

CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIFACVEST
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO – TCC2
CLEUBERTH DA SILVA CARVALHO

**TECNOLOGIA DE GRAMPEAMENTO DE SOLO PARA
ESTABILIZAÇÃO DE TALUDES NATURAIS**

LAGES, SC

2020

CLEUBERTH DA SILVA CARVALHO

**TECNOLOGIA DE GRAMPEAMENTO DE SOLO PARA
ESTABILIZAÇÃO DE TALUDES NATURAIS**

Trabalho de Conclusão de curso apresentado ao Centro Universitário UNIFACVEST como parte dos requisitos para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. M.e Aldori Batista dos Anjos

LAGES, SC

2020

CLEUBERTH DA SILVA CARVALHO

**TECNOLOGIA DE GRAMPEAMENTO DE SOLO PARA
ESTABILIZAÇÃO DE TALUDES NATURAIS**

Trabalho de Conclusão de curso apresentado ao Centro Universitário Unifacvest como parte dos requisitos para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof. M.e Aldori Batista dos Anjos

Lages, SC ___/___/2020. Nota _____

Prof. M.e Aldori Batista dos Anjos

Coordenador do Curso de Engenharia Civil, Eng. M.e Aldori Batista dos Anjos

LAGES, SC

2020

TERMO DE APROVAÇÃO

CLEUBERTH DA SILVA CARVALHO

TECNOLOGIA DE GRAMPEAMENTO DE SOLO PARA ESTABILIZAÇÃO DE TALUDES NATURAIS

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Universitário UNIFACVEST como parte dos requisitos para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. M.e Aldori Batista dos Anjos, coordenador do curso de Engenharia Civil.

Banca examinadora:

Prof. Nicolas Negri

Prof. Pierre Anjos

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pela vida, pela saúde, por sua longanimidade (2 Pedro 3:9), por sua misericórdia (Lamentações 3:22-23) e por seu amor (Jão 3:16). Agradeço a Deus ainda por ter me abençoado com oportunidade que Ele me concedeu de estar realizando a minha tão almejada graduação em Engenharia Civil, pois creio que tudo que acontece na nossa vida é permissão de Deus. Também agradeço a Ele pelo cuidado, pois sei que até aqui Ele tem cuidado de mim.

Agradeço aos meus pais, Flavia Valeria da Silva Nascimento e Cleusimar Rodrigues Carvalho, pelos ensinamentos que me transmitiram no decorrer da minha vida, ensinamentos estes que contribuíram na moldagem do meu caráter. Agradeço a eles pelo apoio que me deram no decorrer desta jornada, minha graduação. Amo muito vocês.

Agradeço a minha noiva, Tayná, que por mais que estivéssemos distantes, sempre se fez presente no meu dia a dia, me dando força, me motivando, me alegrando. Obrigado por sempre está comigo nos momentos de tristeza e de alegria. Obrigado por ser tão carinhosa, amorosa e paciente. Te amo.

Agradeço aos meus irmãos, não por parte de sangue, Antenor Madeira Ursulino Junior, Raimundo Nonato Lima Protásio, Hugo Delleon Quintos Pestana e Giovanni Silva Protásio, ao qual compartilhamos da mesma residência e nos tornamos uma família, partilhado as dificuldades de estar longe de casa e também as alegrias. A companhia de vocês fez com que os meus dias fossem mais alegres e divertidos.

Agradeço à casa MAP, na pessoa do Pr. Alexandro Mattos Ferreira, família que Deus me deu em Lages. Obrigado pelo acolhimento, pelos ensinamentos a mim transmitidos.

Agradeço a dona Nena Delfes, que me acolheu como um filho, estando sempre preocupada com meu bem estar. Mulher forte e amorosa que me ensinou muito.

Agradeço aos meus colegas de faculdade Alexander Wolff Miguel, Cleiton Tavares de Andrade, Osvaldo Kiyoshi Sato, Túlio Cancian, Leonardo Sasso Muniz Sarmento e Robson Fernandes, pelas trocas de conhecimento, e pela amizade e parceria que vão além da faculdade. Desejo todo sucesso do mundo a vocês.

Agradeço ao corpo docente do Centro Universitário Unifacvest, pelas experiências e conhecimento transmitidos.

RESUMO

Introdução: A ocorrência de deslizamentos em encostas tem ocasionado grandes perdas materiais e culturais, acarretando também em grandes fatalidades. Por mais que os deslizamentos sejam um fenômeno natural que atuam na evolução dos relevos, esse fenômeno tem se intensificado devido a utilização de encostas para a construção de moradias em virtude do processo de urbanização, que por sua vez levou as cidades a crescerem de forma desordenada, sem um adequado planejamento prévio do uso do solo e sem a adoção de técnicas apropriadas para a estabilização dessas encostas. Com isso faz-se necessário a estabilização dessas massas de solo a fim de evitar novas catástrofes. Um dos métodos conhecidos que pode ser utilizado para a estabilização desses taludes naturais é o de grampeamento do solo, método esse que inicialmente era utilizado para a estabilização de escavações de túneis, mas mostrou ser eficiente na contenção de taludes. **Objetivo:** Através de uma revisão de literatura, verificar a utilização da tecnologia de grampeamento de solo para a estabilização de encostas. **Materiais e métodos:** Foi realizado um levantamento bibliográfico em livros, artigos científicos, banco de dados digitais e revistas eletrônica, de trabalhos que abordam o assunto em questão. **Resultados:** Os estudos demonstram que, quando a técnica for empregada na estabilização de taludes naturais, os esforços de momento fletor e de cisalhamento nos grampos não devem ser desconsiderados para seu dimensionamento, além de não ser necessário a realização de escavações, pois neste caso a execução da técnica acompanhará a geometria da encosta. **Conclusão:** A metodologia de grampeamento de solo apresenta algumas limitações relacionadas a sua aplicação em alguns tipos de solo e quando o nível do lençol freático estiver muito elevado. Entretanto, se aplicada em condições favoráveis ela apresenta inúmeras vantagens, tais como: elevada velocidade de execução, baixo custo, os equipamentos utilizados são pequenos e leves possibilitando sua utilização em locais com espaço reduzido e adaptabilidade a diversas geometrias de taludes. **Palavras-chave:** Grampeamento de solo. Estabilização de encostas. Utilização.

ABSTRACT

Introduction: The occurrence of landslides has caused great material and cultural losses, also causing major fatalities. As much as the landslides are a natural phenomenon that act on the evolution of the reliefs, this phenomenon has been intensified due to the use of slopes for the construction of houses due to the urbanization process, which in turn has led cities to grow in a disordered way, without adequate prior planning of land use and without the adoption of appropriate techniques for the stabilization of these slopes. As a result, it is necessary to stabilize these soil masses in order to prevent further catastrophes. One of the known methods that can be used for the stabilization of these natural slopes is the stapling of the soil, a method that bulletin was used to stabilize tunnel excavations, but reported to be efficient in containing slopes. **Objective:** Through a literature review, verify the use of soil stapling technology for slope stabilization. **Materials and methods:** A bibliographic survey was carried out on books, scientific articles, digital databases and electronic journals, of works that address the subject in question. **Results:** The studies show that, when the technique is used in the stabilization of natural slopes, the bending moment and shear efforts in the clamps should not be disregarded for their dimensioning, in addition to the fact that excavations are not necessary, as in this case the execution of the technique will follow the geometry of the slope. **Conclusion:** The soil clipping methodology has some limitations related to its application in some types of soil and when the water table level is very high. However, if applied under favorable conditions, it has advantages such as: high execution speed, low cost, the equipment used is small and light, allowing its use in places with reduced space and adaptability to different slope geometries. **Keywords:** Soil clipping. Slope stabilization. Use.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Comparação do NATM com a técnica convencional do revestimento rígido.	14
Figura 2 – Contenção de talude rochoso com a tecnica de grampeamento de solo na Rodovia SC-390.....	15
Figura 3 – Aplicação de solo grampeado em taludes naturais	17
Figura 4 – Aplicação de solo grampeado em taludes de corte	17
Figura 5 – Aplicação de solo grampeado em escavações.....	18
Figura 6 - Fases construtivas em corte. Exemplo de escavação mecanizada	19
Figura 7 – Principais etapas construtivas em escavações grampeadas.....	19
Figura 8 – Detalhes de grampos mais comuns: (a) barra de aço com diâmetro igual ou maior que 20 mm; (b) barra de aço com diâmetro inferior a 20 mm.	23
Figura 9 – Montagem da aplicação convencional do concreto projetado.	25
Figura 10 – Detalhe do dreno sub-horizontal profundo (DHP).....	26
Figura 11 – Detalhe do Barbacã	27
Figura 12 – (a) Principio do comportamento do solo grampeado; (b) deformações que o grampo sofre; (c) forças que agem no grampo.	28
Figura 13 – Grampos submetidos à flexão e esforços cisalhantes	29
Figura 14 – Tração nos grampos	30
Figura 15 – Montagem do ensaio de arrancamento.....	32
Figura 16 – Esquema das deformações em taludes grampeados.....	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tipos de solos e alturas de escavações.....	20
Tabela 2- Espessuras extras em função do tempo de vida útil da estrutura	22
Tabela 3 – Número de ensaios de arrancamento em função da área.....	34
Tabela 4 – Estimativa da resistência ao arrancamento	35
Tabela 5 – Equações propostas por diversos autores para a correlação entre (q_s) e (N_{spt}).....	35
Tabela 6 – Estimação empírica dos deslocamentos.....	38
Tabela 7 – Deslocamentos horizontais em muros de solo grampeado.	38

GLOSSÁRIO DE SIGLAS E SÍMBOLOS

%:	Porcentagem;
cm:	Centímetro;
d:	Diâmetro de perfuração;
D_{EF} :	Limite de influência;
DHP:	Dreno sub-horizontal profundo;
δ_v :	Deslocamento horizontal máximo;
δ_h :	Deslocamento vertical máximo;
H:	Altura total do talude ou escavação;
kg:	Quilograma;
kN:	Quilonewton;
kPa:	Quilopascal;
κ :	Coefficiente empírico utilizado na determinação do D_{EF} ;
L_b :	Comprimento do bulbo ancorado
m:	Metro;
mm:	Milímetro;
NATM:	“New Austrian Tunneling Method”;
N_{SPT} :	Numero de golpes do ensaio SPT;
η :	Inclinação da parede/paramento com a vertical;
PVC:	Policloreto de Vinila;
q_s :	Resistência ao arrancamento no contato solo-grampo;
T_{rup} :	Força de Ruptura no grampo no ensaio de arrancamento;
°:	Grau;

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1. JUSTIFICATIVA	13
1.2. OBJETIVOS	13
1.2.1. Objetivos gerais.....	13
1.2.2. Objetivos específicos.....	13
1.3. METODOLOGIA DA PESQUISA.....	13
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
2.1. HISTÓRICO	14
2.2. DEFINIÇÃO DA TÉCNICA DE GRAMPEAMENTO DE SOLO	16
2.3. METODOLOGIA EXECUTIVA	18
2.3.1. Escavação.....	19
2.3.2. Execução dos grampos.....	20
2.3.2.1. <i>Perfuração do Solo para Colocação dos Grampos</i>	20
2.3.2.2. <i>Proteção dos grampos à corrosão</i>	21
2.3.2.3. <i>Injeção de Calda de Cimento</i>	22
2.3.3. Revestimento em Concreto Projetado.....	24
2.3.4. Drenagem	25
2.4. MECÂNICA DE FUNCIONAMENTO DA ESTRUTURA	27
2.5. ENSAIOS DE ARRANCAMENTO	30
2.5.1. Resistência ao arrancamento (q_s).....	30
2.6. DESLOCAMENTOS NA ESTRUTURA	36
2.7. VANTAGENS E DESVANTAGENS DA TÉCNICA	39
2.7.1. Vantagens	39
2.7.2. Desvantagem	40
2.8. LIMITAÇÕES PARA O USO DO GRAMPEAMENTO DE SOLO	40
3. DISCUSSÃO.....	42
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	44
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas tem se acelerado o processo de urbanização em diversas localidades no Brasil e no mundo, o qual tem acarretado no crescimento das cidades, até mesmo em locais impróprios para a ocupação, ampliando as circunstâncias de riscos e desastres naturais, que podem assumir proporções catastróficas, dentre eles, os escorregamentos (TOMINAGA; SANTORO; AMARAL, 2009).

