

02-setembro-2013

VI COBRAE DE 4 A 6 DE OUTUBRO DE 2013 – ANGRA
DOS REIS

Alguns Detalhes da Prática de Execução do Solo Grampeado

Pitta, Cairbar Azzi

Solotrat Engenharia, São Paulo, Brasil, azzi@solotrat.com.br

Souza, George Joaquim Teles de

Solotrat Engenharia, São Paulo, Brasil, georgeteles@solotrat.com.br

Zirlis, Alberto Casati

Solotrat Engenharia, São Paulo, Brasil, zirlis@solotrat.com.br

RESUMO

Ao longo dos últimos 10 anos o Solo Grampeado tem sido uma das técnicas de arrimo mais projetadas e executadas no Brasil. Devido a sua juventude, seus detalhes executivos ainda não estão consolidados e padronizados. Apresentaremos aqui alguns pontos que consideramos de relevante importância para que esta técnica atinja seu objetivo com segurança. Trata-se da nossa vivência nos últimos 30 anos no Brasil.

1. SUMÁRIO

2. CONCEITO SOLO GRAMPEADO

3. BREVE HISTÓRICO

3.1. França

3.2. Alemanha

3.3. EUA

3.4. Brasil

4. EXECUÇÃO DO CHUMBADOR

4.1. Montagem em bancada

4.2. No solo

5. ENSAIOS DE TRAÇÃO NO CHUMBADOR

6. DRENAGEM

6.1. Definição

6.2. Dreno profundo

6.3. Dreno de paramento

6.4. Dreno de superfície

6.5. Dicas para drenagem

7. CONCRETO PROJETADO

7.1. Definição

7.2. Concreto para o Concreto projetado

7.3. Equipe de aplicação do concreto projetado

7.4. Armação do concreto projetado

7.5. Juntas do concreto projetado

8. A IMPORTÂNCIA DO CHUMBADOR VERTICAL

9. MEDIDAS DE DEFORMAÇÕES DO SOLO GRAMPEADO

10. ALGUNS CASOS DE OBRA

11. ALGUNS TRABALHOS CIENTÍFICOS IMPORTANTES

12. CONCLUSÕES

13. BIBLIOGRAFIA

2. CONCEITO – SOLO GRAMPEADO

O Solo Grampeado é uma técnica de arrimo resultante da melhoria do solo da porção arrimada.

Aplica-se a taludes em corte, ou já cortados a reforçar. Segue a sequência executiva básica conforme ilustrado na *figura1*: escavação do terreno, a execução do chumbador e execução do concreto projetado.



Figura1 – Sequência de execução

Esta melhoria compreende a execução do chumbador e do concreto projetado. O chumbador estabiliza o maciço e o concreto projetado combate a instabilidade local da face.

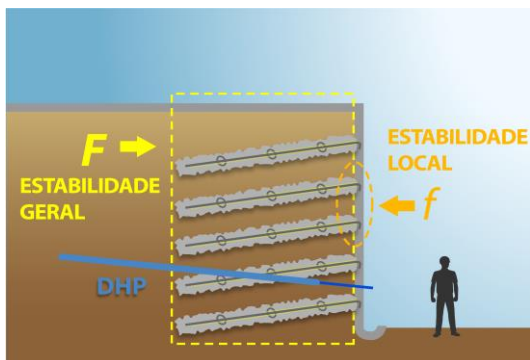


Figura 2 – Verificação de Estabilidade

Podemos ilustrar este conceito com a *figura3* onde os chumbadores poderiam ter qualquer direção.

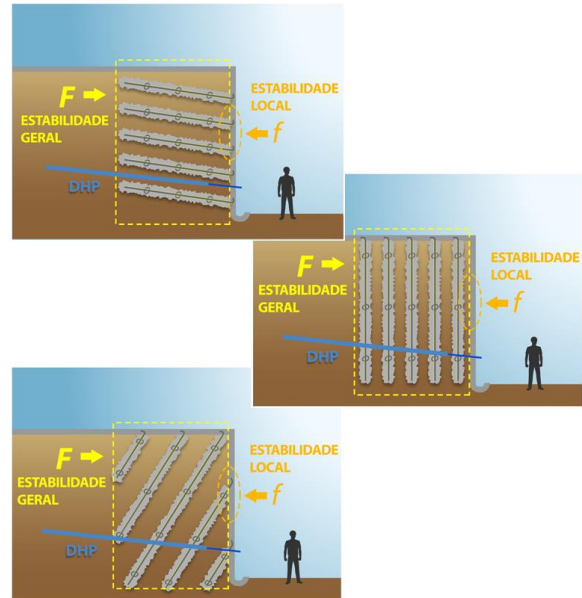


Figura 3 – Tratamento do Solo a arrimar

3. BREVE HISTÓRICO

O Solo Grampeado teve seu desenvolvimento entre a década de 70 e 80 na Europa e Estados Unidos. No Brasil iniciou na década de 90 com grande impulso na década passada.

3.1. França

3.1.1 Ano de 1972

O engenheiro francês Schlosser declarou, em fevereiro de 1992, durante a conferência da ASCE sobre “Grouting, Soil Improvement”, em New Orleans-Louisiana que a execução da primeira obra em Solo Grampeado foi na França em 1972. As empresas Bouygues e Soletanche a executaram visando estabilizar um talude ferroviário, em Versailles.

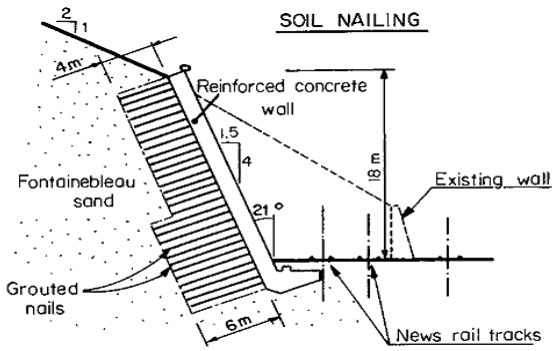


Figura 4 – Primeira obra de Solo Grampeado

A França foi o primeiro país a investir no Solo Grampeado em caráter nacional. Criou em 1987 o “Projet National Clouterre”. O “Clouterre” objetivou estudar todos os detalhes do Solo Grampeado. Abrangeu todos os possíveis interessados da sociedade. Uniram-se as empresas de construção, os órgãos do governo, os laboratórios, as universidades e os executores. Ao final de 1991 editou seu manual, que foi atualizado em 2002.



Figura 5 – Projeto Clouterre

3.2. Alemanha

3.2.1 Anos de 1975, 1981

Em 1975 conduzido por Stocker, Gudehus e Gassler foi realizado um programa de 4 anos para estudar 8 modelos em escala real de Solo Grampeado. Em 1981, foram publicadas análises de desempenho de talude em Solo Grampeado artificialmente levado à ruptura. Os valores de deformação obtidos foram da ordem de 18 mm, ou seja, cerca de 0,30% da altura de 6,0m.



Figura 6 – Experiência alemã – modelos em escala real

3.2.2. Ano de 1986

Em 1986, a Empreiteira Bauer divulga o Solo Grampeado em seu catálogo de serviços.

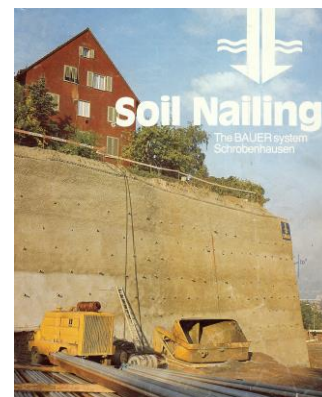


Figura 7 – Catálogo de Bauer – Solo Grampeado

3.3. EUA

3.3.1. Ano de 1981

Em 1976 foi realizada a contenção das paredes do subsolo do “Good Samaritan Hospital”, em Portland-Oregon, pela Kulchin e Consorciados. Era um talude em solo sedimentar com alturas entre 10,7 e 13,7 metros, a prumo. Conteve uma área de 2.140 m². As deformações da crista foram da ordem de 33 mm ou seja cerca de 0,30% da altura. No campus de Davis na universidade da Califórnia em 1979, Shen C.K. et al realizaram estudos em protótipo de campo com altura de 9,15 m. Foram obtidas deformações da crista da ordem de 15 mm, entre 0,14 e 0,17% da altura. Estes dados foram publicados em 1981, na ASCE.

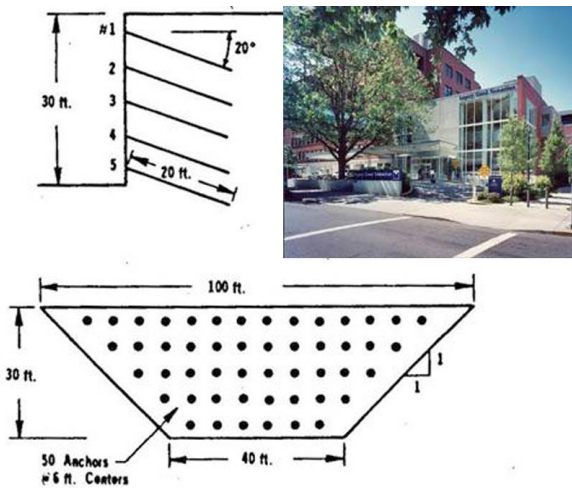


Figura 8 – Good Samaritan Hospital / Campus de Davis Universidade da Califórnia

3.4. Brasil

3.4.1. Ano de 1972

Em 1972 na rodovia dos Imigrantes reticulados de chumbadores chamados “palli radice”, foram executados pelas empresas Rodio, Brasfond, Soletanche nos emboques e desemboques de seus túneis.

