de estruturas

de contenção são os muros de arrimo. Os materiais utilizados e o formato da estrutura de contenção à gravidade são muito variados. A estrutura (muro) é formada por um corpo maciço que pode ser construído em concreto, pedras argamassadas, gabiões ou até a combinação de vários tipos de materiais (Cintra, 2013).

Figura 6 – Representação básica do muro de gabião por gravidade

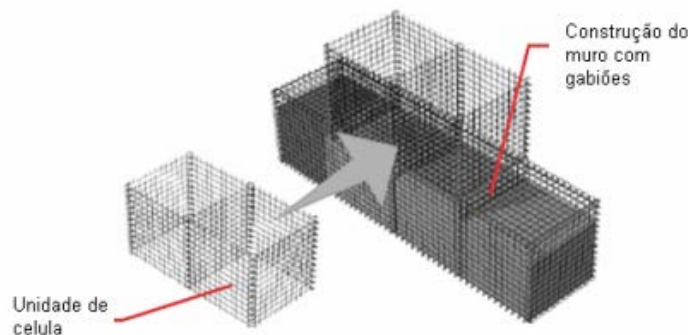


Fonte: Patricio (2013, p.3 9).

A estrutura de contenção do solo, conhecida popularmente também como muro de arrimo, faz parte das mais antigas construções da humanidade. Ela tem como função, a contenção de um maciço de terra ou de rochas, transmitindo seus esforços para solo e proporcionando estabilidade, garantindo a segurança do que existe acima e abaixo delas (Gerscovich, 2010).

São contenções feitas de gaiolas metálicas preenchidas com pedras e formadas com fios de aço galvanizados em malha hexagonal com dupla torção, conforme mostra a Figura 6. Quando os muros são de grande altura, gabiões mais baixos (altura = 0,5m), que apresentam maior rigidez e resistência, precisam ser colocados nas camadas inferiores, onde as tensões de compressão são mais expressivas. A rede metálica que compõe os gabiões é de resistência mecânica elevada. Se houver a ruptura de um dos arames, a dupla torção dos elementos continua a forma e a flexibilidade da malha, absorvendo as deformações excessivas. Esta proteção funciona contra a ação das intempéries e de águas e solos desfavoráveis (Patricio, 2013).

Figura 6 – Esquema de construção do muro de gabiões



Fonte: Chuquimuni (2005, p. 34).

A rede, em malha hexagonal de dupla torção, é produzida com arames de aço com baixo teor de carbono, revestidos com uma liga de zinco, alumínio (5%) e terras raras, que confere proteção contra a corrosão. Quando em contato com água, é aconselhável que seja utilizada a malha produzida com arames com revestimento adicional de material plástico, que oferece uma proteção definitiva contra a corrosão. Na Tabela 1 representa os pesos correspondentes ao diâmetro do fio das malhas.

Tabela 1 – Peso das telas do grabião

Malha	Altura da caixa [m]	Peso [kgf/m ³]				
		Diâmetro do fio [mm]				
		2,00	2,20	2,40	2,70	3,00
5 x 7	0,50	11,10	11,05	14,30	-	-
	1,00	7,25	8,20	10,50	-	-
6 x 8	0,50	8,50	10,90	12,30	15,20	-
	1,00	5,55	6,95	8,20	10,30	-
8 x 10	0,50	-	-	11,20	12,60	15,00
	1,00	-	-	7,85	8,70	10,50
10 x 12	0,50	-	-	-	11,00	13,50
	1,00	-	-	-	7,50	9,00

Fonte: Barros (2017, p. 113).

O enchimento das caixas vazias é realizado com pedra tipo rachão (FIGURA 7), possuindo diâmetro sempre maior que a dimensão da malha hexagonal. A atividade é realizada com o apoio de máquinas do tipo escavadeira hidráulica, retroescavadeira ou pá carregadeira, o material pétreo é lançado sobre as caixas vazias e arrumado manualmente com o objetivo de eliminar o máximo de vazios possíveis. Com a caixa totalmente preenchida, é feito o fechamento da tampa e as amarrações ao longo das bordas e das paredes de diafragma (Ojea; Rocha; Santos Junior; Chiari, 2009).

Figura 7 – Pedra tipo rachão



Fonte: Catálogo Vendas (s.d)².

² Disponível em: <https://www.catalogovendas.com.br/produtos/pedra-1-2-3-4-pedrisco-rachao-bgs-bica>. Acesso em: 29 nov. 2023.