Segundo Tominaga, Santoro e Amaral (2009), os escorregamentos, reconhecidos também com deslizamentos, consistem em movimentos de massa que envolvem materiais que estão sobre a área de encostas. Esses movimentos de massa são provenientes de processos naturais que atuam na dinâmica das encostas e na evolução das formas do relevo. Porém, a associação desse processo natural com a ocupação urbana em áreas inapropriadas sem a utilização de técnicas apropriadas para a estabilização dessas massas de solo, está propagando a ocorrência de desastres (TOMINAGA, 2007).

De acordo com Tominaga, Santoro e Amaral (2009) a adoção de medidas adequadas pode diminuir e até mesmo evitar os danos materiais e sociais causados por esses tipos de desastres. Além disso, uma das principais medidas de segurança para evitar a movimentação desses maciços de solo estão relacionadas a obra de engenharia, como as obras de contenção de taludes. Gerscovich (2016, p.11) conceitua talude como “qualquer superfície inclinada de um maciço de solo ou rocha. Ele pode ser natural, também denominado encosta, ou construído pelo homem, como por exemplo, os aterros e cortes”.

De acordo com Barros (2006), as contenções são estruturas cuja finalidade é garantir a estabilização de maciços de terra ou rocha, contra sua eventual ruptura. Essas obras civis oferecem apoio a estes maciços conferindo a eles maior resistência aos escorregamentos ocasionados pelo peso próprio ou excesso de carga nos mesmos. Quando a resistência interna do solo, ou seja, a interação entre as partículas do solo, for menor que a força de movimento da massa de solo, podendo haver ou não sobrecargas, ocorrem os deslizamentos, ruptura do solo. (MAROGAN, 2006).

Deste modo, o presente trabalho de conclusão de curso tem como objetivo avaliar, através de revisão de literatura, a empregabilidade da tecnologia de grampeamento de solo para a estabilização de taludes naturais.

1.1. JUSTIFICATIVA

A instabilidade de maciços de terra, que ocorre com frequência em áreas urbanas que são densamente povoadas, onde à ocupação irregular e inadequada, tem acarretado inúmeras fatalidades (MAROGAN, 2006). Desse modo, há a necessidade de empregarmos métodos e técnicas cabíveis para a estabilização dessas encostas que apresentam ou podem apresentar instabilidade, afim de evitarmos novos desastres.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivos gerais

Avaliar, através de uma revisão de literatura o emprego da tecnologia de grampeamento de solo para a estabilização de taludes naturais.

1.2.2. Objetivos específicos

- Descrever as fases de execução da técnica;
- Apresentar a mecânica de funcionamento da técnica aplicada à taludes naturais;
- Investigar vantagens e desvantagens do uso da técnica na estabilização de taludes naturais;
- Caracterizar suas limitações.

1.3. METODOLOGIA DA PESQUISA

Essa pesquisa teve como base uma revisão de literaturas, que consistiu no levantamento de referências teóricas pertinentes ao tema em estudo. As buscas foram realizadas em livros, artigos científicos, páginas de web sites, monografias, banco de dados digital e revistas eletrônicas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

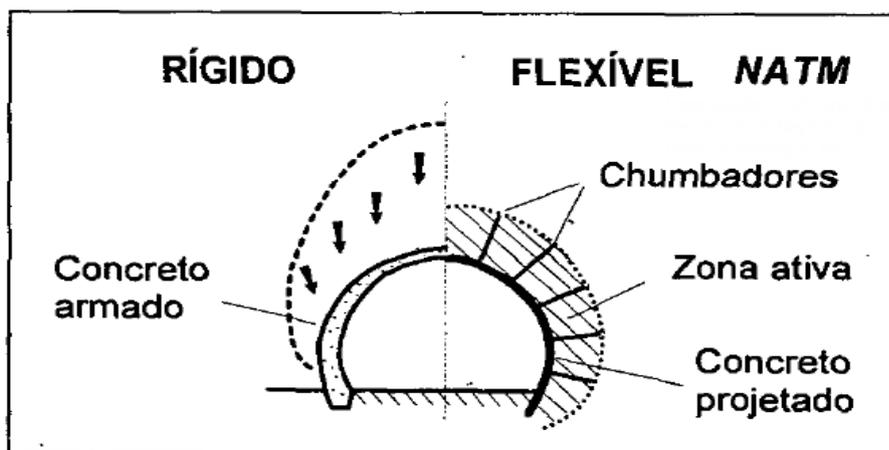
2.1. HISTÓRICO

A partir da exploração de minérios, tornou-se indispensável a estabilização de forma rápida das escavações nas minas de exploração, essa necessidade antiga de realizar a estabilização desses túneis era um problema atribuído somente à engenharia de minas. A utilização de ancoragens curtas para a consolidação de túneis e emboque de túneis teve um crescimento muito grande, na Áustria, Alemanha e França, a partir da década de 50 (HACHICH *et al.*, 1998).

Segundo Hachich *et al.* (1998), a partir de 1945, foi desenvolvida uma técnica para o avanço de escavações em túneis rochosos, essa técnica foi chamada de New Austrian Tunneling Method (NATM). O procedimento era realizado logo após as escavações e consistia na aplicação de um revestimento flexível de concreto projetado, tela metálica e chumbadores curtos radiais na chamada zona plástica formada no perímetro da cavidade. Essa zona plástica resulta da ação de tensões confinantes e do peso do solo, que tendem a reduzir o diâmetro da cavidade.

Através da Figura 1 é realizada a comparação, entre o NATM e a técnica convencional, para a estabilização de túneis, que utilizava um revestimento rígido para evitar os deslocamentos de terra, o que a tornava mais onerosa.

Figura 1- Comparação do NATM com a técnica convencional do revestimento rígido.



Fonte: (ORTIGÃO; ZIRLIS; PALMEIRA, 1993, p. 292).

De acordo com Silva (2009, p. 12):

A partir da experiência adquirida em materiais rochosos, este sistema foi adaptado para ser utilizado em formações rochosas menos competentes e, posteriormente, em

solos, recebendo a denominação de solo pregado. A primeira aplicação em solos ocorreu em Frankfurt, 1970, para a estabilização de uma escavação em um túnel de metrô de pequena seção transversal. Na França, foi utilizada pioneiramente em 1972, aproveitando-se da experiência adquirida com a técnica NATM. Estabilizou-se um talude ferroviário próximo a Versailles, e o sucesso desta obra viabilizou sua utilização em outros projetos de estabilização de taludes e escavações, tanto de forma permanente, como temporária.

De acordo com Toudic (1975), conforme citado por Ortigão, Zirlis e Palmeira (1993), a tecnologia de grampeamento de solo foi utilizada pela primeira vez na França em 1972. Entretanto, Ortigão, Zirlis e Palmeira (1993) afirmam que, 1970, no Brasil, construtores de túneis já haviam utilizado essa técnica com sucesso, porém, essa experiência não foi divulgada de maneira adequada.

Como os engenheiros brasileiros já possuíam uma ampla experiência na construção de contenções do tipo cortina atirantada, a utilização e adaptação a tecnologia de grampeamento de solo não foi complexa, uma vez que, as duas técnicas possuem sequência executiva semelhante (MIKOS et al.; 2017). Ainda segundo Mikos et al. (2017), no Brasil, essa técnica passou a ser utilizada para a implantação de subsolos, cortes e para realizar a contenção de taludes naturais com baixa instabilidade. Na Figura 2 podemos observar um exemplo da utilização da tecnologia de grampeamento de solo sendo utilizada no Brasil, essa figura mostra a aplicação da técnica na Serra do Rio do Rastro na Rodovia SC-390 em Santa Catarina.

Figura 2 – Contenção de talude rochoso com a técnica de grampeamento de solo na Rodovia SC-390



Fonte: Adaptado de Pires (2020, p.1).

2.2. DEFINIÇÃO DA TÉCNICA DE GRAMPEAMENTO DE SOLO

A estabilização do solo a partir da técnica de grampeamento de solo é realizada através da introdução de grampos no maciço de solo, em furos previamente executados por uma perfuratriz, os grampos devem ser envoltos por calda de cimento em toda sua extensão, os tipos de grampos mais utilizados são os de barra de aço. Porém, faz-se necessário uma estabilização da face do talude ou encosta com concreto jateado para o recebimento do reforço de grampos (ORTIGÃO; ZIRLIS; PALMEIRA, 1993; ABREU *et al.*, 2017).

Quando a resistência interna do solo, ou seja, a interação entre as partículas do solo, for menor que a força de movimento da massa de solo, podendo haver ou não sobrecargas, ocorrem os deslizamentos, ruptura do solo. (MAROGAN, 2006). Tendo em vista o cenário descrito, os grampos são colocados sub-horizontalmente no maciço de solo, com o intuito de estabilizar o plano/cunha de ruptura do talude, conferindo maior resistência a tração e cisalhamento ao solo através dos grampos (ORTIGÃO; ZIRLIS; PALMEIRA, 1993).

De acordo com Campos (2015, p. 7):

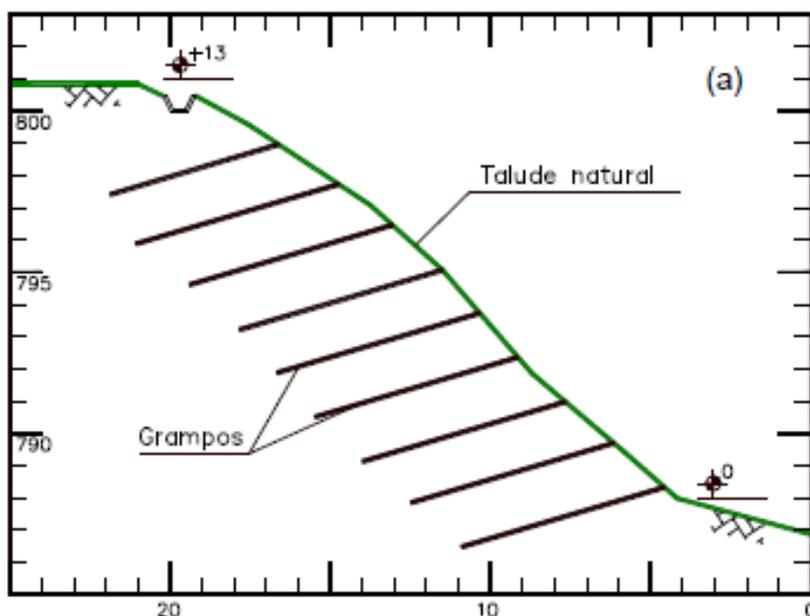
O princípio mecânico do solo grampeado é permitir a deformação do terreno de modo que ocorra a formação de uma região plástica, que é contida pelos reforços (grampos). Desta forma. As tensões utilizadas na contenção são menores do que as correspondentes a um estado sem deformação.

Na técnica de grampeamento de solo são aceitáveis certas deformações no maciço de solo, uma vez que os grampos só iniciam seu trabalho a partir da deformação do solo. Diferentemente das cortinas atirantadas, com ancoragem ativa, onde os tirantes são mobilizados, antes de serem expostos a cargas de serviço, a esforços de tração através da proteção, onde esses esforços são preservados, por mecanismos como porcas, causos ou cunhas, mesmo após a aplicação da carga. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009; HACHICH *et al.*, 1998).

A metodologia de solo grampeado tem uma das suas principais vantagens em relação a outras técnicas de estabilização, a pluralidade de sua aplicação, podendo ser utilizada em três campos: estabilização de taludes naturais (Figura 3), taludes de corte (Figura 4) e contenção ou estabilização de escavações temporárias ou permanentes (Figura 5), que estão relacionadas a aberturas em maciços de solo para execução de vias subterrâneas, podendo ser estacionamentos ou metrô, às fundações de edifícios, escavações para entradas de túneis e cortes para execução de sistemas viários (LIMA, 2007).