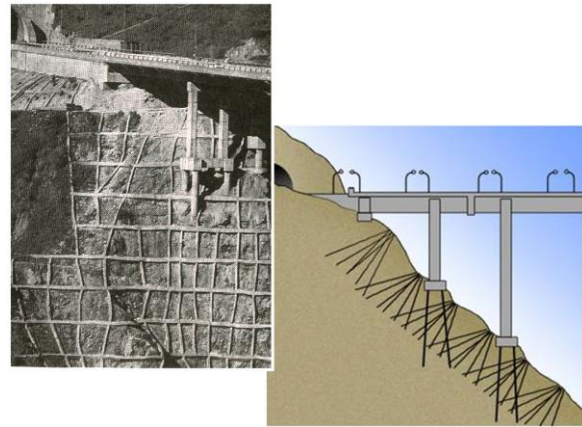


Figura 9 – Rodovia dos Imigrantes, SP

3.4.2. Ano de 1984

Para implantação de vários edifícios defronte e ao nível do mar, na Praia de Icaraí, em Niterói (RJ) foi realizado um corte em talude com 35,0 m de altura. A parte superior de 17,1 m foi estabilizada com Solo Grampeado e a inferior com 17,9 m em cortina atirantada. O projeto foi realizado e executado pela Este Engenharia para as empresas: Soter, Soumayer, Placon e Tamoio, em 1984.

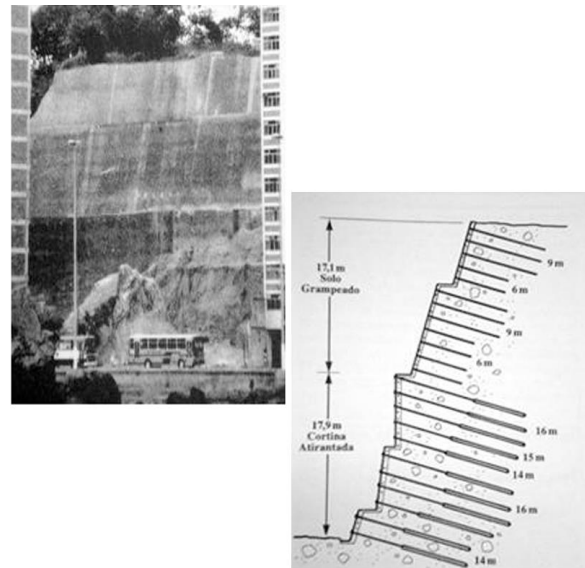


Figura 10 – Foto durante a execução e projeto

3.4.3. Ano de 1998

Em 1998 foi publicado o livro Fundações Teoria e Prática da Editora Pini, neste livro escrevemos o capítulo 18, Reforço do Terreno, sobre Solo Grampeado, p.641.

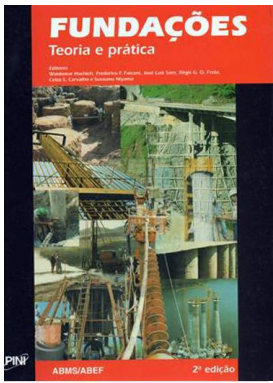


Figura 11 – Livro “Fundações Teoria e Prática”

A ABEF, “Associação Brasileira de Empresas de Engenharia de Fundações e Geotecnia edita também em 1998, seu “Manual de Especificações de Produtos e Procedimentos”, onde apresenta os componentes do Solo Grampeado: Chumbador e Concreto Projetado.

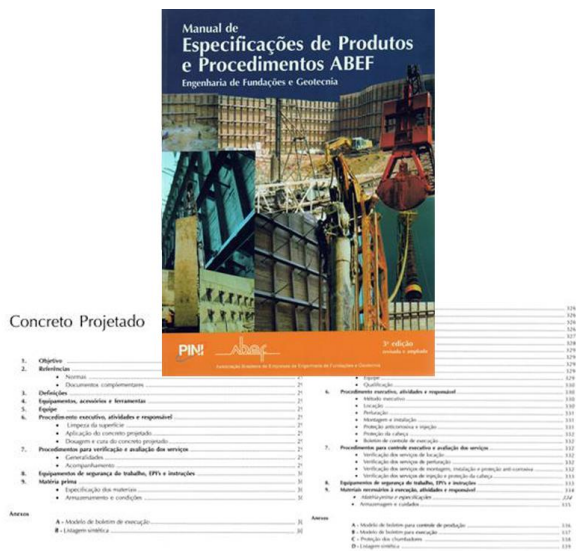


Figura 12 – Manual de “Especificações de Produtos e Procedimentos Abef

3.4.4. Ano de 1998

Houve grande impulso do Solo Grampeado a partir do final da década de 90. Coincidentemente após o primeiro COBRAE em 1992, onde publicamos o artigo: “Soil Nailing - Chumbamento de solos-Experiência de uma equipe na aplicação do método”.

A Solotrat tem registrado 470 obras executadas, compreendendo um total de 338.000 m². Considerando a partir de 2001 somariam 299.000 m², com média 1.900 m² por mês.

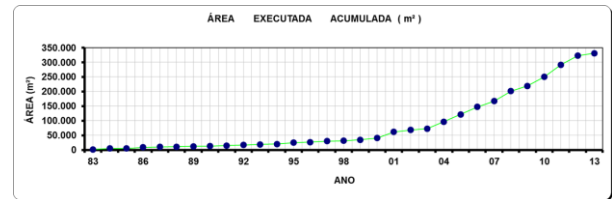


Figura 13 – Evolução de quantidade de obras executadas pela Solotrat

Temos hoje muitos canteiros de obras com contenções em Solo Grampeado, abrangendo todo tipo de mercado. Citamos como exemplo alguns dentre os muitos:

- Mercado publico – Estádio do Castelão em Fortaleza.
- Mercado concessões de rodovias – CCR, Triângulo do Sol, Auto Pista Fernão Dias, Auto Pista Litoral Sul, etc.
- Mercado industrial – VALE, Toyota, Votorantim, Kimberly, Petrobras, Multiplan, etc.
- Mercado ferroviário – MRS, ALL, Ferrovia Norte – Sul, Metrô SP, etc.
- Mercado Imobiliário – Even, JHS, M.Bigucci, Andrade Mendonça, Método, Racional, etc.

Considerando o mercado todo, cremos ter cerca de 1.000.000 m² de obras executadas nos últimos 11 anos.

4. EXECUÇÃO DO CHUMBADOR

O chumbador é o elemento que trata o solo. É constituído por uma barra metálica, centralizadores e mangueiras de injeção. Tem sua execução dividida em duas etapas: em bancada e no solo.

4.1. Montagem em bancada

Nesta etapa as barras de aço são cortadas e preparadas, conforme proposto no desenho do projeto. É aplicada a proteção anti-corrosiva se necessária. Obrigatoriamente são instalados os centralizadores e as mangueiras de injeção. As mangueiras devem dividir os trechos de injeção conforme especificado em projeto. Caso não esteja definido sugere-se em pelo menos 3 trechos.



Figura 14 – Montagem do chumbador em bancada

4.2. No solo

No solo são realizadas as operações de perfuração, injeção da bainha, introdução no furo da parte montada em bancada e a execução das injeções setorizadas.

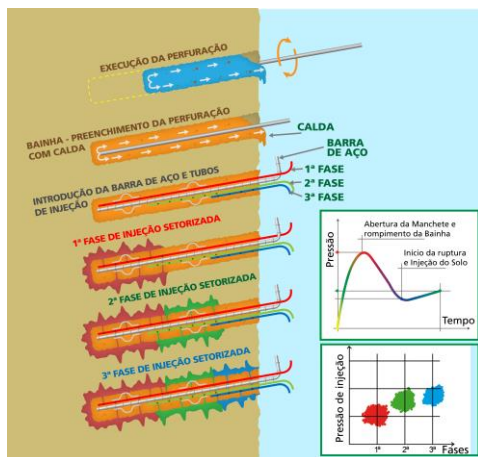


Figura 15 – Fases de execução de chumbador em solo

4.2.1 Execução da perfuração

A perfuração compreende a escavação do solo de forma estável, para que seja possível introduzir a barra de aço e realizar a injeção.

4.2.2. Primeira injeção-Bainha

A bainha abrange preencher o furo de baixo para cima com a calda de cimento até que saia na boca. Usualmente o traço é composto da relação água/cimento valendo 0,5 e 0,7 em peso. Deve-se circular a calda até que retorne em sua cor original, sem contaminação pelo solo. Introduzir em seguida a barra com os tubos de injeção.



Figura 16 – Injeção da Bainha

4.2.3. Fases da Injeção

Seguem as ações básicas utilizadas no processo da injeção:

- Entre 6 e 24 horas após o término da bainha inicia-se as fases de injeção.
- Adota-se o traço da calda a/c entre 0,5 e 0,7 em peso.
- Prepara-se um volume de calda equivalente entre 1 a 2 sacos, ou seja, entre 40 e 100 litros em misturador de alta turbulência, maior ou igual a 1750 rpm.
- Inicia-se a injeção na região do setor mais inferior, 1ª fase, considerando como expectativa de consumo o valor prático entre 5 e 15 litros por metro linear de chumbador.
- Mede-se a pressão necessária para injeção daquele volume. Mesmo não

sendo na mesma região convém aguardar entre 4 e 8 horas para realizar a 2ª fase.