O mesmo processo é repetido até que seja executado o muro na altura determinada em projeto, o muro é executado em forma piramidal sendo sua base maior que o topo do muro. A NBR 11682 (ABNT, 2009), determina que a base do muro deve ter uma largura de até 70% do tamanho da altura do muro, o seu tamanho deve ser determinado em cálculos específicos. Neste sentido, algumas dessas dimensões estão demonstradas na Tabela 2.

Tabela 2 – Dimensões mais usadas em muros de gabião

Muro de Gabião c/ diafragma				
Dimensões			Volume (m ³)	Diafragmas
Comprimento (m)	Largura (m)	Altura (m)		
1,50	1,00	0,50	0,75	-
2,00	1,00	0,50	1,00	1,0
3,00	1,00	0,50	1,50	2,0
4,00	1,00	0,50	2,00	3,0
1,50	1,00	1,00	1,50	-
2,00	1,00	1,00	2,00	1,0
3,00	1,00	1,00	3,00	2,0
4,00	1,00	1,00	4,00	3,0

Fonte: Organizado pelos Autores com dados da Comep (2023). Disponível em: <http://comeptelas.com.br/pdf/gabiao.pdf>. Acesso em: 28 out. 2023.

3 METODOLOGIA

A pesquisa em questão será classificada como aplicada, uma vez que tem o propósito de colocar em prática os conhecimentos teóricos disponíveis no campo da estabilização de encostas, visando apresentar uma solução efetiva para o problema de deslizamentos de terra na região sob análise. Quanto à abordagem será mista, combinando tanto elementos qualitativos quanto quantitativos, assim utiliza-se dados qualitativos para obter uma compreensão profunda do contexto e das características locais, ao mesmo tempo em que analisou-se as raízes e implicações dos deslizamentos de terra (Alonso; Brandão; Gonçalves, 2021).

Quanto ao nível, a pesquisa se enquadrou na categoria exploratória, uma vez que tem como objetivo explorar e aprofundar o entendimento da problemática dos deslizamentos de terra na área em foco. Isso implicará a identificação das principais causas desses deslizamentos e o desenvolvimento de possíveis soluções de estabilização. Além disso, a pesquisa exploratória fornecerá a base necessária para investigações posteriores e mais detalhadas sobre esse tema relevante (Lakatos, 2021).

Dessa maneira, foi realizada uma revisão bibliográfica sobre os métodos e critérios utilizados na estabilização de encostas, incluindo estudos anteriores, normas técnicas, publicações científicas e experiências práticas. Com base na revisão bibliográfica e análise dos dados, será proposta uma comparação dos métodos viabilizando as vantagens e desvantagens de cada um.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 EXEMPLOS DE APLICAÇÃO DO SOLO GRAMPEADO NO BRASIL

A evolução da técnica de solo grampeado no Brasil pode ser dividida em dois diferentes períodos, no qual o primeiro se constituiu na execução de projetos de contenção de forma empírica e com base na experiência de construtores de túneis da metodologia *New Austrian Tunneling Method* (NATM), ao passo que o segundo período é marcado por projetos feitos de forma racional por meio do uso dos métodos equilíbrio limite para dimensionamento (Silva, 2009). O primeiro registro que se tem sobre o uso de solo grampeado no Brasil data da década de 1970, onde construtores de túneis faziam a aplicação de grampos de forma intuitiva (Ortigão *et al.*, 1993). Segundo os mesmos autores, dentre as primeiras aparições de tal método de estabilização estão os realizados em taludes de barragens em Xavantes (SP), emboque do túnel 5 do sistema Cantareira e taludes da rodovia dos Imigrantes, em São Paulo.

Muitos outros projetos foram executados no Brasil, porém uma obra merece destaque pela importância trazida no processo de duplicação da BR-101 em Santa Catarina, bem como pelo fato de ter sido uma obra recente de solo grampeado com associação de telas metálicas e cobertura vegetal. Trata-se do emboque norte do túnel sob o Morro Agudo, no município de Paulo Lopes. A obra de estabilização por solo grampeado foi necessária devido à ocorrência de deslizamentos superficiais de solo, causados por aterros executados sobre argila mole após a escavação do túnel em rochas duras. A obra final teve cobertura de uma área total de 5670 m², com ancoragens espaçadas horizontalmente em 2 metros e verticalmente em 2,5 metros, com 3 milímetros de diâmetro, podendo a obra ser verificada nas Figuras 8 e 9.