1º) Taludes naturais

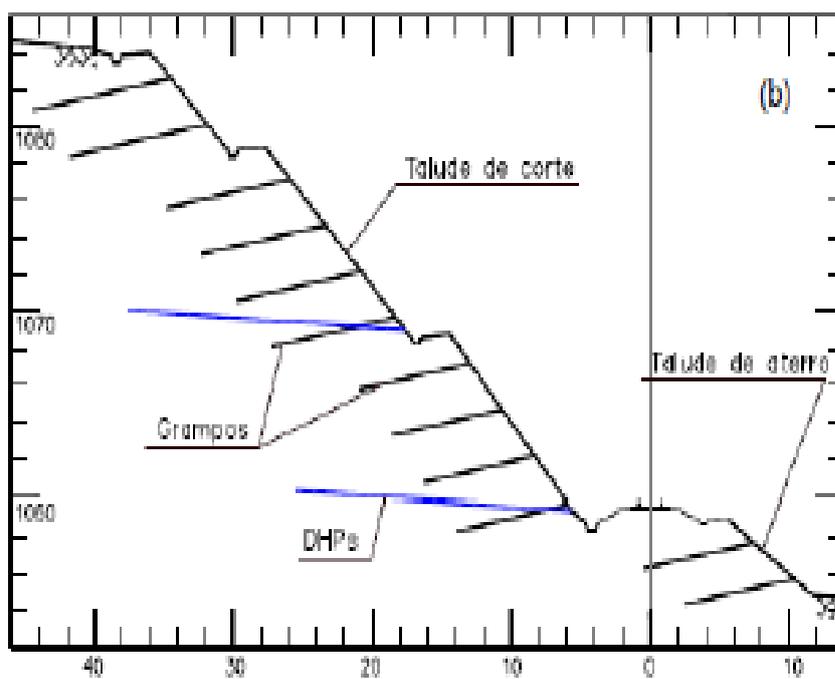
Figura 3 – Aplicação de solo grampeado em taludes naturais



Fonte: (SILVA, 2010 apud CAMPOS, 2015, p. 8).

2º) Taludes de corte ou aterro

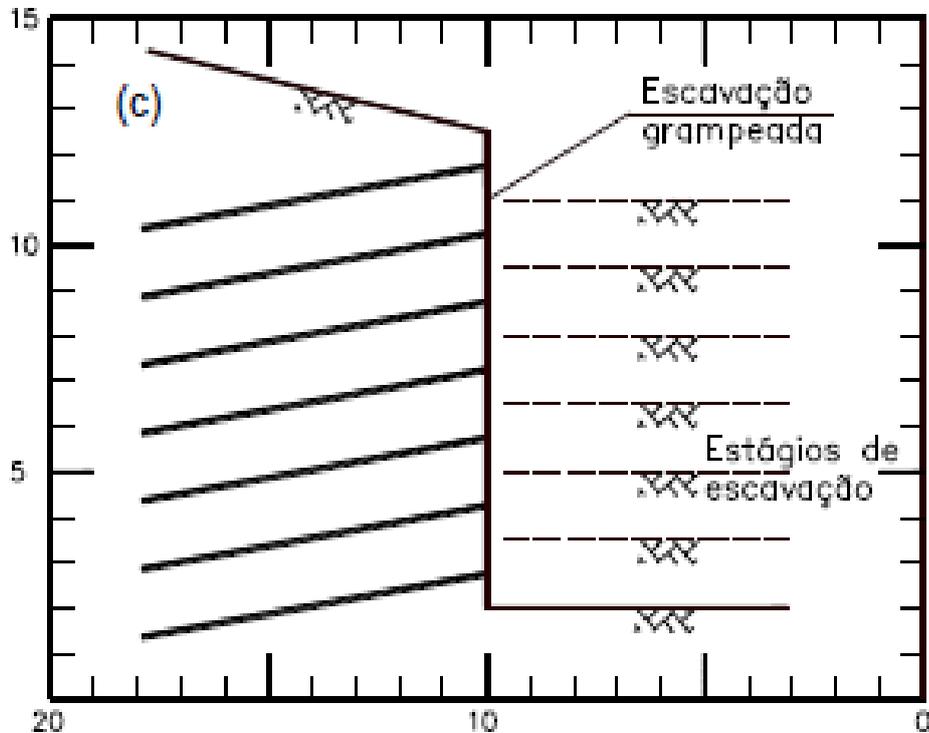
Figura 4 – Aplicação de solo grampeado em taludes de corte



Fonte: (SILVA, 2010 apud CAMPOS, 2015, p. 8).

3º) Escavações

Figura 5 – Aplicação de solo grampeado em escavações



Fonte: (SILVA, 2010 apud CAMPOS, 2015, p. 8).

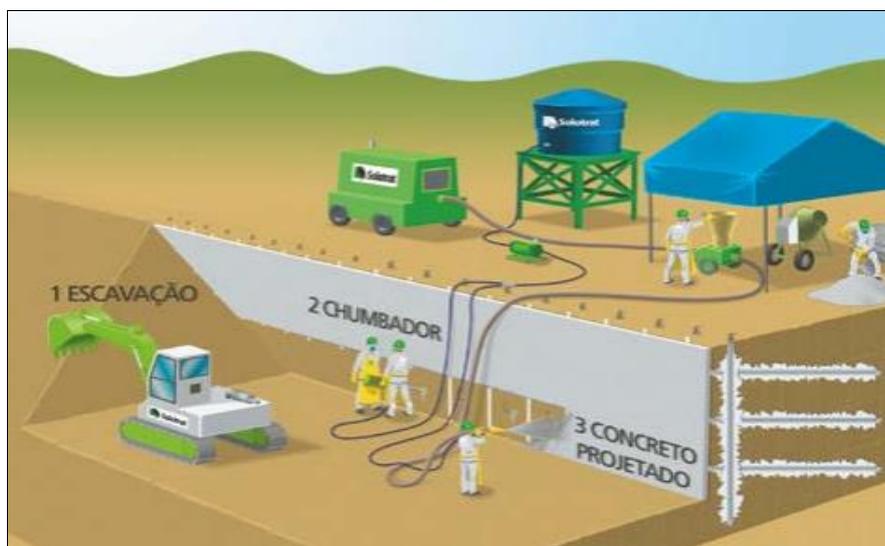
De acordo com Lima (2007, p. 37) a técnica também pode ser utilizada em:

Recuperação de estruturas de contenção tais como, cortinas de terra armada (substituição de tiras ou conexões danificadas por sobrecarga), muros de concreto armado (antes ou logo após as rupturas causadas pela deterioração do muro ou de movimentos a montante) e cortinas atirantadas (após o colapso de ancoragens protendidas, por carregamento excessivo ou por corrosão dos tirantes).

2.3. METODOLOGIA EXECUTIVA

A execução da técnica de solo grampeado é realizada em três fases, a primeira fase consiste na execução das escavações, onde são realizados cortes no maciço de solo deixando-o na geometria de projeto, ou não caso a técnica for utilizada para reforçar taludes naturais, a segunda fase é a execução dos chumbadores e a terceira é a realização do revestimento em concreto projetado, concomitantemente a execução das fases é executada a drenagem (HACHICH *et al.*, 1998). A Figura 6 e 7 mostra as fases construtivas da técnica.

Figura 6 - Fases construtivas em corte. Exemplo de escavação mecanizada



Fonte: Modificado de Solotrat (2018, p. 6).

Figura 7 – Principais etapas construtivas em escavações grampeadas.



Fonte: Modificado de Lima (2007, p. 39).

2.3.1. Escavação

Quanto a técnica de solo grampeado e utilizada na contenção de escavações é recomendado que as escavações tenham sua altura entre 1 e 2 m de profundidade, sendo que a altura total a ser atingida depende do tipo de solo onde estará sendo realizada a escavação e a inclinação da face de escavação. A face do talude precisa se manter estável durante a execução dos grampos e do revestimento com concreto projetado (ORTIGÃO; ZIRLIS; PALMEIRA,

1993). Na Tabela 1 são apresentados valores recomendados de altura de escavação para cada tipo de solo.

Tabela 1 - Tipos de solos e alturas de escavações.

SOLO	ALTURA DE ESCAVAÇÃO EM CORTES VERTICAIS (m)
Silte	1,2 a 2,0
Argila	1,5 (normalmente adensada) e (pré-adensada)
Areia	1,2 (medianamente densa com cimentação) 1,5 (densa com cimentação) 2,0 (cimentada)
Pedregulho	0,5 (com coesão aparente) 1,5 (cimentado)

Fonte: Adaptado de Clouette (1991) apud Corte (2017, p. 29).

De acordo com Lazarte *et al.* (2015) e Silva (2009), é recomendado, após a escavação, a execução de um revestimento inicial, geralmente feito com uma camada superficial de concreto projetado, na face do talude, com o objetivo de fornecer estabilidade e proteção temporária, evitando a ocorrência de possíveis acidentes relacionados a deslizamentos de terra. Depois que o chumbador é colocado e realizada a camada final de concreto projetado.

Segundo Ortigão, Zirlis e Palmeira (1993), a resistência não drenada ao cisalhamento do material a ser escavado deve ser de no mínimo 10KPa, caso essa resistência mínima não seja observada, a escavação não poderá ser executada. Na maioria dos solos argilosos e arenosos, até mesmo em areias puras úmidas, por causa do efeito de capilaridade, essa resistência pode ser encontrada. Esse processo de escavação se torna inviável em solos constituídos predominantemente de areias secas sem nenhuma cimentação entre grãos e em solos argilosos muito moles.

2.3.2. Execução dos grampos

2.3.2.1. Perfuração do Solo para Colocação dos Grampos

As perfurações para a colocação dos grampos são realizadas com equipamentos considerados leves, com pesos que variam de 25 a 500 kg. Perfuratrizes tipo sonda, “crawllair”, “wagon drill” e perfuratrizes manuais são os equipamentos que são utilizados para a execução dos furos, a escolha do equipamento mais adequado está relacionada a profundidade do furo, diâmetro e área de trabalho (CORTE, 2017).

Segundo Corte (2017), os fluidos que podem ser utilizados para a perfuração e limpeza do furo, podem ser lama, água e ar comprimido, a utilização de lama bentonítica requer certo cuidado, pois a mesma causa uma significativa redução do atrito entre o furo e a calda de cimento.

Os grampos também podem ser inseridos no solo por percussão, que seria o cravamento do grampo no solo, utilizando-se de martetele pneumático, o que acelera o processo executivo. Entretanto, a resistência ao cisalhamento na interação solo-grampo se torna pequena, onde para solos arenosos esse valor fica na ordem de 30 a 40 KPa. Além do mais, esse meio não pode ser utilizado quando há presença de pedregulhos e é inapropriado no caso de argilas, como as argilas porosas presentes em São Paulo e em Brasília, pois o atrito solo-grampo resultante é muito baixo. Esse procedimento também possui limitações quanto ao comprimento máximo de cravação eficiente dos grampos, que fica na ordem de 6m (ORTIGÃO; ZIRLIS; PALMEIRA, 1993). Segundo Huchich *et al.* (1998) essa não é uma prática utilizada no Brasil.

Segundo Silva (2009), os grampos podem ser introduzidos no terreno na direção horizontal ou com uma certa inclinação, que em geral é de 5° a 20° em relação á horizontal, porém é sugerido que a inclinação não seja inferior a 10°, devido a possibilidade de ocorrer um mau preenchimento do furo quando for introduzida a calda de cimento.

Os grampos devem ser colocados nos furos de tal forma a ser totalmente recoberto pela calda de cimento, com esse objetivo são utilizados, ao longo dos grampos, dispositivos centralizadores, a fim de garantir um recobrimento adequado (HACHICH *et al.*, 1998). Mikos *et al.* (2017), recomenda que a colocação dos centralizadores seja a cada 1,5m ou 2,0m, com o intuito de garantir um cobrimento mínimo do grampo.

2.3.2.2. *Proteção dos grampos à corrosão*

De acordo com Lima (2007), a durabilidade de estruturas em solo grampeado está diretamente ligada a ocorrência de processos corrosivos. Devendo, com isso, ser levado em consideração os danos que a corrosão pode causar nos grampos, em estruturas permanentes. O autor cita as precauções que devem ser tomadas para a segurança dos grampos aos efeitos da corrosão, sendo elas:

- ✓ Ampliação da seção transversal dos grampos;
- ✓ Aplicação de pintura anticorrosiva ou revestimentos especiais;
- ✓ Utilização de separadores/obstáculos de plásticos para proteção.