- Observa-se que as pressões poderão ser muito baixas ou até nulas. Neste caso poderão ser necessárias mais fases de injeção, portanto uma nova montagem do chumbador deverá ser preparada na bancada. E ainda, os volumes de injeção acima citados poderão ser ajustados à condição específica do solo.
- Repete-se o passo anterior para 2º, 3º, tantas fases quanto previstas no projeto.
- Executor e projetista analisam os dados e definem a continuidade ou ajuste deste procedimento.

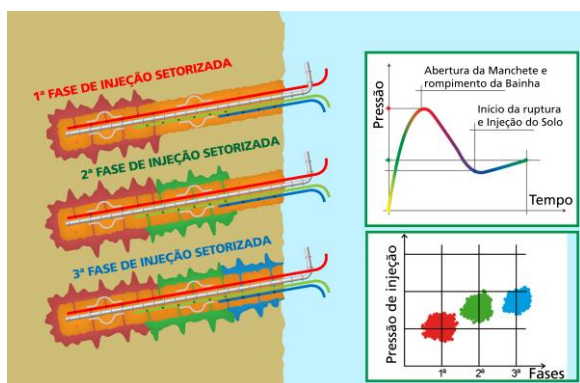


Figura 17 – Injeção em setores / fases

4.2.4. Detalhe do acabamento junto à extremidade superior do chumbador

Conforme o conceito de melhoria de solo, a carga junto a cabeça do chumbador é nula ou muito pequena. Nossa sugestão é a dobra do aço enquanto possível, e embutimento no concreto projetado. Uma placa com porca ou ligação com vários pedaços de barra de aço são alternativas comuns. É usual a criação de uma “mísula invertida” por meio de uma escavação manual simples.

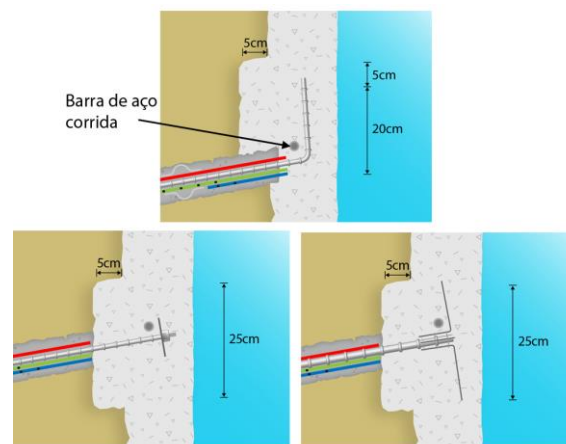


Figura 18 – Possibilidades de acabamento junto a cabeça do chumbador

A utilização de uma barra corrida, ligando as cabeças dos chumbadores num mesmo nível tem sido uma prática intuitiva constante.

4.2.5. O que é a prática da perfuração?

- O diâmetro da perfuração não precisa ser superior a 75 mm.
- O fluido de perfuração é a água.
- Observar quaisquer anomalias da perfuração que podem alterar as práticas acima citadas:
 - perda d'água,
 - resistência das camadas
 - estabilidade da cavidade

4.2.6. O que é muito importante na injeção?

- setorização da injeção
- injetar somente a calda preparada em misturador de alta turbulência, 1750 rpm, pois o fluxo laminar permite o eficiente caminhamento da calda.
- registrar todos os dados do chumbador:
 - datas da perfuração e ocorrências especiais durante sua execução
 - pressões de abertura, de injeção, volumes absorvidos, traço da calda, vazamentos na superfície ou regiões lindeiras.

NOME DA OBRA: ARENA CASTELÃO													BOLETIM DE INJEÇÃO DE CHUMBADORES		
Nº DA OBRA:															
VISTA:															
MURO 07/ LINHA 02															
Nº DE CHUMB.	BAINHA		1ª FASE				2ª FASE				3ª FASE				
	DATA	V(I)	DATA	Pa	PI	V(I)	DATA	Pa	PI	V(I)	DATA	Pa	PI	V(I)	
1															
2															
3	10/fev	48	14/fev	10	4	32	14/fev	11	5	32	14/fev	11	7	16	
4	10/fev	48	14/fev	20	V.8	16	14/fev	12	V.8	V.8	14/fev	15	V.8	V.8	
5	10/fev	48	14/fev	17	8	32	14/fev	19	V.8	V.8	14/fev	32	17	16	
6	10/fev	48	14/fev	16	9	32	14/fev	11	V.8	32	14/fev	28	N.8	N.8	
7	10/fev	48	14/fev	15	8	32	14/fev	17	9	32	14/fev	20	N.8	N.8	
8	09/fev	48	10/fev	9	N.8	N.8	10/fev	15	8	32	10/fev	10	N.8	N.8	
9	09/fev	48	10/fev	17	7	32	10/fev	12	6	16	10/fev	11	V.8	V.8	
10	09/fev	48	10/fev	13	7	32	10/fev	15	9	16	10/fev	12	N.8	N.8	
11	09/fev	48	10/fev	12	8	32	10/fev	13	6	32	10/fev	17	7	16	
12	09/fev	48	10/fev	30	12	16	10/fev	27	N.8	N.8	10/fev	17	V.8	V.8	
13	09/fev	48	10/fev	18	11	32	10/fev	12	8	32	10/fev	12	N.8	N.8	
14	09/fev	48	10/fev	15	N.8	N.8	10/fev	13	V.8	V.8	10/fev	16	N.8	N.8	
15	09/fev	48	10/fev	17	13	16	10/fev	20	N.8	N.8	10/fev	30	N.8	N.8	
16	08/fev	48	10/fev	20	V.8	16	10/fev	19	N.8	N.8	10/fev	11	V.8	V.8	
17	08/fev	48	10/fev	16	10	32	10/fev	15	V.8	16	10/fev	18	N.8	N.8	
18	08/fev	48	10/fev	25	N.8	N.8	10/fev	17	V.8	32	10/fev	15	N.8	N.8	

Figura 19 – Boletim dos Chumbadores

Com os dados registrados pode-se representá-los graficamente identificando regiões e seus comportamentos. Por exemplo, construir gráficos de mesmo volume injetado ou mesma pressão de injeção por região de arrimo.

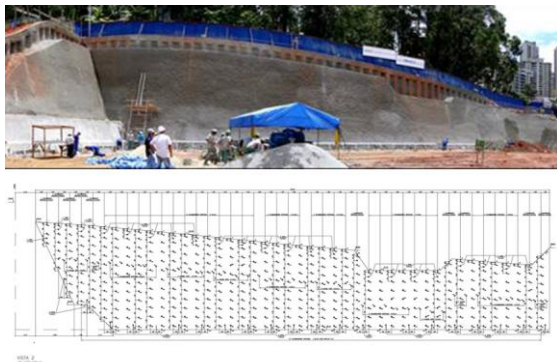


Figura 20 – Fotografia e projeto da obra no Morumbi, SP

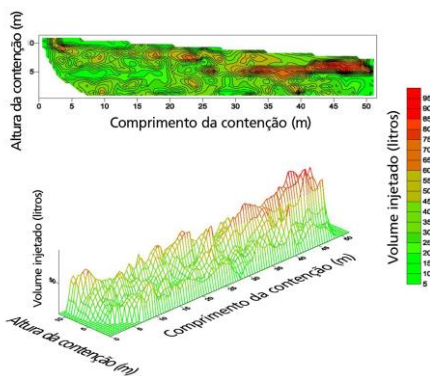


Figura 21 – Gráfico de Isovoluma por região

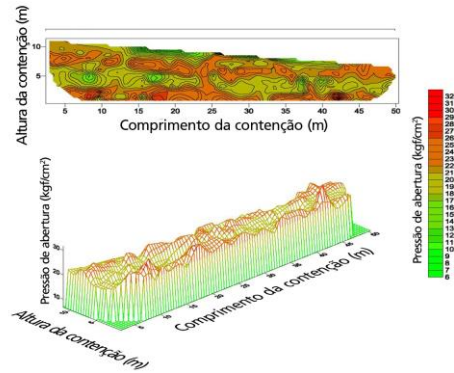


Figura 22 – Gráfico de Isopressão de injeção por região

5. ENSAIOS DE TRAÇÃO NO CHUMBADOR

Não vamos aqui abordar qualquer aspecto do dimensionamento do Solo Grampeado. Sabe-se que não há ainda um método único consagrado. Porém um dado que é muito utilizado em grande quantidade dos processos de cálculo é a adesão do chumbador.

A adesão, q_s , é definida como:

$$q_s = \text{carga/área lateral} = \frac{T}{\pi \cdot \phi \cdot \ell} \quad (\text{kPa})$$

T - carga de rutura

ϕ - diâmetro do chumbador, valor adotado

ℓ - comprimento do chumbador

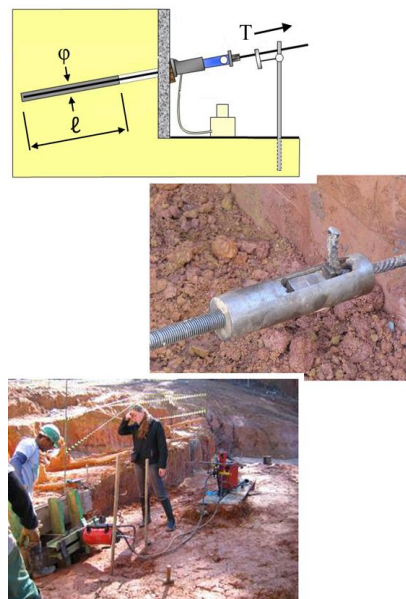


Figura 23 – Ensaio de tração do chumbador

O exame dos chumbadores exumados, mostra que sua geometria é muito irregular e variável, raramente alinhada conforme propõe o projeto.