Figura 8 – Obra de estabilização por solo grampeado - cobertura com telas metálicas e vegetação em Paulo Lopes



Fonte: Agudo Hill Tunnel - BR-101³.

³ Disponível em: https://www.geobrugg.com/pt/Agudo-Hill-Tunnel-BR-101-23293.html?projekt_loesung_id=366. Acesso em 21 nov. 2023.

Figura 9 – Detalhe das telas metálicas no emboque norte do Morro Agudo, em Paulo Lopes



Fonte: Agudo Hill Tunnel - BR-101⁴.

Outro projeto de sucesso realizado no Brasil está localizado na cidade de Carajás, no estado do Pará, onde telas metálicas de alta resistência foram usadas para o cobrimento de talude com inclinação próxima a 90°, conforme pode ser verificado nas Figuras 10 e 11.

Figura 10 – Projeto executado para estabilização de talude com inclinação próxima a 90°



Fonte: Carajas Mine⁵.

4 Disponível em: <https://www.geobrugg.com/en/Agudo-Hill-Tunnel-BR-101-6681.html>.
Acesso em 29 nov. 2023.

5 Disponível em: https://www.geobrugg.com/pt/Carajas-Mine-23599.html?projekt_loesung_id=366.
Acesso em 29 nov. 2023.

Figura 11 – Ancoragem dos grampos

Fonte: Carajas Mine (s.d)⁶

4.2 EXEMPLO DE APLICAÇÃO DO MURO DE GABIÃO NO BRASIL

Os gabiões são estruturas de fácil montagem e se encaixam harmoniosamente, integrando-se ao seu entorno, garantindo que até a vegetação se desenvolva no mesmo, apresentando uma paisagem agradável em contraste com as soluções de concreto rígido ou rochoso (Cintra, 2013). A exemplo de aplicação dessa estrutura, temos a Obra da Orla Pôr-do-Sol, localizada na margem do rio Vaza-Barris, no bairro Mosqueiro, do estado de Aracaju/SE. Podemos verificar a execução e finalização nas Figuras 11 e 12, respectivamente.

Figura 11 – Muro de gabião em execução na Orla Pôr-do-Sol em Aracaju

Fonte: Prefeitura de Aracaju (2008)⁷.

⁶ Disponível em: https://www.geobruigg.com/pt/Carajas-Mine-23599.html?projekt_loesung_id=366. Acesso em 29 nov. 2023.

⁷ Disponível em: https://www.aracaju.se.gov.br/noticias/33739/obras_da_orla_por-do-sol_estao_previstas_para_serem_concluidas_ate_o_final_este_ano.html. Acesso em: 21 nov. 2023

Figura 12 – Muro de gabião finalizado na Orla Pôr-do-Sol em Aracaju

Fonte: Governo de Sergipe (2018).

Outro projeto executado está localizado no município de Sorocaba, no estado de São Paulo, onde a prefeitura entregou um muro de arrimo construído na rua Paulo Alves de Souza - Vila Sabiá, conforme pode ser verificado na Figura 13.

Figura 13 – Muro de gabião na Vila Sabiá

Fonte: Prefeitura de Sorocaba (2016).⁸

4.3 COMPARATIVO DAS TÉCNICAS

É notório que com o passar do tempo, a evolução do processo foi ganhando a confiança dos profissionais da área de construção civil sob diversos pontos de vista. Deste modo, pode-se afirmar que tanto a técnica do solo grampeado quanto a técnica do muro de gabião passou a apresentar vantagens e desvantagens na sua utilização. Em se tratando de tais pontos, no quadro 1 apresenta-se algumas vantagens e desvantagens das técnicas citadas.

⁸ Disponível em: <https://agencia.sorocaba.sp.gov.br/prefeitura-entrega-muro-de-arrimo-na-vila-sabia/>. Acesso em: 29 nov. 2023