Segundo Turner (1999), conforme citado por Lima (2007), A método de proteção mais utilizado contra os processos corrosivos nos grampos é o de ampliação da seção transversal dos mesmos, porém, esse método é apropriado somente para as classes de aço utilizados em grampos sujeitos à corrosão uniforme e é inviável em casos onde o processo corrosivo ocorre de forma direcionada em apenas algumas regiões do grampo. Algumas recomendações quanto a espessuras extras nos grampos em função do tempo de vida útil da estrutura podem ser observadas na Tabela 2.

Tabela 2- Espessuras extras em função do tempo de vida útil da estrutura

Classe	Tempo de vida útil		
	≤ 18 meses	1,5 até 30 anos	30 a 100 anos
IV	0	2mm	4mm
III	0	4mm	8mm
II	2mm	8mm	Proteção plástica
I	proteção plástica obrigatória		

Fonte: Adaptado de Schlosser *et al.* (1992) apud Lima (2007, p. 76).

Outros pontos que devem ser levados em consideração quanto ao processo corrosivo nos grampos estão relacionados ao tipo de solo, teor de umidade, resistividade elétrica do solo, que está relacionado capacidade do solo em resistir a passagem de uma corrente elétrica, ou seja, quanto menor for a resistência do solo a passagem de correntes elétricas, maior será sua capacidade de conduzir eletricidade, ocasionando uma maior tendência à ocorrência da corrosão nos grampos, entre outros (SCHLOSSER *et al.*, 1992 apud LIMA, 2007, p. 76).

2.3.2.3. Injeção de Calda de Cimento

Depois que a barra de aço, grampo, é adequadamente colocado no furo, é realizado enchimento do furo com calda de cimento no sentido ascendente, através de tubulação acessória onde a ponta é posicionada no fundo da perfuração. A calda de cimento, após ser colocada no tubo recebe o nome de “bainha” (SILVA, 2009).

A tubulação acessória é de polietileno, com diâmetros que variam de 8mm a 10 mm, com válvula de injeção acoplada entre 30 a 50 cm, e até 1,5 m da boca do furo (HACHICH *et al.*, 1998).

Conforme Ortigão, Zirlis e Palmeira (1993) a injeção da calda de cimento deve ser realizada com baixas pressões, devendo ser inferiores a 100 KPa. Através da injeção de calda de cimento obtêm-se um valor de atrito lateral unitário razoavelmente elevado, chegando a valores superiores a 100KPa. De acordo com Huchich *et al.* (1998, p. 658), “a injeção além de

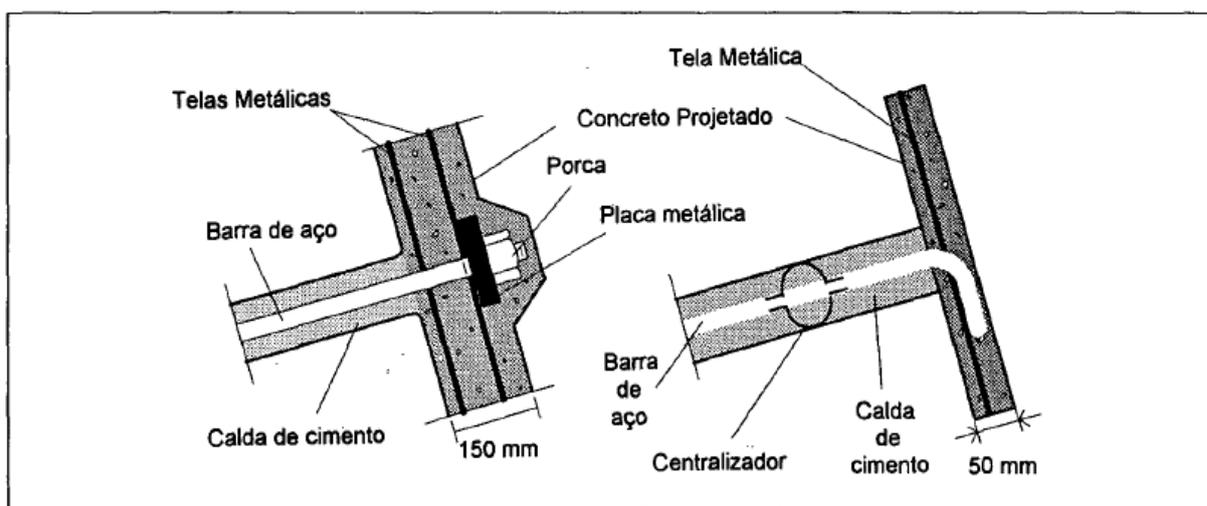
promover a melhor ancoragem do chumbador, trata o maciço, adensando-o e preenchendo fissuras”.

De acordo com Souza, Pitta e Zirlis (2005), em sua pesquisa, afirma que a principal causa de rompimento em estruturas de solo grampeado está relacionada a falhas na execução dos chumbadores, e através de ensaios realizados conclui que a injeção da calda de cimento deve ser realizada em no mínimo 3 fases: bainha, primeira fase e segunda fase.

Segundo Palmeira e Zirlis (2000, p.547), “a tendência nessa evolução da tecnica do solo grampeado é a substituição da calda de cimento por solo/cimento, cuja resistência e plasticidade se adequam perfeitamente com o conceito de solo tratado e apresenta características geomecânicas mais próximas do maciço oferecendo substantiva redução de custos”.

De acordo com a Figura 8, podemos observar os detalhes dos grampos mais utilizados no Brasil, nela são representados os grampos com diâmetros maiores que 20 mm (Figura 6-2a) e os diâmetros menores (Figura 6-2b). No primeiro método é permitida a aplicação de uma carga de incorporação de mais ou menos 5KN, isso devido a porca e a placa de apoio, o que ajuda no contato solo-concreto projetado, importante em paredes com paramento vertical. Já no segundo método é realizada uma dobra no final do grampo, para a sua adesão ao revestimento, esse método é utilizado em taludes inclinados (ORTIGÃO; ZIRLIS; PALMEIRA, 1993, p. 293).

Figura 8 – Detalhes de grampos mais comuns: (a) barra de aço com diâmetro igual ou maior que 20 mm; (b) barra de aço com diâmetro inferior a 20 mm.



Fonte: (ORTIGÃO; ZIRLIS; PALMEIRA, 1993, p. 293).

2.3.3. Revestimento em Concreto Projetado

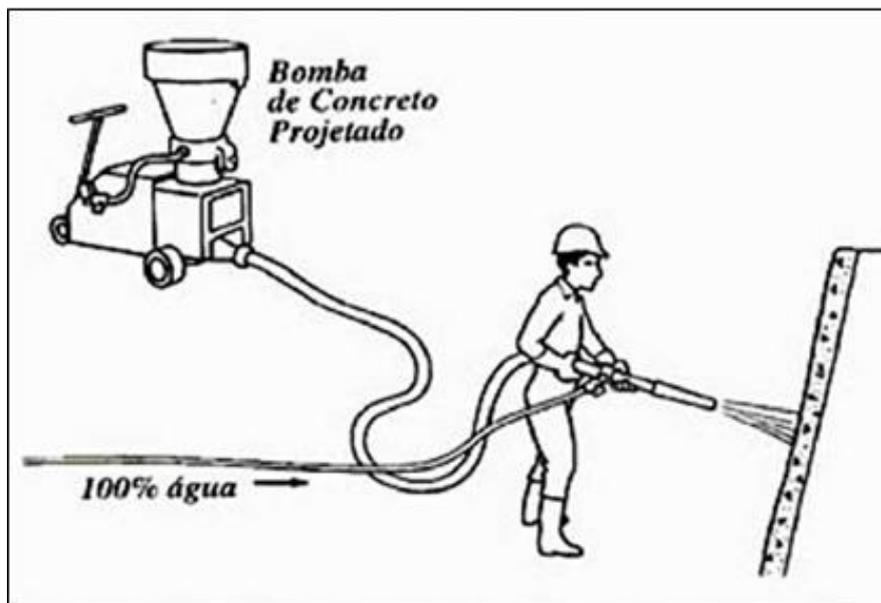
Segundo Silva (2009), a função do revestimento é a de controlar a erosão do solo junto a face, além de assegurar a não ocorrência de rupturas localizadas, apresentando com isso uma função secundária no procedimento de estabilização.

Usualmente no Brasil, para o revestimento, é utilizado o concreto projetado com tela metálica eletrossoldada, porém como alternativas temos: concreto projetado com fibras metálicas ou fibras sintéticas de polipropileno, painéis pré-fabricados, malhas de arame de aço de alta resistência além do revestimento com grama pregada que pode ser utilizada quando o talude possui inclinações menores que 45° (JIMÉNEZ, 2008).

O concreto projetado, composto por areia média, pedrisco e cimento, gera uma maior velocidade na execução do revestimento em solo grampeado, e o seu jateamento pode ser realizado por via úmida ou seca, sendo que o método mais empregado é o por via seca. A diferença entre esses procedimentos está relacionada ao preparo e condução dos materiais que constituem o concreto, onde, na via seca a água so é adicionada próximo ao bico de projeção, e na via úmida a mistura é preparada com água e depois é levada até o local de aplicação (ORTIGÃO; ZIRLIS; PALMEIRA, 1993).

As vantagens da utilização da injeção por via seca estão relacionadas a uma melhor compactação do concreto, elevando sua resistência, realização de um adensamento superficial da capa do solo, e caso a execução desse método seja interrompida não haverá perda de material e não será necessária a limpeza do equipamento (HACHICH *et al.*, 1998). Na Figura 9 é possível observar a aplicação mais usual do concreto projetado, via seca.

Figura 9 – Montagem da aplicação convencional do concreto projetado.



Fonte: (HUCHICH et al., 1998, p. 659).

De acordo com Corte (2017), para a realização da armação são utilizadas telas de aço com taxas entre 10 a 60 kg/m³, fibras de aço com taxas entre 30 a 40 kg/m³, e fibras sintéticas de polipropileno com taxa entre 5 a 8 kg/m³. O papel principal da armação é o de resistir as tensões causadas por variações térmicas. Segundo Ortigão, Zirlis e Palmeira (1993), podem ser utilizadas uma ou duas camadas de tela.

2.3.4. Drenagem

Uma etapa muito importante na técnica de grampeamento de solo é a de drenagem, tendo em vista que projetos de drenagem bem elaborados devem impedir a ocorrência de demasiadas pressões hidrostáticas no paramento, ou em componentes estruturas diferentes, preservar os elementos contra a corrosão, em situações em que estão em contato com a água, evitar que os furos dos grampos fiquem cheios de água, o que pode influenciar os deslocamentos da estrutura gerando instabilidade na fase de execução e após a construção (CORTE, 2017).