Figura 24 – Imagens de chumbador exumado

Uma vez que o diâmetro de perfuração é adotado e que o valor real é diferente, entendemos ser muito mais verdadeira a relação entre a carga de ensaio e seu comprimento, pois ambos são reais.

$$Q_s = \text{carga/comprimento} = \frac{T}{\ell} \text{ (kN/m)}$$

Com base em banco de dados sobre estes ensaios pode-se tentar encontrar algumas relações. Abaixo duas relações entre q_s e Q_s e volumes injetados por metro de chumbador.

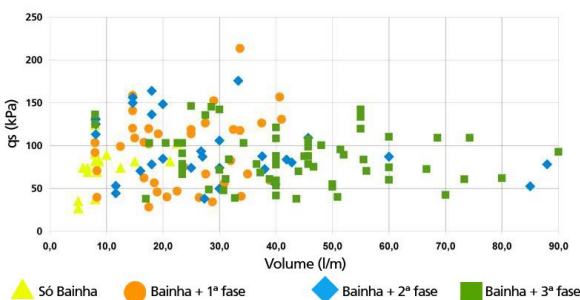


Figura 25 – Relação entre q_s (kPa) e volume de calda injetada (litros/m)

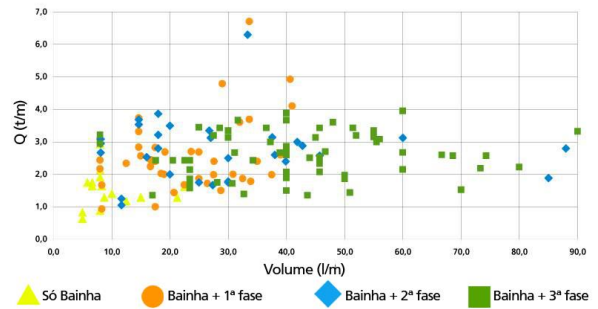


Figura 26 – Relação entre Q_s (kN/m) e volume de calda injetada (litros/m)

6. DRENAGEM

6.1. Definição

O sistema de drenagem do Solo Grampeado objetiva 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 drens previstos na fase do projeto. Desta forma haverá um correto sistema de drenagem.

Para a drenagem profunda usa-se o Dreno Sub-Horizontal Profundo, DHP.

Para a drenagem de superfície aplicam-se os drens de paramento e as canaletas.

6.2. Dreno Profundo

São elementos que captam as águas profundas e distantes da face do talude antes que nele aflorem. Ao captá-las, são conduzidas ao paramento e despejadas nas canaletas. Tem comprimentos variáveis normalmente, entre 6 e 24 metros.

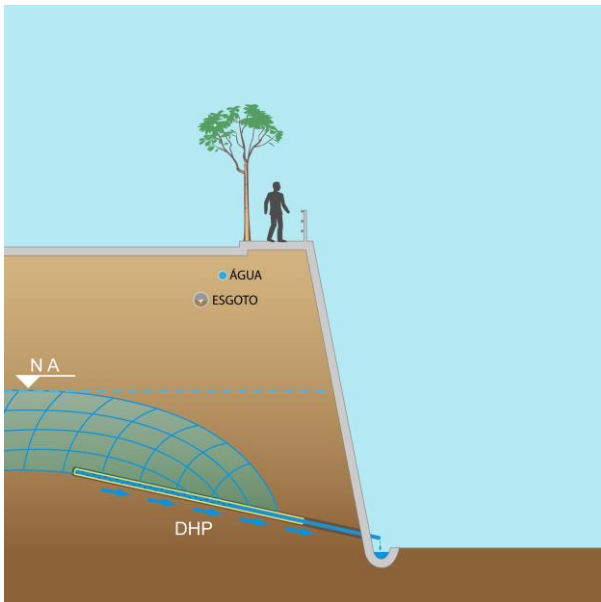


Figura 27 – Drenagem Profunda - DHP

Os “drenos sub-horizontais profundos”, DHP, resultam da instalação de tubos plásticos drenantes, de 1¼” a 2”, em perfurações no solo de 2½” a 4”.

Estes tubos podem ter somente microrranhuras em torno de 0,4 mm, sem recobrimento por manta ou tela, ou perfurações recobertas por manta geotêxtil ou por tela de nylon.

Visando comparar o tipo de tubo drenante que pode ser usado no DHP, realizamos um estudo comparativo entre o “dreno Geotécnica” e o “dreno ranhurado Solotrat”. O dreno Geotécnica era o dreno executado pela empresa Geotécnica S.A, precursora na execução de serviços geotécnicos no Brasil.

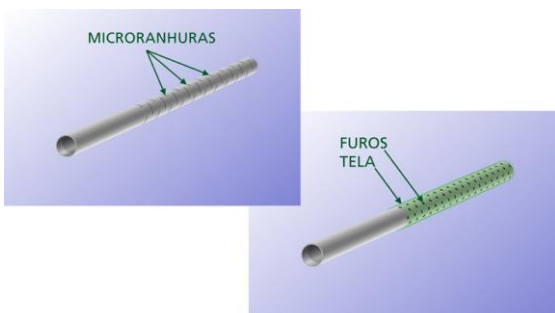


Figura 28 – Micro ranhura ou perfuração entelada

O “dreno Geotécnica”, resulta de se executar duas perfurações de 12,5m diâmetro oposta a cada 6 centímetros, e entre cada duas destas outras duas ortogonais. Estas perfurações em PVC de 2”, são cobertas por duas camadas de tela de nylon, malha 30. Para um comprimento de 50 cm resulta numa área perfurada de 35,47 cm².

O “dreno Solotrat” resulta da execução de 24 rasgos de 0,4 mm com 3,5 cm de extensão a cada 19 mm, para o mesmo tubo de PVC do dreno Geotécnica, sem envolvimento por qualquer tipo de tela. Resulta numa área perfurada de 3,36 cm². Observa-se que no dreno Solotrat as ranhuras são somente executadas na parte superior do tubo.

Testes comparativos de medição da vazão dos dois tipos de dreno está ilustrado na figura 29. Foi adaptado num tambor o dreno a ser ensaiado. Com camada de areia de 20cm acima da geratriz superior dos tubos e gradiente hidráulico de 30 cm, as vazões obtidas foram muito próximas entre 1 e 0,4 litro por minuto. Desta forma consideramos indiferente o uso de um tipo ou outro.

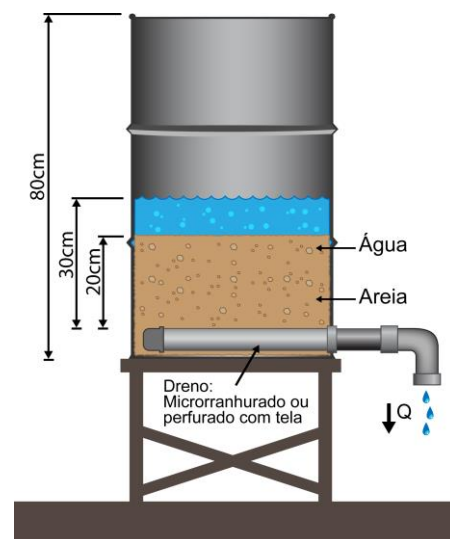


Figura 29 – Teste de vazão

6.3. Dreno de Paramento

São peças que pretendem promover o adequado fluxo às águas do talude que chegam ao paramento.

Temos o dreno linear contínuo e o barbacã.

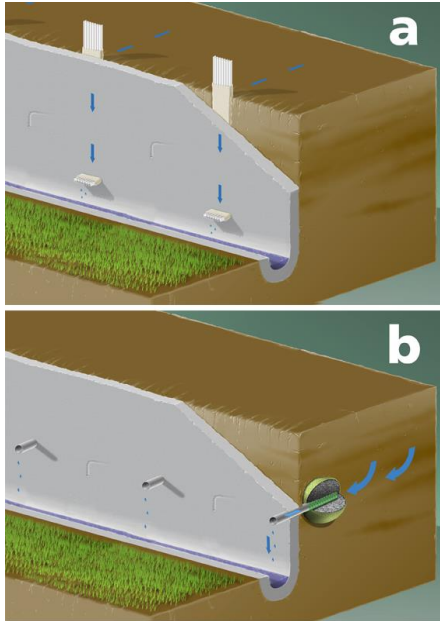


Figura 30 – Dreno linear contínuo (a) e dreno pontual, barbacã (b)

O dreno linear contínuo é resultado da instalação, numa escavação, de calha plástica drenante revestida por manta geotêxtil comercialmente chamada “PVD” ou “dreno fibroquímico”. Estende-se continuamente ao longo da direção vertical, da crista até o pé do talude, aflorando na canaleta de pé. É considerada uma drenagem linear.