Quadro 1 – Vantagens e desvantagens das técnicas

	Solo Grampeado	Muro de Gabião
Vantagens	<p>segurança: a estrutura pode ser executada seguindo a inclinação do terreno, evitando instabilidades;</p> <p>acessibilidade: os equipamentos que são utilizados para execução, podem ser utilizados em áreas de grande densidade de trânsito e edificações;</p> <p>baixo custo: na execução da obra não é necessário a mobilização expressiva de equipamentos.</p> <p>facilidade de execução: os equipamentos podem ser facilmente encontrados no mercado nacional, como exemplo das máquinas para remoção de materiais, perfuração em solo ou rocha, injeção da nata de cimento e para o lançamento de concreto.</p>	<p>flexibilidade: os gabiões são flexíveis e adaptáveis às irregularidades do terreno. Isso os torna mais eficazes em comparação com estruturas rígidas em terrenos instáveis;</p> <p>drenagem eficiente: os espaços abertos entre as pedras permitem uma excelente drenagem, reduzindo o acúmulo de água atrás do muro;</p> <p>sustentabilidade e estética: são utilizados materiais naturais, como pedras, tornando-os uma opção sustentável. Além de a estética natural se integrar bem ao ambiente circundante;</p> <p>manutenção simples: se uma parte da estrutura foi danificada, é possível substituir facilmente as unidades danificadas sem afetar o restante da estrutura.</p>
Desvantagens	<p>corrosão: é de extrema importância tomar cuidado na injeção de nata de concreto, pois deve-se atender ao cobrimento mínimo exigido para não ocasionar corrosão das barras de aço;</p> <p>monitoramento: até seis meses após o fim da obra, deve-se realizar fiscalizações dos deslocamentos dos grampos, uma vez que, os mesmo levam algum tempo para se mobilizarem em relação a carga atuante;</p> <p>nível do lençol freático: quando se tem o nível de água no limite das escavações deve-se primeiramente realizar o rebaixamento do lençol freático;</p> <p>necessidade de coesão: o solo necessita ter coesão suficiente para manter o corte da fase da escavação estável até que os grampos sejam inseridos.</p>	<p>restrições de altura: muros muito altos podem exigir análises e considerações especiais de engenharia, gerando restrições de altura;</p> <p>assentamento diferencial: como os gabiões podem se adaptar às irregularidades do terreno, há o risco de assentamento diferencial, especialmente em terrenos com características geotécnicas variadas;</p> <p>deterioração: em ambientes agressivos, como regiões com alta salinidade ou poluição, podem deteriorar-se mais rapidamente, o que pode afetar sua durabilidade ao longo do tempo;</p> <p>manutenção necessária: os gabiões podem exigir manutenção, caso houver danos por fatores como erosão, desgaste ou movimentação do solo.</p>

Fonte: Organizado pelos Autores (2023).

Contudo, apesar das duas técnicas serem muito bem difundidas na área geotécnica, há diversas distinções que devem ser observadas durante a etapa de escolha entre os dois métodos. A seguir serão discriminadas algumas diferenças encontradas na literatura atual:

- a) de acordo com Zirlis (1998), logo que a estrutura é finalizada os tirantes sofrem o processo de protensão, sem deformar o maciço. Já os chumbadores, por não sofrerem o processo de protensão, necessitam que o solo deforme para que os grampos iniciem o seu trabalho. Contudo, o autor destaca que apesar destas deformações se fazerem necessárias para a técnica de solo grampeado se tornar efetiva, são deformações extremamente pequenas;
- b) segundo Ortigão (1997), o pré-tensionamento das cortinas recebem uma carga na ordem de 150 a 1000 kN, com a função de prevenir os deslocamentos do paramento. Enquanto os grampos sofrem cargas de pré-tensão na ordem de 5 a 10 kN, com o intuito somente de garantir a ligação no paramento de concreto projetado;
- c) como caracteriza Lima (2007), os grampos se mantêm em contato com o terreno por toda a sua extensão, já as ancoragens das cortinas têm a sua carga transferida somente ao longo do comprimento de ancoragem;
- d) conforme Cintra (2013), os blocos de rocha utilizados para o enchimento não devem ser suscetíveis a intemperismo ou desintegração e devem ter a dimensão de uma a duas vezes a menor dimensão da malha, para evitar perda de material e garantir a maior densidade possível;
- e) Barros (2017) indica as dimensões dos gabiões caixa padronizadas: o comprimento, sempre múltiplo de 1 m, varia de 1 m a 4 m, com exceção do gabião de 1,5 m; a largura é sempre de 1 m; e a altura pode ser de 0,50 m ou 1,00 m;
- f) segundo Baroni (2012), os gabiões constituídos por malha e blocos de rocha são estruturas altamente permeáveis, o que evita que sejam geradas pressões hidrostáticas. Da mesma forma, constituem-se como ralos que permitem a evacuação das águas de percolação, otimizando assim as secções das referidas estruturas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A estabilização de encostas representa um desafio significativo na engenharia civil, principalmente em regiões propensas a deslizamentos de terra e movimentos de massa. Nesta pesquisa, enfatizou-se a viabilidade e a eficácia tanto do solo grampeado quanto do muro de gabião como soluções promissoras para conter e estabilizar encostas em diferentes contextos geológicos.