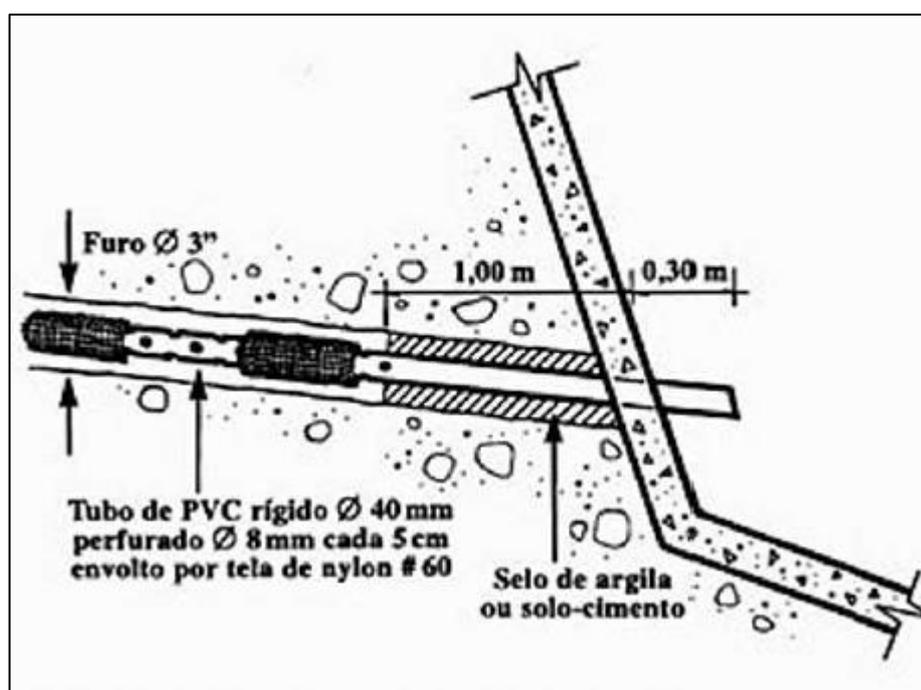
De acordo com Mello (2018), uma das principais diretrizes para a execução de contenções em solo grampeado é que a área a ser contida ou estabilizada deve estar acima do nível do lençol freático ou que o ainda deve ser realizada o rebaixamento do nível da água antecipadamente. Entretanto, o autor ressalta que, mesmos que essas providencias sejam tomadas é indispensável impedir que a percolação de água de outras origens, como a chuva ou vazamentos em tubulações, aconteça no sentido do paramento.

Segundo Hachichi *et al.* (1998), é recomendada a aplicação dos usuais serviços de drenagem profunda, onde são utilizados os drenos sub-horizontais profundos (DHP), e os superficiais, onde são utilizados os drenos tipo barbaças e as canaletas.

Os DHPs, responsáveis pela drenagem profunda, são elementos que possuem a finalidade de recolher as águas que estão afastadas do paramento, afim de evitar o seu afloramento junto ao mesmo. Após a captação e realizada a condução dessa água até a parte exterior do paramento e em seguida é despejada em canaletas. Os DHPs consistem de tubos plásticos com ranhuras, com diâmetro de aproximadamente 75 mm. Os tubos são revestidos com tela de nylon ou por geotêxtil, e possuem a função de infiltração. Os drenos devem possuir um comprimento maior que o dos grampos, o distanciamento entre os drenos depende de fatores como o nível d'água, índices pluviométricos e permeabilidade do solo (MELLO, 2018). Na Figura 10 podemos observar a representação do DHP.

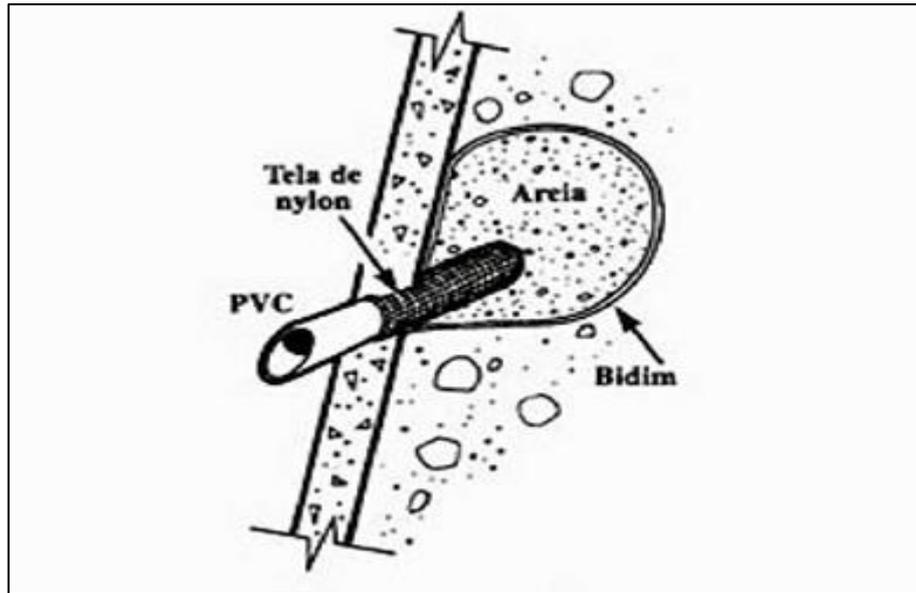
O dreno tipo barbacã é consequência da abertura de uma cavidade, com dimensões de 40x40x40 cm, que é preenchida com material drenante, geralmente areia, e tem como saída um tubo de Policloretoano de Vinila (PVC) drenante que parte do interior para a parte de fora do paramento com inclinação descendente (HACHICH *et al.*, 1998). A Figura 11 ilustra os detalhes do barbacã.

Figura 10 – Detalhe do dreno sub-horizontais profundo (DHP)



Fonte: Adaptado de Hachich (1998).

Figura 11 – Detalhe do Barbacã



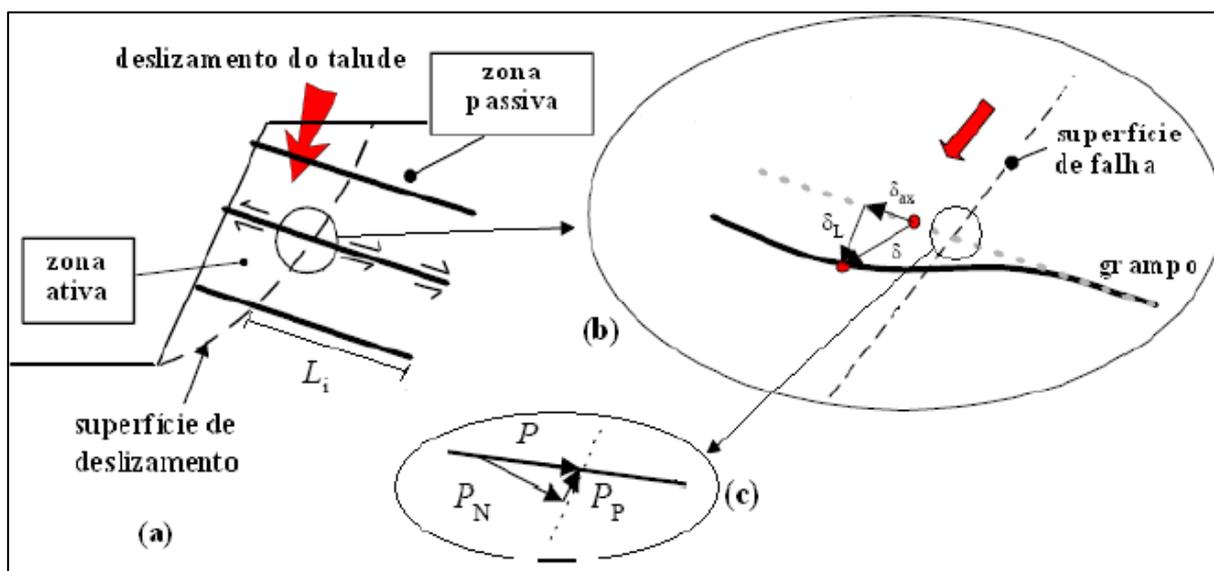
Fonte: Adaptado de Hachich (1998).

2.4. MECÂNICA DE FUNCIONAMENTO DA ESTRUTURA

De acordo com Jiménez (2008), com o desenvolvimento de modelos físicos em escala natural e a realização de simulações numéricas, foi possível determinar a presença de uma linha onde ocorrem as máximas tensões de tração nos grampos, denominada superfície potencial de ruptura, que fraciona o maciço reforçado em duas zonas, como pode ser observado na Figura 10.

A primeira zona seria a ativa, onde o reforço tende a ser arrancado em decorrência de forças de atrito, na interface solo-grampo, que estão em direção à face do talude. A segunda é a zona passiva, em que as forças de atrito se contrapõem ao movimento do reforço, uma vez que se direcionam ao interior do maciço reforçado.

Figura 12 – (a) Princípio do comportamento do solo grampeado; (b) deformações que o grampo sofre; (c) forças que agem no grampo.

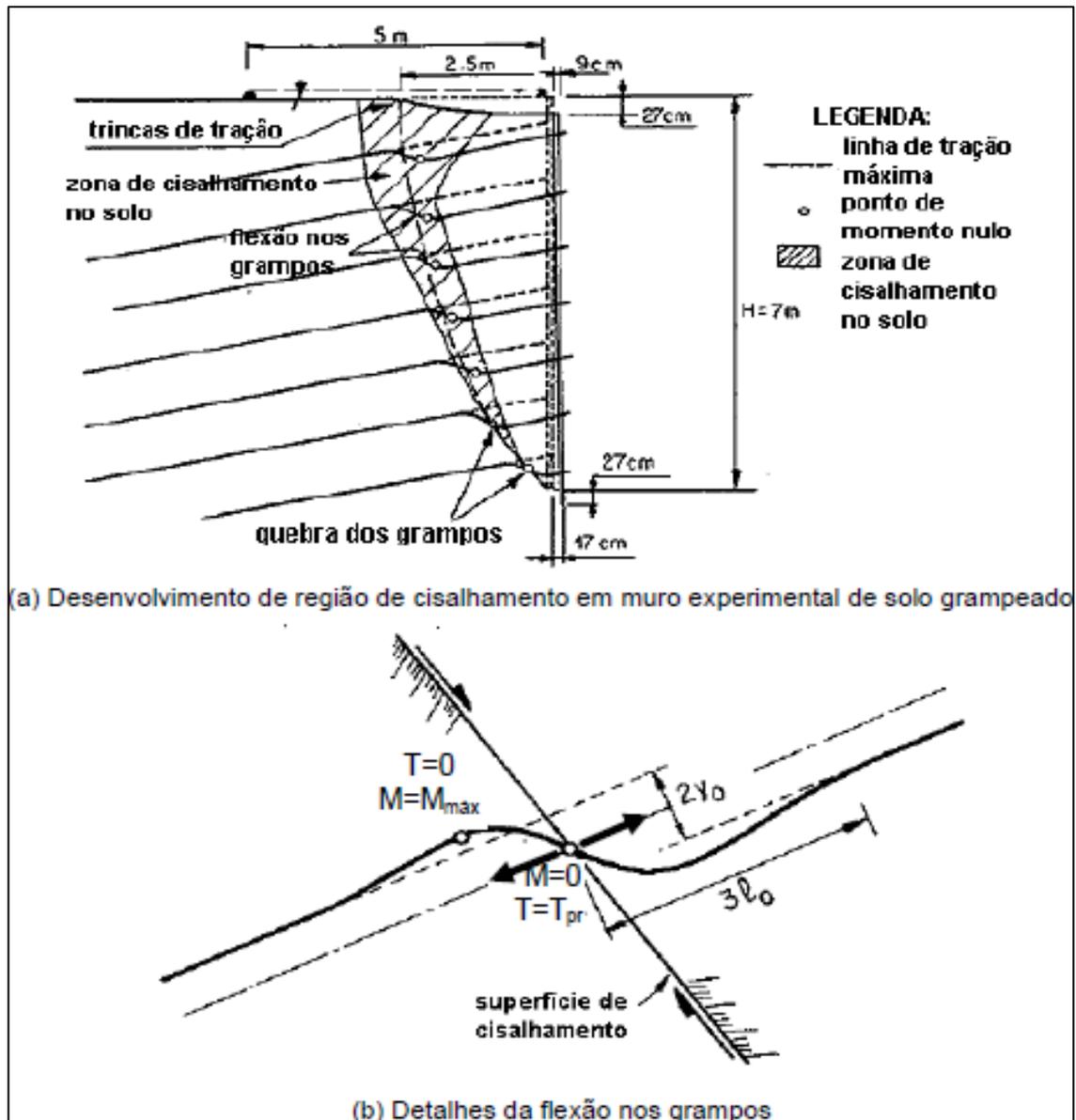


Fonte: Adaptado de Rogbeck et al. (2004) *apud* Jiménez (2008, p. 18).

A ocorrência de pequenas deformações na estrutura de solo grampeado causa o surgimento de forças de atrito entre as zonas passivas e ativas, esforços axiais nos grampos, e deslocamentos horizontais e verticais nos grampos, sendo esses deslocamentos os responsáveis por estimular a resistência à flexão e cisalhamento (JIMÉNEZ, 2008). Através da Figura 12(a) é possível observar a posição de um grampo deformado e as componentes do deslocamento, que são: axial e perpendicular à posição original do grampo. Nos grampos também são desenvolvidas forças internas que apresentam duas componentes, sendo elas: perpendicular e paralela à superfície de ruptura, observáveis na Figura 12(b).