Figura 31 – Dreno Linear de Paramento

O dreno tipo barbacã é resultado da escavação de cavidade com cerca de 30 x 30 x 30 cm, revestida com geotêxtil e preenchida com material granular, brita ou areia. Um tubo de PVC drenante com 1¼” a 2”, parte do seu interior para fora do revestimento, com inclinação horizontal descendente. É considerada uma drenagem pontual.

6.4. Dreno de Superfície

São considerados drenos de superfície as canaletas de crista e pé, bem como as de descida d’água. Como nestas peças ocorre acúmulo de águas, seu efeito erosivo no despejo deve ser cuidadosamente analisado.

6.5. Dicas para a Drenagem

A prática usual recomenda que sempre se execute drenagem profunda, de paramento e de superfície, mesmo que não tenha havido indicação de água quando do preparo do projeto. Especialmente nas áreas urbanas onde são reais as possibilidades de vazamentos de redes publicas de águas, esgoto e drenagem.

Sugere-se que sempre sejam executados DHP junto à superfície. É fato que as camadas superficiais são muito drenantes, mesmo cobertas com calçadas, justificando sua aplicação.



Figura 32 – DHP junto à superfície

Os drenos profundos devem sofrer manutenção ao menos anual. Não requer

nenhum profissional muito especializado. Construa um êmbolo que penetre no DHP de tal forma que a folga entre o êmbolo e o PVC do dreno seja da ordem de 1 mm. Injete água pelo êmbolo e ao longo de todo seu comprimento. Esta operação deve ser repetida diversas vezes, até a água, que sai após a retirada do êmbolo, esteja igual a que foi injetada.

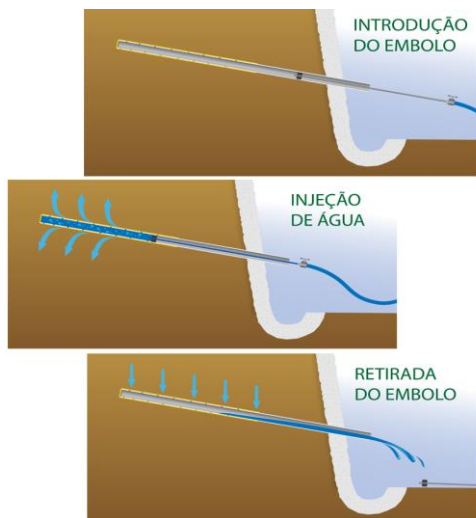


Figura 33 – Limpeza do DHP

Os drenos de paramento devem ter suas saídas sempre desobstruídas, evitando o nascimento de plantas que é muito comum.

As canaletas em condutos fechados devem ser evitadas e mantidas sem obstrução como todos os equipamentos de drenagem.

7. CONCRETO PROJETADO

7.1. Definição

É o material que se reveste o paramento do talude.

Existem duas maneiras de se produzir o concreto projetado: por via seca e por via úmida. A diferença básica está no preparo e condução dos componentes do concreto:

- Via seca: preparo a seco. A adição de água é feita junto ao bico de projeção, alguns instantes antes da aplicação;

- Via úmida: preparado com água e assim conduzido até o local da aplicação.

Ambas as vias utilizam traços e equipamentos com características especiais.

O concreto usual para solo grampeado é o de via seca. O concreto seco deve preferencialmente ser preparado no canteiro de obras, pois sempre haverá concreto à disposição, na quantidade e na hora em que for necessário.



Figura 34 – Arranjo de equipe e equipamento para concreto projetado

7.2. Concreto para o Concreto Projetado

O “concreto por via seca” é o resultado da aplicação da mistura do cimento e agregados secos até o ponto de aplicação, onde a água é adicionada. Cimento, areia, pedrisco e aditivos são misturados em betoneira. Esta mistura é colocada na bomba de projeção, com os aditivos. A massa é então conduzida por ar comprimido em mangote até o local de aplicação. Na extremidade do mangote há um bico de projeção, onde é acrescentada água. Esta mistura é lançada pelo ar-comprimido, com grande energia, na superfície a ser moldada. Ainda podem ser adicionados ao traço microssílica e fibras de polietileno ou metálicas. Normalmente, a resistência solicitada nos projetos é da ordem de 20 MPa.

Componentes do concreto projetado:

- Agregados: pedrisco ou pedra zero, e areia média. Ambos devem ter a umidade controlada.
- A areia, com umidade em torno de 5%, e nunca inferior a 3%, pois assim não causa poeira. Tampouco superior a 7%, pois assim evita entupimentos do mangote e o início de hidratação do cimento. A areia média não pode ter acima de 5% de grãos finos, e deve ser composta por 60% de grãos médios e de até 35% grãos grossos. Para o pedrisco, a umidade de 2% é suficiente.
- Cimento: pode ser Comum, Pozolânico, Alto Forno, ARI ou ARI-RS, etc dependendo das especificações do projeto. Conforme a necessidade da obra, podem ser utilizados aditivos aceleradores de pega em pó ou líquidos.
- Água: deve estar de acordo com o que recomenda a tecnologia do concreto. Sua dosagem, entretanto, é feita pelo mangoteiro, por meio de registro, instalado junto ao bico de projeção. O volume é o resultado da sensibilidade e experiência adquiridas pelo operador noutras obras.

O controle da resistência do concreto é feito pela extração de corpos de prova de placas moldadas na obra.

7.3. Equipe de aplicação do Concreto Projetado

Os aplicadores de concreto têm extrema importância na qualidade do serviço. Neste trabalho é usual termos dois especialistas: o mangoteiro e o bombeiro. O bombeiro está sempre junto à bomba de projeção, ajustando-a conforme os desgastes ocorrem e verificando o correto fornecimento do volume e pressão do ar comprimido.

O mangoteiro é quem aplica o concreto, em movimentos contínuos, circulares, dirigidos

ortogonalmente à superfície, dela distante de 1 m. Além disso, o mangoteiro regula a água e tem sensibilidade para perceber oscilações nas características de vazão e pressão do ar.

7.4. Armação do Concreto Projetado

A tendência da armação do concreto projetado é a aplicação de fibras de polietileno ou metálicas, ao invés da tela eletrosoldada. Esta tendência se manifestou ao início da década de 90, quando as fibras de aço passaram a ser adicionadas diretamente na betoneira. A partir de 2001, as fibras metálicas foram substituídas por fibras sintéticas de polietileno tereftalato. Em nenhum dos casos houve necessidade de mudança nos equipamentos. Ocorreu redução na equipe de trabalho, pois não mais houve necessidade de mão-de-obra para preparo e instalação das telas.

O concreto aplicado com as fibras se ajusta perfeitamente ao corte realizado no talude, acompanhando as superfícies irregulares.

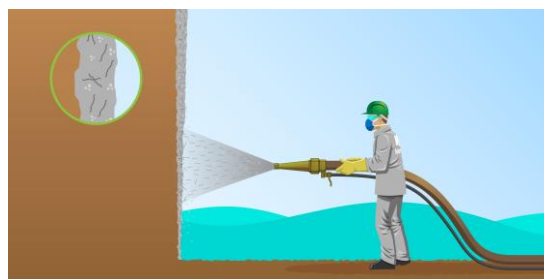


Figura 35 – Aplicação do concreto projetado com fibras adaptando as irregularidades do corte

A presença das fibras produz concreto extremamente tenaz com baixa permeabilidade. A *figura36* apresenta valores de tenacidade do concreto projetado com fibras, tela e sem armação.

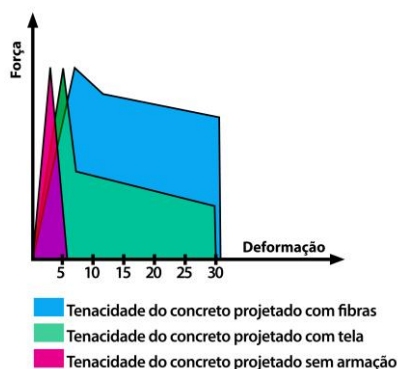


Figura 36 – Comparação entre a tenacidade do concreto projetado com fibras, tela e sem armação

As fibras agem homoganeamente, no combate às tensões de tração desde o início da cura.

Mesmo para a fibra metálica, não há cuidado especial com a corrosão. Pois se limita àquela fibra que está em contato com a atmosfera, não afetando as outras imersas no concreto. As telas eletrossoldadas têm sua instalação feita em uma ou duas camadas, conforme especificado em projeto. Aplica-se o concreto em fases conforme a instalação das telas. A primeira camada com a primeira tela, a segunda camada entre a primeira e segunda tela, e a camada final. Telas podem ser instaladas antes do concreto. Entretanto, é preciso cuidado especial para evitar que elas funcionem como anteparo e promovam vazios atrás das mesmas.



Figura 37 – Cuidado para evitar vazios atrás da tela

7.5. Juntas do Concreto Projetado

Não existe uma regra para a execução de juntas para o concreto projetado. Raros projetos sugerem sua aplicação, mas quase

sempre quando não é feita, a natureza a faz. Desta forma a aparência fica muito feia, com sensação de problema de instabilidade. Por isso sugerimos que sempre sejam feitas juntas.

7.5.1. Juntas horizontais

A prática da execução das juntas horizontais é que sejam frias. A camada de concreto deve ser aplicada de cima para baixo em forma de cunha a cada fase de aplicação sucessivamente.

Sequência de aplicação do concreto projetado: juntas frias 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7...