O estudo detalhado do solo grampeado demonstrou sua eficácia ao exigir uma abordagem meticulosa, considerando minuciosamente as propriedades do solo,

topografia local e presença de águas subterrâneas. Contudo, a implementação desse método requer uma colaboração interdisciplinar entre especialistas em geotecnia, engenheiros civis, hidrólogos e ambientalistas, garantindo não apenas sua eficácia imediata, mas também sua sustentabilidade ao longo do tempo.

Por outro lado, o muro de gabião destaca-se por sua adaptabilidade às irregularidades do terreno e sua eficiência na drenagem, mostrando-se uma opção valiosa em determinados contextos geotécnicos. No entanto, é vital considerar cuidadosamente questões como a limitação de altura, possíveis assentamentos diferenciais e a necessidade de manutenção regular para assegurar sua eficácia contínua.

É fundamental destacar que a prevenção de desastres em encostas vai além das preocupações técnicas, sendo também uma responsabilidade ética e social. Investir em estratégias de estabilização não apenas preservar vidas humanas, mas também proteger e conservar o meio ambiente. Assim, garantir a segurança das comunidades que residem nessas áreas é uma prioridade inegável.

Ademais, a pesquisa e desenvolvimento contínuos de novas técnicas de estabilização de encostas são essenciais. A constante evolução na engenharia geotécnica é crucial para enfrentar os desafios complexos associados à estabilização de encostas, especialmente num mundo em constante mutação.

A atenção dedicada à seleção, implementação e manutenção de técnicas de estabilização de encostas, tanto o solo grampeado quanto o muro de gabião, reflete um compromisso com a segurança, bem-estar e preservação ambiental para as gerações futuras. Uma abordagem holística e um compromisso duradouro são fundamentais para lidar eficazmente com os desafios atuais e futuros relacionados à estabilização de encostas, promovendo um ambiente mais seguro e sustentável para todos.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 11682**: Estabilidade de encostas. Rio de Janeiro. ABNT, INMETRO, 33P. 2009.

ALONSO, C.; BRANDÃO, C; GONÇALVES, S. Análise temática qualitativa com o apoio do MaxQda – O impacto da COVID-19 no setor da restauração. **New Trends in Qualitative Research**, Oliveira de Azeméis, Portugal, v. 9, p. 312-319, 2021. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/135849>. Acesso em: 1 dez. 2023.

BARONI, Magnos; SPECHT, Luciano Pivoto; PINHEIRO, Rinaldo José Barbosa. Construção de estruturas de contenção utilizando pneus inservíveis: análise numérica e caso de obra. **Rem: Revista Escola de Minas**, v. 65, n. 4, p. 449-457, 2012.

BARROS, Pérsio Leister de Almeida. **Obras de contenção**: manual técnico. Jundiaí: Maccaferri, 2015. Disponível em: https://marcosporto.eng.br/wp-content/uploads/2018/02/TM-_-BR-_-Manual-Obras-de-Conten%C3%A7%C3%A3o-_-PT-_-Feb21.pdf. Acesso em: 1 dez. 2023.

CAPUTO, Homero Pinto; CAPUTO, Armando Negreiros; RODRIGUES, J. Martinho A. **Mecânica dos Solos e suas aplicações**. Volume 2. 7. ed. São Paulo: LTC, 2015.

CHUQUIMUNI, Roberth Aguilar. **Análise Numérica do alteamento de barragens de terra**. 2005. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro: Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/8624/8624_1.PDF. Acesso em: 1 dez. 2023.

CINTRA, José Carlos A. **Fundações: ensaios estáticos e dinâmicos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

FRANÇA, F. A. N. **Ensaio de arrancamento em solo grampeado executados em laboratório**. 2007. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo: São Carlos, 2007. doi:10.11606/D.18.2007.tde-07122007-102859.

GERSCOVICH, Denise M S. **Estruturas de contenção: Muros de arrimo**. Rio de Janeiro: UERJ. 2010. Disponível em: <http://www.eng.uerj.br/~denise/pdf/muros.pdf>. Acesso em: 1 dez. 2023.

LAKATOS, Eva M. **Fundamentos de metodologia científica**. São Paulo: Grupo GEN, 2021.