Interações de menor importância que ocorrem nos grampos, na zona de cisalhamento originada no maciço de solo grampeado (Figura 13(a)), são as de momento fletor e de forças cisalhantes. Se os grampos sofrerem flexão (Figura 13(b)), eles serão submetidos a momentos fletores e esforços de cisalhamento na zona de cisalhamento do maciço de solo grampeado. Essas deformações que os grampos sofrem podem ser calculadas de forma similar às estacas carregadas com esforço horizontal e momento no ápice da estaca, empregando-se o coeficiente de reação do solo (LIMA, 2007).

Figura 13 – Grampos submetidos à flexão e esforços cisalhantes



Fonte: Adaptado de Clouterre (1991) *apud* Lima (2007, p. 93).

De acordo com Schlosser (1982), conforme citado por Lima (2007, p.37), quando a técnica de grampeamento de solo é utilizada para a estabilização ou para a contenção de escavações, há uma prevalência na utilização dos grampos na posição horizontal, sendo os mesmos, neste caso, submetidos principalmente a esforços de tração. Já quando usamos a técnica para a estabilização de taludes naturais, ocorre o inverso, uma vez que, os grampos podem ser utilizados perpendicularmente à superfície potencial de ruptura ou verticalmente, onde os esforços de momento fletor e cisalhamento não podem ser desconsiderados.

2.5. ENSAIOS DE ARRANCAMENTO

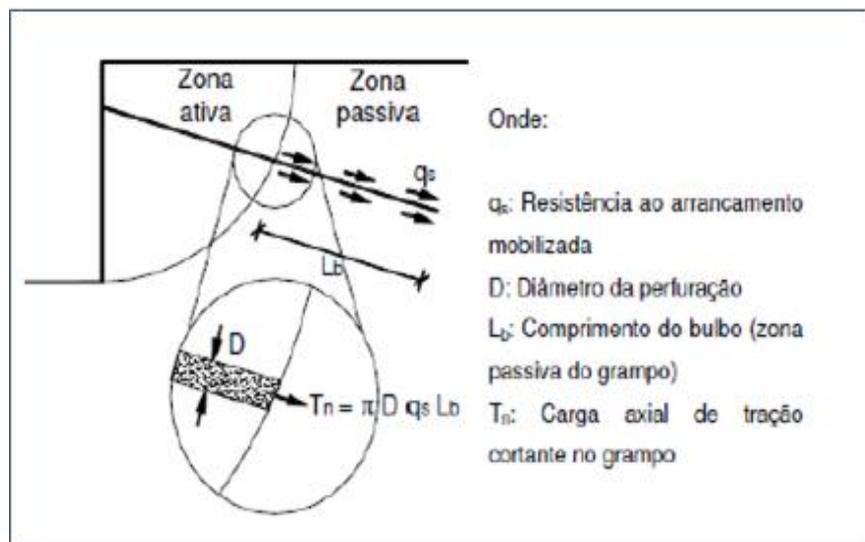
Devido inexistência de norma técnica que rege a realização de ensaios de arrancamento de grampos, nesta seção são apresentados procedimentos e recomendações de ensaios, representação de montagem dos ensaios e interpretações de arrancamento do grampo, que são apresentados pela literatura versada no tema.

Na tecnologia de solo grampeado as tensões de cisalhamento que são constituídas nos taludes são transformadas pelos grampos em tensões axiais e momentos fletores, porém a ocorrência de esforços de tração é mais observada (ABREU *et al.*, 2017). Essas tensões axiais observadas podem ser determinadas por meio de um teste chamados *pullout test*, nesse teste é acoplado um macaco hidráulico na cabeça do grampo, logo após é testada a resistência ao arrancamento do grampo e realizada a medição da deflexão causada pelo macaco hidráulico (LIMA, 2007). Os resultados obtidos através desse ensaio são muito importantes pois caracterizam a resistência da interface entre o solo e o grampo. A força de tração de ruptura (Trup), obtida através do ensaio, é de fundamental importância para a realização do dimensionamento da seção transversal do grampo que será utilizada de forma segura no solo.

2.5.1. Resistência ao arrancamento (q_s)

De acordo com Corte (2017, p. 68), “a carga axial de tração nos grampos, (T_n) é introduzida como força estabilizante e corresponde à resistência ao arrancamento mobilizada”, conforme é ilustrado na Figura 14.

Figura 14 – Tração nos grampos



Fonte: (ORTIGÃO ET AL., 1993 apud CORTE, 2017, p. 69).

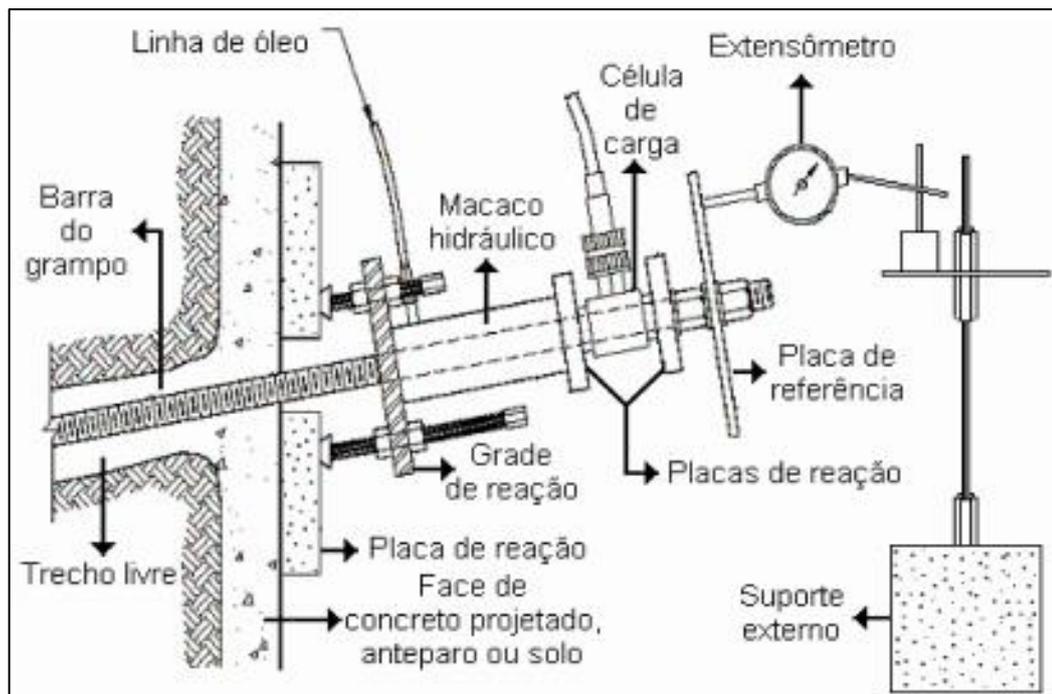
A obtenção do valor da resistência ao arrancamento (q_s) é indispensável para projetos de contenção que utilizam a técnica de grampeamento de solo. Na etapa de projeto, os projetistas utilizam um valor previsto de q_s , e na etapa de execução esse valor é averiguado por meio de ensaios de arrancamento. Alguns aspectos como, características do terreno, propriedade dos materiais utilizados, como dos grampos, método de perfuração e limpeza do furo, características da calda de cimento e a utilização de aditivos, podem causar divergência nos valores de q_s (CORTE, 2017).

Segundo as recomendações de Clouetterre (1991) conforme citado por Mello (2018), o processo de instalação dos grampos que serão utilizados nos ensaios de arrancamento devem ser o mesmo dos que serão utilizados de forma permanente na construção, no que diz respeito a inclinação, perfuração, introdução no furo e injeção.

Como já mencionado, no ensaio de arrancamento é utilizado um macaco hidráulico para a aplicação de uma carga de tração na barra de aço posta no furo e envolta por nata de cimento. Segundo Corte (2017), é acrescentada uma carga de 5 KN a cada 5 min até a ruptura do grampo. Durante a montagem do ensaio deve ser observado o alinhamento entre o eixo do grampo e o eixo do macaco hidráulico. De acordo com Mello (2018), podem ser utilizados como padrões na execução dos ensaios de arrancamento o deslocamento controlado, que seria uma velocidade constante, ou força controlada.

A traves da Figura 15, podemos observar os detalhes do esquema típico de montagem do ensaio de arrancamento. Podemos observar os seguintes componentes em sequência: 1-Placa de reação, feita de aço ou de concreto; 2-Grade de reação; 3-Macaco hidráulico; 4-Célula de carga; 5-Placa de reação; 6-Placa de referência; 7-porca; 8- Extensômetro fixado a suporte externo.

Figura 15 – Montagem do ensaio de arrancamento



Fonte: Adaptado de Springer (2006).

Segundo Springer (2006, p.90):

Os ensaios de arrancamento são realizados em grampos com um trecho inicial livre seguido de um trecho injetado. Deve-se garantir que não haja preenchimento de nata no trecho livre (caso dos tirantes, em que a barra fica protegida por um tubo plástico, graxa e envolto por nata). No caso dos grampos, deve-se utilizar um obturador de calda de cimento, para não permitir o preenchimento do furo neste trecho livre. Ao se aplicar o carregamento de tração no grampo, a face e o solo são submetidos à compressão. Caso haja preenchimento com nata, o trecho inicial do grampo estará sujeito à compressão, o que é indesejado. É, portanto, importante manter livre o trecho inicial do grampo no ensaio de arrancamento.

A realização dos ensaios de arrancamento podem ser antes da obra, ensaios preliminares, que tem por finalidade determinar a tensão máxima de arrancamento para a definição do projeto, sendo realizados antes de qualquer instalação dos grampos permanentes, o que dificilmente ocorre em obras menores. Os ensaios também podem ser realizados no início da execução da obra, denominados de ensaios de conformidade e de inspeção, que buscam averiguar se os valores de q_s , estimados na fase de planejamento, condizem com o valor real, obtido através dos ensaios. Todos os ensaios devem ser realizados a cada camada diferente de solo encontrada, ou seja, para cada tipo de solo encontrado (LIMA, 2007; SPRINGER, 2006).

De acordo com Ortigão (1997), conforme citado por Lima (2007), o comportamento do grampo quanto à resistência ao cisalhamento na interfase solo-grampo, pode ser otimizado com as seguintes precauções:

- Limpeza do furo: A realização da limpeza do furo, durante a perfuração, podendo ser realizada com ar comprimido ou com equipamentos rotativos, empregando água ou outro fluido na lavagem;
- Materiais e fator água-cimento: utilizando ingredientes de calda de cimento satisfatórios, com o fator água-cimento adequado;
- Aditivos: um dos principais aditivos é o expensor de calda de cimento, que impede a retração e, à vista disso, a redução do atrito. O acelerador de pega é outro aditivo que tem sua importância, possibilitando a mobilização do reforço em um menor espaço de tempo;
- Tubo lateral de injeção: emprego de uma tubulação plástica lateral de injeção dever ser um padrão indispensável, principalmente em grampos grandes com comprimentos maiores que 3m, pois é fundamental assegurar que a calda preencha o furo por completo;
- Espaçadores e centralizadores: Esses dispositivos tem a função de garantir a centralização da barra no furo, eles são dispositivos e podem ser fabricados na própria obra.

Clouterre (1991) conforme citado por Mello (2018, p. 42), recomenda um número mínimo de grampos para a realização dos ensaios de arrancamento conforme a área em que será executada a técnica de grampeamento de solo, essas recomendações podem ser observadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Número de ensaios de arrancamento em função da área

Ensaio de Arrancamento			
Área de face (m ²)	Preliminares e de conformidade	Área de face (m ²)	De inspeção
Até 800	6	Até 1000	5 (para cada camada de solo) e 1 (para cada fase de escavação)
800 a 2000	9		
2000 a 4000	12	Maior que 1000	Aumenta-se em 1 para cada 200 m ²
4000 a 8000	15		
8000 a 16000	18		
16000 a 40000	25		

Fonte: Adaptado de Clouterre (1991) apud Mello (2018, p. 42).