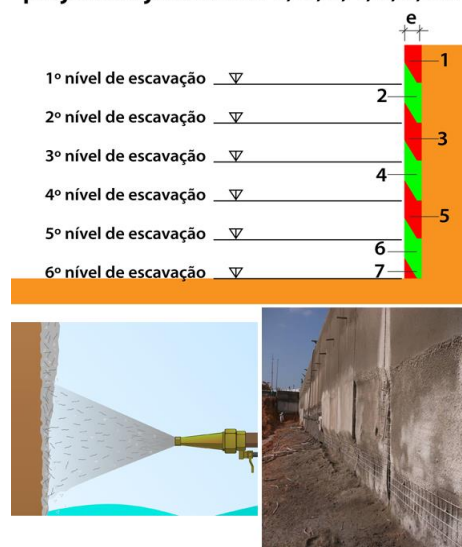


Figura 38 – Juntas horizontais frias

7.5.2. Juntas horizontais frias

A prática é que sejam sempre executadas juntas verticais.

A sugestão é a construção de juntas com espessura entre 1 a 2 centímetros de largura. Sua profundidade não precisa ter a espessura total do concreto projetado, pode variar entre 3 e 6 cm, completada com o risco com a colher de pedreiro ou fria com molde de madeira. O espaçamento entre juntas varia entre 2 e 10 espaçamentos de uma coluna de chumbadores sempre no eixo do dreno vertical de paramento. Assim sendo eventuais

fluxos de água terão um caminho preferencial muito fácil.

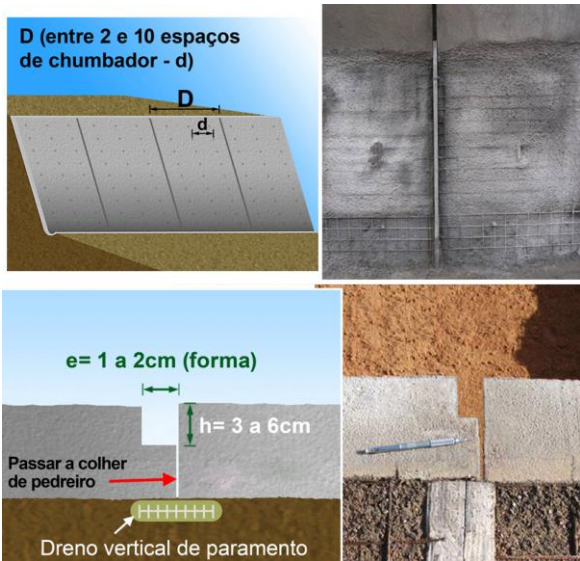


Figura 39 – Junta vertical

8. A IMPORTÂNCIA DO CHUMBADOR VERTICAL

O Solo Grampeado tem a característica de ter uma elevada produtividade. Isto demanda uma grande velocidade de escavação. Para tanto cuidados devem ser tomados. Escavar alternadamente entre chumbador ou grupos de chumbador de um nível qualquer de escavação deixando bermas é recomendável. Porém assim teremos na obra o maior inimigo da produtividade.



Figura 40 – Execução com Bermas

Visando uma ótima produtividade passou-se a executar chumbadores verticais, previamente a escavação junto ao alinhamento da contenção. Estes tem o espaçamento conforme o espaçamento horizontal do chumbador, e comprimento mínimo da altura da escavação acrescido de 1,0 metro.

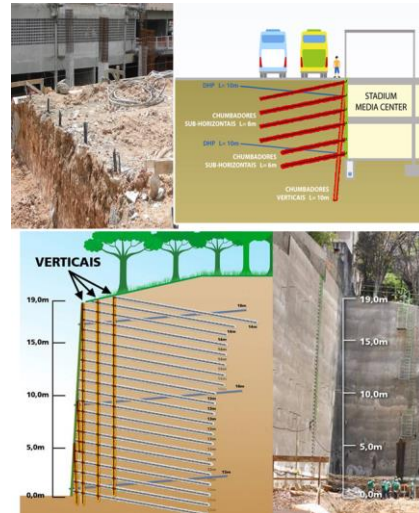


Figura 41 – Exemplos de aplicação do chumbador vertical

9. MEDIDAS DE DEFORMAÇÕES DO SOLO GRAMPEADO

O parâmetro internacional que caracteriza a estabilidade do Solo Grampeado é a deformação horizontal da crista. Usualmente este valor é representado pela relação em porcentagem entre a deformação medida e a altura da escavação naquele momento.

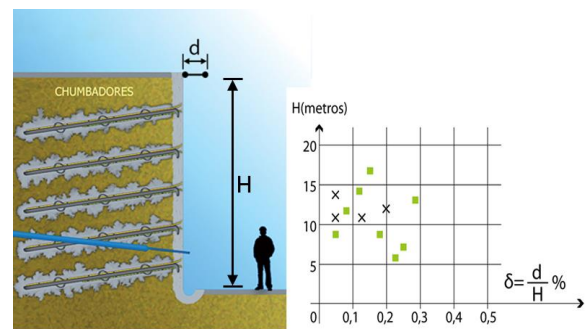


Figura 42 – Índice de deformação e ilustração de alguns valores nacionais e internacionais

Embora seja um parâmetro simples de ser obtido no campo, depende de que haja um topógrafo ou empresa especializada, frequentemente na obra. Por isso desenvolvemos um sistema de medição simples, que pode e tem oferecido dados valiosos. São os extensômetros múltiplos. Construídos como se fossem um tirante composto por 3 fios de 8mm, com cada fio ancorado em pontos diferentes e livres na cabeça. Seus alongamentos são medidos com relação a parede de concreto.

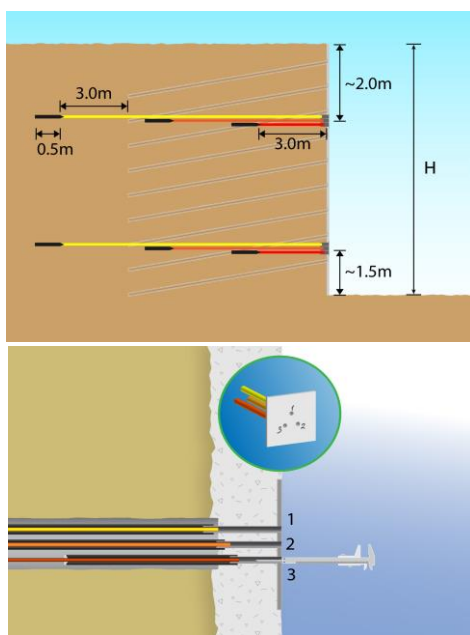


Figura 43 – Extensômetro múltiplo e sua ancoragem e detalhe junto à cabeça

O comprimento de ancoragem das barras é de no mínimo 50cm. Os trechos livres das três barras do extensômetro devem ter os seguintes comprimentos:

- o maior, 3 m além do comprimento do maior chumbador.
- o intermediário, com comprimento médio entre o maior e o menor.
- o menor com, pelo menos, 3 m de trecho livre.

A instalação de pelo menos dois conjuntos de extensômetros numa mesma prumada, a 2

metros da crista e outro a 1,5 m da base do paramento, pode nos indicar o comportamento da cortina como um todo. As leituras dos extensômetros devem ser diárias durante o avanço da contenção e semanais nos três primeiros meses após o término dos trabalhos. Convém posicioná-los de tal forma que possam ser feitas leituras ao longo da construção da obra.

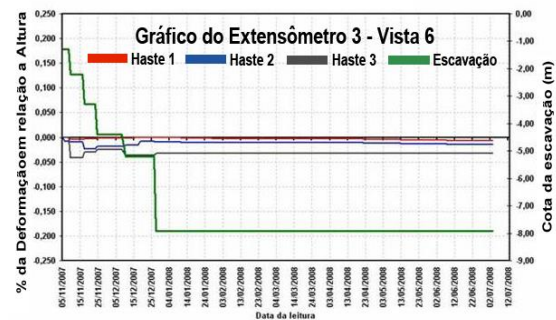


Figura 44 – Medição e registro dos dados

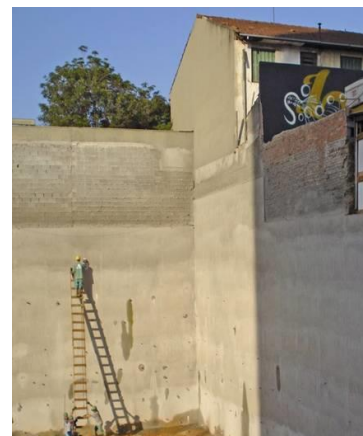


Figura 45 – Leitura de deformação horizontal

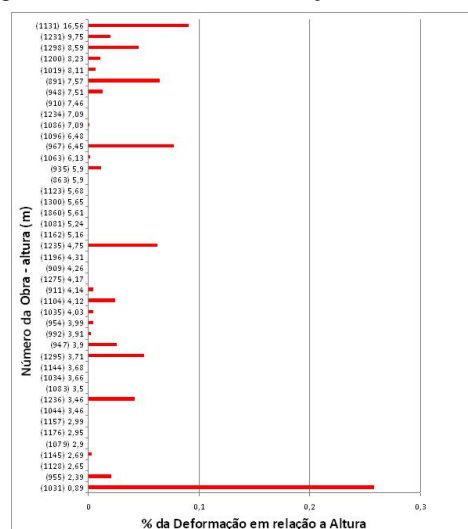


Figura 46 – Deformação Máxima obtida e altura da obra

A despeito de haver na obra o extensômetro múltiplo, sempre devem ser medidas as deformações absolutas da crista em ao menos 3 prumadas representativas da obra. A execução de inclinômetro sempre que possível oferecerá a melhor informação sobre os movimentos.