LIMA, André P.; GERSCOVICH, Denise M. S.; SAYÃO, Alberto S. F. J. Modelagem numérica de estruturas de contenção com solo grampeado. Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica (COBRAMSEG), 12, 2002. **Anais [...]**, São Paulo: 2002. V. 1, p. 447-457. Disponível em: <http://www.eng.uerj.br/~denise/artigos/grampo/XII%20COBRAMSEG%202002.pdf>. Acesso em: 1 dez. 2023.

LIMA, André P. **Comportamento de uma escavação grampeada em solo residual de gnaiss**. 2007. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2007. Disponível em: https://dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select_action=&coobra=84054. Acesso em: 28 out. 2023.

OJEA, D. M.; ROCHA, P. E. O.; SANTOS JUNIOR, P. J.; CHIARI, V. G. **Manual Técnico: critérios gerais para projeto, especificação e aplicação de geossintéticos**. Jundiaí: MACCAFERRI DO BRASIL, 2009. Disponível em: https://marcosporto.eng.br/wp-content/uploads/2018/02/TM-_-BR-_-Manual-Crit%C3%A9rios-gerais-para-aplica%C3%A7%C3%A3o-de-geossint%C3%A9ticos-_-PT-_-Feb21.pdf. Acesso em: 1 dez. 2023.

ORTIGÃO, J. A. R. Ensaios de arrancamento para projetos de solo grampeado. **Nota Técnica, Solos & Rochas, ABMS**, v. 20, p. 1, 1997. Disponível em: <https://www.abms.com.br/wp-content/uploads/2014/09/Revista119.pdf>. Acesso em: 3 dez. 2023.

ORTIGÃO, J. A. R.; ZIRLIS, A. C.; PALMEIRA, E.M. Experiência com solo grampeado no Brasil - 1970- 1993. **Solos e Rochas**, São Paulo, v. 16, n. 4, p. 291-304. Disponível em: <https://www.solotrat.com.br/pdf/1993-experiencia-com-solo-grampeado-no-brasil-1970-1993.pdf>. Acesso em: 3 dez. 2023

PATRICIO, Renato Pickler. **Adequação do FMEA para gerenciamento de riscos em obra de infraestrutura, após a aplicação da análise preliminar de risco na execução de muro de gabião**. 2013. 66 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná: Curitiba, 2013. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/17909>. Acesso em: 1 dez. 2023.

PINTO, Roberto Carlos; PASSOS, Everton; CANEPARO, Sony Cortese. Considerações a respeito dos condicionantes utilizados em pesquisas envolvendo movimentos de massa. **Geoiंगा: Revista do Programa de Pós-Graduação em Geografia**, Maringá, v. 5, n. 1, p. 102-127, 2013. DOI: <https://doi.org/10.4025/geoiंगा.v5i1.49211>

PITTA, Cairbar Azzi; SOUZA, George Joaquim Teles de; ZIRLIS, Alberto Casati. Alguns detalhes da prática de execução do solo grampeado. Conferência Brasileira de Encostas (COBRAE), 6, 2013. **Anais [...]**, 2013, p. 1-24.

SILVA, Danilo Pacheco e. **Análise de diferentes metodologias executivas de solo grampeado a partir de ensaios de arrancamento realizados em campo e laboratório**. 2009. 313 p. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2009. DOI: <https://doi.org/10.11606/T.18.2009.tde-22032010-102032>

SILVA, Henrique Oliveira Wintgens da. **Tirantes em estruturas de contenção de solo: diretrizes para projeto e execução**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso, Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2015. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/138310>. Acesso em: 17 nov. 2023.

ZIRLIS, A. C.; PITTA, C. A.; SOUZA, G. J. T. **Manual de Serviços Geotécnicos Solotrat**. 5. ed. São Paulo: Solotrat Engenharia Geotécnica Ltda., 2015.

ZIRLIS, A.C. Reforço do terreno: solo grampeado. **Fundações teoria e prática**. São Paulo: PINI, 1998.

Data do recebimento: 9 de Abril de 2024

Data da avaliação: 20 de Outubro 2024

Data de aceite: 30 de Outubro de 2024

1 Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Tiradentes (UNIT SE);
e-mail: clayton.oliveira@souunit.com.br.

2 Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Tiradentes (UNIT SE);
e-mail: marcos.barros@souunit.com.br.

3 Professor da Universidade Tiradentes (Unit SE); e-mail: souza_ds@outlook.com.br.