De acordo com a Geo Rio (1999) conforme citado por Corte (2017, p. 69), o valor da carga de ruptura do grampo por atrito com o solo definido como T_{rup} e a resistência ao arrancamento (q_s) são obtidos através da equação 1:

$$q_s = \frac{T_{rup}}{\pi \cdot d \cdot L_b} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

d= diâmetro de perfuração;

L_b = comprimento do bulbo ancorado

T_{rup} = força de ruptura

Lazare et al. (2003) conforme citado por Corte (2017), apresenta estimativas de valores de resistência ao arrancamento relacionados ao tipo de solo e ao método construtivo, esses dados são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Estimativa da resistência ao arrancamento

Método Construtivo	Tipo de solo/rocha	q_s (kPa)
Perfuração rotativa	areia/pedregulho	100-180
	silte arenoso	100-150
	silte	60-75
	solo residual	40-120
	colúvio (finos)	75-150
grampos cravados	areia/pedregulho (pequeno cobrimento)	190-240
	areia/pedregulho (elevado cobrimento)	280-430
	colúvio	100-180
perfuração a trado	silte arenoso (aterro)	20-40
	silte arenoso	55-90
	silte argilo-arenoso	60-140
"jet grouting"	areia	380
	areia/pedregulho	700
Perfuração rotativa	silte argiloso	35-50
grampos cravados	areia siltosa	90-140
perfuração a trado	"loess"	25-75
	argila mole	20-30
	argila rija	40-60
	silte argiloso rijo	40-100
	areia argilosa (calcárea)	90-140

Fonte: Adaptado de Lazart *et al.* (1991) apud Corte (2017, p. 72).

Diversos autores obtiveram o valor de q_s através de correlações empíricas do próprio q_s em função do número de golpes obtidos pelo ensaio SPT (*Standart Penetration Test*), N_{SPT} . Na Tabela 5 é possível observar essas correlações realizadas por autores consagrados na literatura.

Tabela 5 – Equações propostas por diversos autores para a correlação entre (q_s) e (N_{spt})

Autor	Equação	Regressão
Ortigão (1997)	$q_s = 50 + 7,5 \cdot N_{SPT}$	Linear
Ortigão e Palmeira (1997)	$q_s = 67 + 60 \ln(N_{SPT})$	Exponencial
Springer (2006)	$q_s = 45,12 \ln(N_{SPT}) - 14,99$	Exponencial
Silva (2018)	$q_s = 65,80 + 1,68N_{SPT}$	Linear

Fonte: Adaptado de Silva R. (2018).

De acordo com Mello (2018) a execução de ensaios de arrancamento *in situ* possibilita um conhecimento adequado do parâmetro q_s , o que assegura a execução de projetos executivos menos onerosos e exequíveis. A força máxima de tração admitida por um grampo é obtida através da equação 2.

$$T_{rup} = \pi \cdot d \cdot L_b \cdot q_s \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

T_{rup} = força de ruptura;

d = diâmetro de perfuração;

L_b = comprimento do bulbo ancorado;

q_s = resistência ao arrancamento.

2.6. DESLOCAMENTOS NA ESTRUTURA

Os deslocamentos são inerentes a estruturas de solo grampeado, uma vez que essa é uma técnica de estabilização passiva. Esses deslocamentos são oriundos de deformações no maciço de solo grampeado, e podem ocorrer durante ou imediatamente em seguida a conclusão do empreendimento. Entretanto, quando as deformações ocorrem após a execução da obra, que podem acontecer relacionadas a diminuição das tensões e movimento de “*creep*”, podem vir a ocasionar um acréscimo nas forças axiais nos grampos (LIMA, 2007; JIMÉNEZ, 2008).

Na crista do talude é o local onde são observados os deslocamentos horizontais máximos, e diminuem gradativamente de cima para baixo, ou seja, da crista à base do talude. No pico da estrutura, na face da escavação, também ocorrem deslocamento verticais, recalques, que normalmente são pequenos e da mesma amplitude dos deslocamentos horizontais na parte mais alta da estrutura (LIMA, 2007).

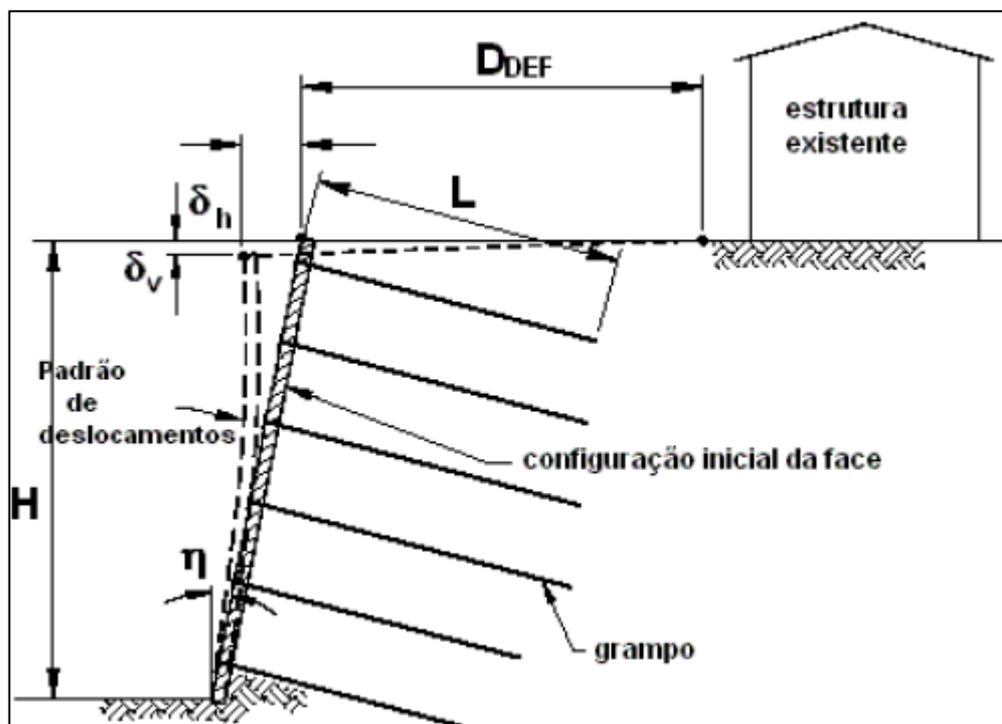
Segundo Lima (2007) a ordem e amplitude das deformações que surgem em estruturas de solo grampeado podem ser definidos a partir dos resultados de experimentos que foram executados na França, no projeto Clouterre (1991). Conforme ilustra a Figura 14, dois critérios podem ser determinados:

- ✓ δ_v = deslocamento horizontal máximo na crista da estrutura junta à face;
- ✓ δ_h = deslocamento vertical máximo na crista da estrutura junta à face.

Na Figura 16, também são indicadas recomendações para a análise de um limite de influencia (D_{EF}) alterado pela realização de estrutura em solo grampeado. Por meio deste parâmetro é possível verificar a distância admissível que a estrutura deve estar de edificações presentes, evitando que essas edificações acabem sofrendo recalques diferenciais.

No afastamento D_{EF} , na parte mais alta da estrutura, os deslocamentos verticais e horizontais serão nulos. O D_{EF} depende do tipo de solo, caracterizado pelo coeficiente empírico (κ), da inclinação da parede (η) e da altura total da estrutura (H) (LIMA, 2007).

Figura 16 – Esquema das deformações em taludes grampeados



Fonte: Adaptado de Byrne *et al.* (1998) apud Lima (2007, p. 104).

No projeto Clouterre (1991), conforme citado por Jiménez (2008), são apresentadas correlações empíricas para a obtenção do D_{EF} , apresentada na equação 3, e valores de κ e dos deslocamentos em função do tipo de solo, conforme apresentados na Tabela 6.

$$D_{EF} = H(1 - \tan\eta)\kappa \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

D_{EF} = limite de influência;

H = altura total da estrutura;

η = inclinação da parede;

κ = coeficiente empírico

Tabela 6 – Estimação empírica dos deslocamentos

	Solos Intermediários	Areias	Argilas
$\delta_h = \delta_v$	H / 1000	2H / 1000	4H / 1000
κ	0,8	1,25	1,5

Fonte: Adaptado de Clouterre (1991) *apud* Jiménez (2008, p. 20).

Springer (2006), expõe valores típicos de máximos de deslocamentos horizontais para variadas obras de contenção em solo grampeado catalogadas na literatura, estes valores são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Deslocamentos horizontais em muros de solo grampeado.

Solo	Tipo de Grampo	Deslocamentos horizontais	Referências
Areia média	Cravado	3H / 1000	Gassler e Gudehus (1981)
Areia siltosa	Injetado	H / 1000	Shen e outros (1981)
Areia fina a areia Argilosa	Cravado	H / 1000	Cartier e Gigan (1983)
Folhelho alterado e arenitos	Injetado	0,5H / 1000	Juran e Elias (1987)
Areia siltosa	Injetado	0,5H / 1000	Juran e Elias (1990)
Rochas Brandas	*	H / 1000	Schlosser e Unterreniner (1990)
Solo Arenoso	*	2H / 1000	
Solo Argiloso	*	4H / 1000	
Nota: * Não informado			

Fonte: Adaptado de Springer (2006).

2.7. VANTAGENS E DESVANTAGENS DA TÉCNICA

2.7.1. Vantagens

A utilização da técnica de grampeamento de solo, para a estabilização de taludes, apresenta algumas vantagens em relação a técnicas similares de reforço que normalmente são empregadas, entre as quais pode-se citar:

- **Baixo Custo:** Segundo os autores Mithell e Villet (1987) e Silva (2009), são utilizados apenas os chumbadores para a estabilização do maciço de solo, e a proteção da fase do talude é realizada com concreto projetado, apresentando um custo relativamente baixo quando comparado a outras soluções. Em comparação ao sistema de contenção utilizando tirantes a economia é de 10 a 50% (HACHICH *et al.*, 1998);
- **Equipamentos Leves:** De acordo com Silva (2009) e Hichich *et al.* (2009), os equipamentos utilizados, nas diferentes etapas de execução da técnica, são leves, de fácil manuseio e pequeno porte, o que possibilita sua utilização em menores áreas;
- **Velocidade e execução:** Se utilizados equipamentos adequados, como perfuratrizes rotoperçussoras, a execução dos grampos será rápida. A execução do revestimento também se dá de forma veloz, devido à utilização de concreto projetado, sendo necessária pouca mão-de-obra (MITHELL; VILLET, 1987, ORTIGÃO; ZIRLIS; PALMEIRA, 1993). Os trabalhos podem ser realizados de forma contínua, não sendo necessário interrupções seja para aguardar a cura do concreto, protensão de ancoragens atirantadas e ensaios (HACHICH *et al.*, 1998);
- **Adequação a geometrias variáveis:** As paredes de solo grampeado podem acompanhar a inclinação natural do talude, o que possibilita uma menor movimentação de terra, uma vez que, as paredes das cortinas tradicionais, são moldadas *in loco* e executadas verticalmente, para evitar problemas na concretagem (ORTIGÃO; ZIRLIS; PALMEIRA, 1993);
- **Adaptabilidade a solos heterogêneos:** Por mais que a técnica de solo grampeado seja utilizada predominantemente em solos homogêneos, ela também pode

ser utilizada em solo heterogêneos, devendo ater-se as variações de resistência do solo o que altera a densidade, espaçamento, orientação e comprimento dos grampos (LIMA, 2007)

- Deformabilidade: De acordo com Silva (2009, p.33), “por ser uma estrutura deformável, na sua essência de funcionamento, suporta com segurança, a ocorrência de recalques totais ou diferenciais;
- Propicia adequações do projeto: Conforme as escavações avançam tornando possível o conhecimento do solo exibido, a metodologia de solo grampeado viabiliza a execução de ajustes no projeto (LIMA, 2007).