Durante a obra são fundamentais as visitas constantes do projetista ou do consultor para que se observe a qualidade executiva. Estas visitas visam avaliar premissas de projeto bem como analisar pressões e consumos das injeções dos chumbadores, e ensaios realizados.

As propostas acima visam a compilação de informações quando não há recomendações específicas no projeto em execução.



Figura 47 – Vistas da obra

10. ALGUNS CASOS DE OBRA

Apresentamos alguns casos de obra que pretendam ilustrar situações já vivenciados da aplicação de Solo Grampeado.

10.1. Hospital da Beneficência Portuguesa – Rutura do paradigma da aplicabilidade do SG como obra permanente em 2000.

Este caso de arrimo em solo objetivou conter as paredes verticais para as ampliações das instalações do hospital. Com alturas entre 10,4 e 13,5m foram arrimados 2.841,0m². A obra executada em caráter permanente entre maio e setembro de 2000 e novembro 2002 e fevereiro 2003, criou grande impacto no meio geotécnico da cidade de São Paulo. Rompeu o paradigma de que o Solo Grampeado não era aplicável para construções permanentes em áreas urbanas. Dados apresentados na *figura48*, mostram o desempenho desta obra executada na argila porosa da Av. Paulista.

Prumada	Altura H(mm)	Deformação medida da crista do muro Horizontal	
		δH (mm)	$\delta H/H$ (%) ●
		A3	10,42
B2	10,5	5	0,05
C2	12,16	24	0,2
D1	13,5	5	0,04

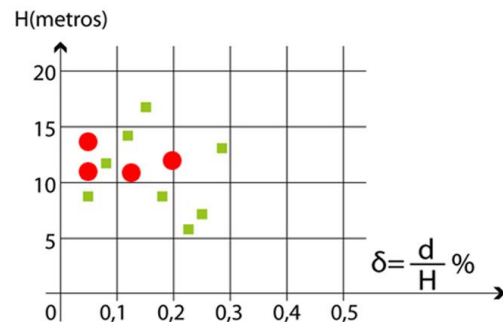


Figura 48 – Dados de deformações

10.2. Aeródromo Caipó – Versatilidade – Ousadia técnica, areia pura.

Esta obra objetivou executar vala para embutir porta de um hangar, para aeronave tipo Boeing 737 800 em Mococa SP. A largura era de 2,0 m e a profundidade de 9,81 m. O solo era composto por areia fina muito homogênea, fofa a pouco compacta. As deformações apresentadas durante a obra foram alarmantes e reforços foram aplicados. A deformação máxima obtida alcançou 1,0%

da altura arrimada. A obra foi realizada de outubro de 2003 a dezembro de 2003. As figuras 49 a 53 ilustram as fases da obra.

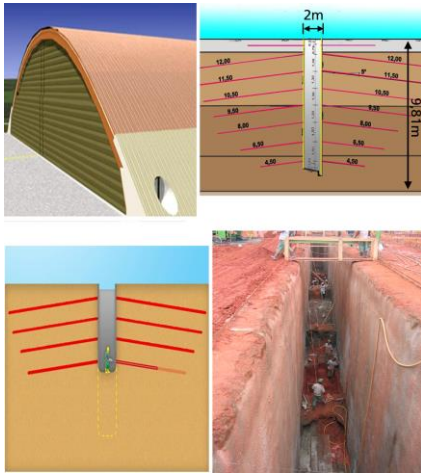


Figura 49 – Hangar, projetos e obra em execução

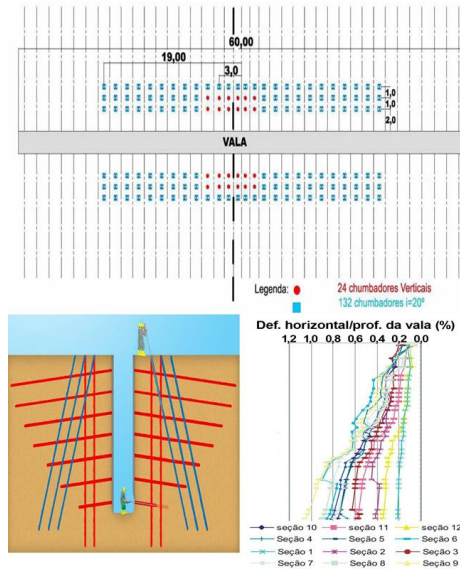


Figura 52 – Situação final do reforço e deformações

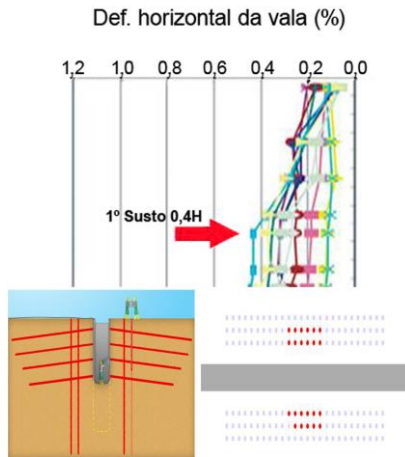


Figura 50 – Primeiro susto, deformação 0,4% H, intervenção com chumbador vertical

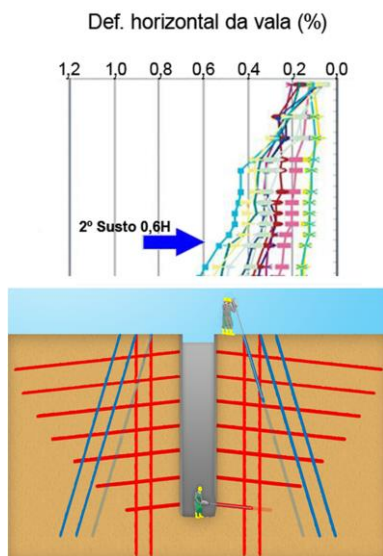


Figura 51 – Segundo susto, deformação 0,6% H, intervenção com chumbador inclinado

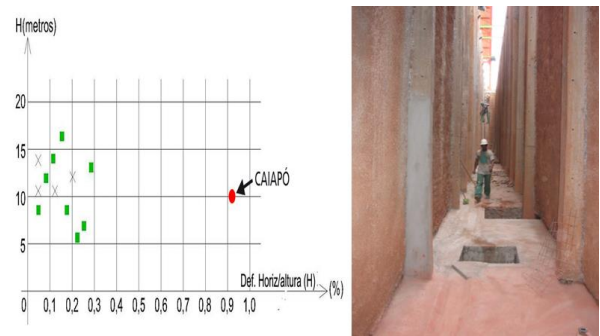


Figura 53 – Deformação da obra com relação a bibliografia e foto final

10.3. Prédio Comercial Rua Alfredo Pujol – Elevada Altura.

O objetivo desta obra entregue em outubro de 2012 foi arrimar corte vertical com 19,0 m de altura. Era necessário implantar o pavimento térreo do prédio ao nível da Rua Alfredo Pujol em São Paulo. Inclinômetros instalados junto à crista indicaram deformações não superiores a 0,02% da altura. O solo local sedimentar se apresentava em duas porções. A superior sem nível d'água alternava camadas de areia fina e camadas de argila siltosa ou arenosa. A inferior era de argila siltosa do sedimento terciário de São Paulo, taguá, e tinha o lençol freático presente em seu topo.

Nesta obra foram executadas 3 linhas de chumbadores verticais junto a face.

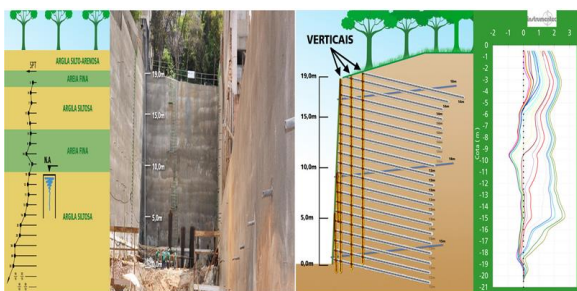


Figura 54 – Sondagem, vista da obra pronta, projeto e medidas do inclinômetro

10.4. Prédio Comercial Baby Beef – Relação com Vizinho – Corte e remoção do SG.

A construtora Dalla em agosto de 2002, construiu seu subsolo vertical de 4,47m de altura arrimado em Solo Grampeado e implantou o edifício Astor em Sto André, SP.

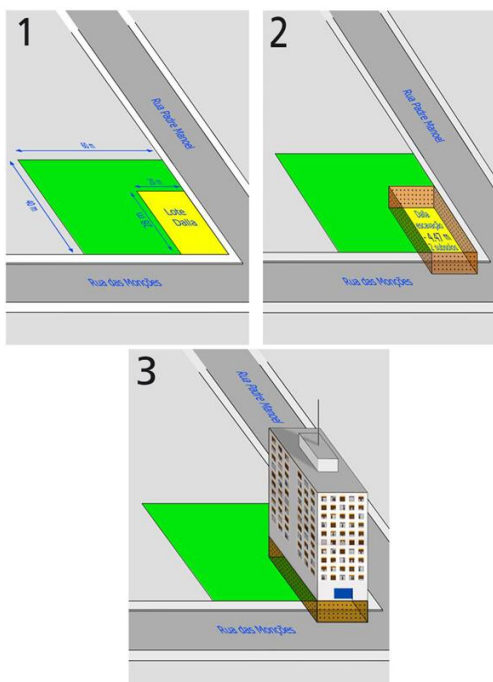


Figura 55– Fases executivas prédio Dalla

O Baby Beef adquiriu o terreno vizinho. Para implantar os pisos de garagem de seu empreendimento imobiliário, precisava escavar abaixo do piso da Dalla. O projeto previa escavação a prumo com altura de 8,65m. O solo grampeado executado pela Dalla foi removido. A ligação dos

chumbadores com a parede em concreto projetado foi cortada com disco de corte, e se escavou mais 4,18m.