2.7.2. Desvantagem

Conforme Ortigão, Zirlis e Palmeira (1993), a principal desvantagem da técnica de grampeamento de solo está relacionada a flexibilidade da estrutura o que permite um certo deslocamento da mesma. Segundo Teixeira (2011), os deslocamentos nas contenções em solo grampeado podem varia de 0,30%H a 0,50%H, sendo H a altura de escavação. Portanto, são necessários grandes cuidados quando essa tecnica for realizada próxima a estruturas sensíveis a deslocamentos de terra.

2.8. LIMITAÇÕES PARA O USO DO GRAMPEAMENTO DE SOLO

Segundo Hachich *et al.* (1998), a técnica de grampeamento de solo não é adequada em casos de estabilização de escavações em argila mole, pois seria preciso uma elevada quantidade de chumbadores de grandes comprimentos, o que inviabilizaria sua utilização.

Em solos permeáveis, quando o nível do lençol freático é muito elevado, não é aconselhável a utilização dessa tecnica, uma vez que poderão ocorrer constantes instabilizações localizadas, o que dificultaria a execução do revestimento projetado assim como a redução da vida útil dos grampos (HACHICH *et al.*, 1998; LIMA, 2007).

De acordo com Lazarte *et al.* (2015), não recomenda a execução da estrutura na vertical, devendo apresentar uma certa inclinação, pois a execução da técnica se torna mais difícil e custosa, além disso o autor afirma que em solos expansivos, orgânicos, não coesivos com graduação ruim e solos que apresentam elevada quantidade de pedras e pedregulhos inviabilizam a utilização da técnica.

Segundo Lima (2007), se torna difícil a utilização em solos com grande percentual de argila, pois caso o teor de umidade nesse solo se eleve após a construção de estrutura ocasionaria uma redução na resistência do solo e, à vista disto, uma considerável redução da resistência ao cisalhamento da interface solo-grampo. Além disso, em solos argilosos, com pouca consistência, que apresentam um N_{spt} inferior a 10 golpes, não é possível comprovar a eficiência do solo grampeado, isso devido a difícil tarefa de se manter a face da escavação estabilizada antes da aplicação do revestimento em concreto projetado.

3. DISCUSSÃO

O objetivo desse estudo foi realizar uma revisão bibliográfica para avaliar o emprego da tecnologia de grampeamento de solo para a estabilização de taludes naturais. Neste trabalho não foram estudados aspectos relacionados à análise de estabilidade de taludes e nem sobre os métodos de cálculo de solo grampeado encontrados na literatura, em bora tenha sido demonstrado a obtenção da resistência ao arrancamento (q_s) através da equação 1, que é fundamental para a realização do pré-dimensionamento dos grampos, que está associado aos valores da tensão de ruptura (T_{rup}) obtidos em ensaios de arrancamento dos grampos e em correlações empíricas com N_{spt} .

Constata-se que o objetivo geral foi atendido, porque efetivamente o trabalho conseguiu verificar que a técnica de grampeamento de solo pode ser utilizada de forma eficaz para a estabilização de encostas, desde que sejam observadas as limitações da aplicabilidade da técnica.

O objetivo específico inicial era descrever as fases executivas da técnica, tendo sido cumprido, onde foram apresentadas quais são as fases executivas da técnica, suas particularidades, precauções e equipamento utilizados.

O segundo objetivo específico foi apresentar a mecânica de funcionamento da técnica aplicada à taludes naturais, sendo o mesmo alcançado, sendo demonstrado os princípios de funcionamento da técnica, onde foi possível observar as semelhanças e diferenças de quando a técnica é utilizada para a estabilização de escavações e quando é empregada para a estabilização de taludes naturais.

O terceiro objetivo foi investigar as vantagens e desvantagens do uso da técnica na estabilização de taludes naturais, o objetivo foi atingido, tendo sido especificadas as vantagens e as desvantagens de utilizar a técnica.

O último objetivo específico foi caracterizar as limitações para a utilização da técnica, o mesmo foi alcançado, onde foram apresentadas as principais limitações para a utilização da técnica encontradas na literatura.

Apesar da ampla utilização da tecnologia de grampeamento de solo para a estabilização de taludes e o estímulo dos profissionais da área para a sua utilização, no Brasil ainda não possuímos normas que regulamentam o seu dimensionamento, execução e monitoramento desse tipo de estrutura. Entretanto, especialistas no tema, tanto nacionais com internacionais, expõem estudos publicados que possuem recomendações a respeito da técnica de

grampeamento de solo, baseados em ensaios realizados e obras bem-sucedidas, que são utilizados como parâmetros de projeto.

Vale ressaltar que não há muitas alterações da utilização da técnica em suas diversas aplicações, entretanto, quando a mesma é utilizada para a estabilização de talude naturais, não se faz necessária a execução de escavações, uma vez que nesse caso, a execução da técnica pode ser realizada de forma a acompanhar o relevo natural da encosta.

Pode ser observado também que, quando a técnica for utilizada para a estabilização de taludes naturais deve-se levar em consideração a ocorrência de momentos fletores e de cisalhamento nas barras, para o dimensionamento das mesmas. Diferentemente do que ocorre quando a técnica é utilizada para a contenção de escavações, onde o principal esforço atuante nas barras é o de tração, sendo os demais esforços podendo ser desprezados para efeito de cálculos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos estudos consultados com objetivo de avaliar a utilização da tecnologia de grampeamento de solo para a estabilização de taludes naturais, foi possível observar que a técnica apresenta muitas vantagens que propiciam sua utilização, sendo elas relacionadas ao baixo custo, velocidade de execução devido aos equipamentos serem leves, adaptabilidade a diversas geometrias de taludes e facilidade de adequações, na fase de execução, quando surgem mudanças no projeto.

Entretendo a técnica também apresenta algumas limitações que inviabilizam sua aplicação sendo as principais relacionadas a sua utilização em alguns tipos de solo e a presença de nível elevado de lençol freático. Outro cuidado que deve ser observado são os deslocamentos que ocorrem na estrutura, uma vez que estes deslocamentos podem gerar danos a estruturas sensíveis, devido a recalques diferenciais, localizadas próximo ao local que foi empregada a técnica.

Deve-se também observar a presença de esforços de momento fletor e cisalhamento nos grampos, para a realização do dimensionamento da estrutura, quando a metodologia for aplicada na estabilização de taludes naturais.

A execução de estudos que possibilitem um maior conhecimento do solo onde será executado o método são fundamentais para a realização de projetos eficientes e seguros, evitando-se com isto, surpresas desagradáveis durante a execução da técnica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11682: Estabilidade de taludes**. Rio de Janeiro. 2009.

ABREU, R. V. S. *et al.* **O uso de solos grampeados para a estabilização de taludes**. III Seminário científico da FACIG. Faculdade de Igarassu, Igarassu, 8 p. 2017. Disponível em: <http://pensaracademico.facig.edu.br/index.php/semiariocientifico/article/view/495/420>. Acesso em: 01 out. 2020.

BARROS, P. L. A. **Obras de contenção**: manual técnico. Jundiaí, SP: Maccaferri, 2006.

CAMPOS, T. D. G. **Análise do fator de segurança de um muro de solo grampeado**. 2015. Projeto de Graduação (Bacharel em Engenharia Civil) – Escola Politécnica Universidade Federal do Rio de Janeiro, Feira de Santana, 2015.

CORTE, F. H. **Análise de contenção em solo grampeado na cidade de São Bernardo do Campo/SP**. 2017. Dissertação (Mestre na área de concentração em Estruturas e Geotécnica) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2017.

GERSCOVICH, D. M. S. **Estabilidade de Taludes**: com exercícios resolvidos, 2. Ed. São Paulo, Oficina de Texto, p. 11, 2016

HACHICH, W. *et al.* **Fundações**: Teoria e Prática. 2. Ed. São Paulo: Editora Pini, 1998. p. 641-668.

JIMÉNEZ, A. G. N. **Análises tensão-deformação de estruturas de solo Grampeado**. 2008. Dissertação (Doutorado) – Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2008.

LAZARTE, C. A. *et al.* **Soil Nail Walls Reference Manual**. U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration, Washington, 2015.

LIMA, A. P. **Comportamento de uma escavação grampeada em solo residual de gnaise**. 2017. Tese (Doutorado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

MARANGON, M. **Notas de aula: Tópicos em Geotecnia e Obras de Terra**. Unidade 4. Universidade Federal de Juiz de Fora. Minas Gerais 2009. Disponível em: http://www.ufjf.br/nugeo/files/2009/11/togot_unid03-GeoContencoes-Parte01-2006-2.pdf. Acesso em: 28 set. 2020.

MELO, P. F. **Influência da face na estabilidade de taludes em solo grampeado**. 2018. Dissertação (Mestrado) – Centro de Tecnologia e Ciências, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

MIKOS, A. P. *et al.* **MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DECORRENTES EM SOLO GRAMPEADO E CORTINA ATIRANTADA.** 2º Simpósio Paranaense de Patologia das Construções (SPPC), artigo 2SSPPC2007, p. 537-546, 2017. Disponível em: <http://creaprw16.crea-pr.org.br/revista/sistema/index.php/revista/article/view/309>. Acesso em: 25 set. 2020.

MITCHELL, J. K. & VILLET, W. C. B. **Reinforcement of Earth Slopes and Embankments**, NCHRP Report 290, USA Transportation Research Board, National Research Council, Washington D. C, 1987.

ORTIGÃO, J. A. R.; ZIRLIS, A. C.; PALMEIRA, E. M. **Experiência com solo grampeado no Brasil: 1970-1993.** Solos e rocha, São Paulo, v.16, n.4, p. 291-304, 1993.

PIRES, V. **Governo do Estado alerta motoristas sobre cuidados ao trafegar na Serra do Rio do Rastro.** São Joaquim online. 18/11/2020. Disponível em: <https://saojoaquimonline.com.br/serra-do-rio-do-rastro/2020/11/18/governo-do-estado-alerta-motoristas-sobre-cuidados-ao-trafegar-na-serra-do-rio-do-rastro/>. Acesso em: 22 dez. 2020.

PITTA, G. C. A.; ZIRLIS, A. C. Chumbadores injetados: a qualidade do solo grampeado. **IV SEFE- Seminário de Fundações Especiais e Geotecnia**, v.2, p.541-547, 2000. Disponível em: http://www.solotrat.com.br/dados/2000iv_sefe_chumbadores_injetados_a_qualidade_do_solo_grampeado.pdf. Acesso em: 30 out. 2020.

SILVA, D. P. **Análise de diferentes metodologias executivas de Solo Pregado a partir de ensaios de arrancamento realizados em campo e laboratório.** 2009. Tese (Doutor em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

SILVA, R. C. S. Determinação da adesão em solo grampeado a partir de correlações com ensaios SPT. **Revista Tecnologia**, Fortaleza, v. 18, n. 2, p. 1-12, 2018. Disponível em: <https://periodicos.unifor.br/tec/article/view/8473>. Acesso em: 29 out. 2020.

SOLOTRAT. **Manual de Serviços Geotécnicos Solotrat.** 6. Ed. São Paulo. p. 5-21, 2018. Disponível em: <http://www.solotrat.com.br/assets/pdf/manual-completo-2.pdf>. Acesso em: 13 out. 2020.

SPRINGER, F. O. **Ensaio de arrancamento de grampos em solo residual de gnaiss.** 2006. Tese (Doutorado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

TEIXEIRA, I. J. R. **Estudo comparativo de duas alternativas para contenção de taludes verticais: solo grampeado e cortina atirantada.** 2011. Monografia (Bacharel em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2011.

TOMINAGA, L. K. **Avaliação de Metodologias de Análise de Risco a Escorregamentos: Aplicação de um Ensaio em Ubatuba, SP.** Tese de Doutorado. Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, São Paulo, p.40-69, 2007.

TOMINAGA, L. k.; SANTORO, J.; AMARAL, R. **Desastres Naturais: Conhecer para prevenir.** 1ª edição. Instituto Geológico, São Paulo, p.14-38, 2009.

SOUZA, G. J. T.; PITTA, C. A.; ZIRLIS, A, C. **Solo grampeado**: aspectos executivos do chumbador. IV COBRAE-Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas, 10 p. 2005. Disponível em:http://www.solotrat.com.br/dados/2005-iv_cobrae_solo_grampeado_aspectos_executivos_do_chumbador_1455884064.pdf. Acesso em: 20 out. 2020.