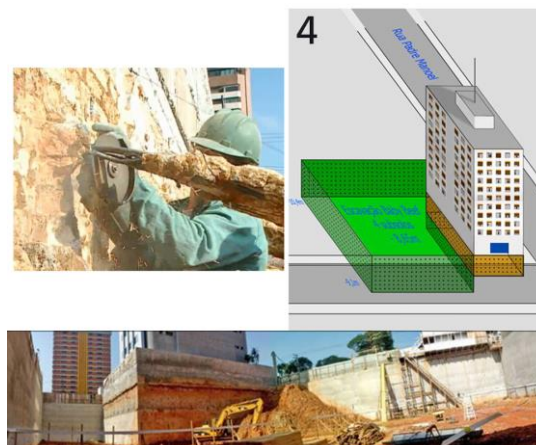


Figura 56 – Corte do chumbador e situação Final

10.5. Estádio Castelão – Versatilidade Geométrica, curvas côncavas e reentrâncias.

O objetivo deste arrimo vertical era conter todas as paredes verticais da reforma do Castelão entre janeiro e junho de 2012. Havia, entretanto a necessidade de que a parede fosse na geometria do estádio: trechos curvos, retos e cantos a 90°. Além disso vencer um período chuvoso com solo sedimentar silto arenoso fofo a pouco compacto saturado.

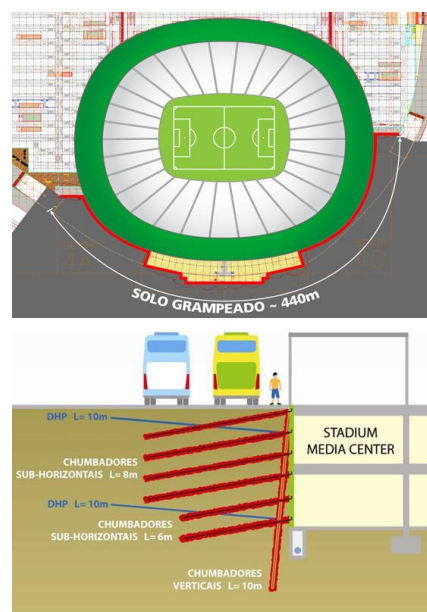


Figura 57 – Projeto do arrimo em planta e corte



Figura 58 – Reentrâncias e curvas

10.6. Contenção a prumo para a estrada de serviço implantada em Área de Preservação Permanente, APP, supressão mínima, detonação adjacente a obra.

A TAG “Transportadora Associada de Gás” da Petrobras precisou criar uma estrada de serviço em região de APP. Abrangendo alturas de até 12,0 m, realizou em julho de 2009, 2.000,0 m² de contenção em Solo Grampeado. A mata estava adjacente a crista da obra, obtendo assim área de supressão mínima. Além disso, houve aplicação de explosivos junto ao arrimo com cargas de espera de 4,2kg, razão de carregamento de 4kg/m³, frequência de 250 Hz e vibrações de 175 mm/s, sem qualquer prejuízo ao Solo Grampeado.



Figura 59– Imagens da obra

10.7. Prédio Residencial R. Sammia Haddad – Versatilidade Geométrica, curva convexa.

A geometria convexa era a característica deste arrimo executado em solo residual de gnaiss no bairro do Morumbi na cidade de São Paulo em agosto de 2002. Com altura de 15,0m a prumo após sua entrega foi submetido a intenso vazamento de água da Sabesp. O sistema de drenagem foi muito eficiente sem qualquer prejuízo com a segurança da contenção.



Figura 60 – Projetos e fotos da obra acabada

10.8. Prédio Comercial Alphaville – Vazamento SABESP.

Este arrimo terminado em novembro de 2013 foi executado no bairro de Alphaville, em Santana do Parnaíba, SP. Objetivou arrimar área de 1.840,0 m² de paredes verticais com alturas de até 11,55 metros em projeto, mas que durante a execução foi ampliado para 13,0 m. Este lote era delimitado por ruas em três faces. Tubulações de águas tratadas, esgoto e drenagem cercavam o lote. Ocorreu falha simultânea em todas as bombas de recalque e o esgoto aflorou na superfície. O sistema de drenagem executada foi proficiente sem qualquer dano a obra.

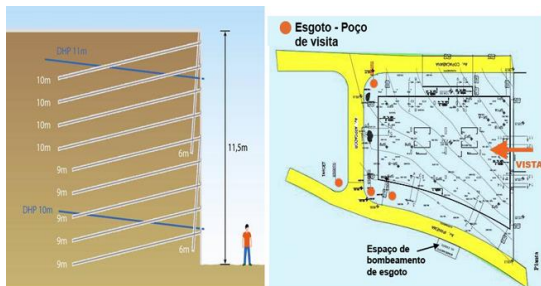


Figura 61 – Projeto e foto da obra

10.9. Obra Industrial de ampliação da Toyota – elevadas sobrecargas acima e adjacente a contenção.

Nesta obra industrial para ampliação da Toyota em Sorocaba, (SP) foi executado Solo Grampeado. Com altura de 6,5m a prumo, foi projetado para sobrecargas de 10,0 t/m² acima e adjacente a contenção.

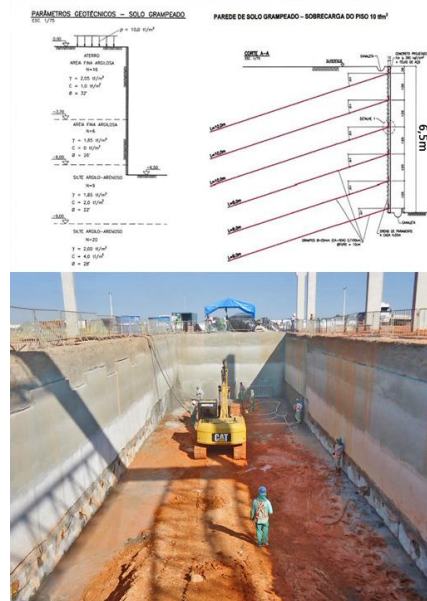


Figura 62 – Projeto e vista da obra

10.10. Limitação de acesso do projeto do arrimo ao terreno vizinho.

Este arrimo com 16,0m de altura se encontra em execução. Trata-se de obra no estado do Rio de Janeiro. Seu partido de projeto era que nenhuma peça da contenção adentrasse o vizinho. Foi projetada solução em Solo Grampeado com 3 linhas de chumbadores para enrijecimento de face.

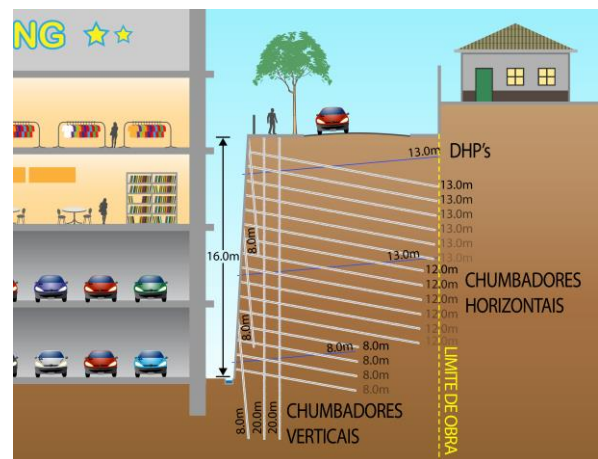


Figura 63 – Projeto e foto

10.11. Revestimento orgânico do paramento.

Considerando que a carga junto ao paramento não existe, é possível revesti-lo com grama.

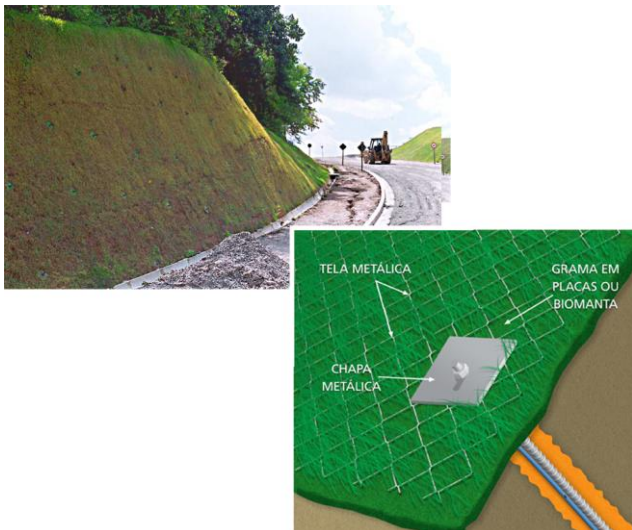


Figura 64 – Paramento revestido com grama

Mesmo onde se projetou um revestimento em concreto projetado, pode-se instalar grandes “vasos” ou plantas do tipo “heras”.

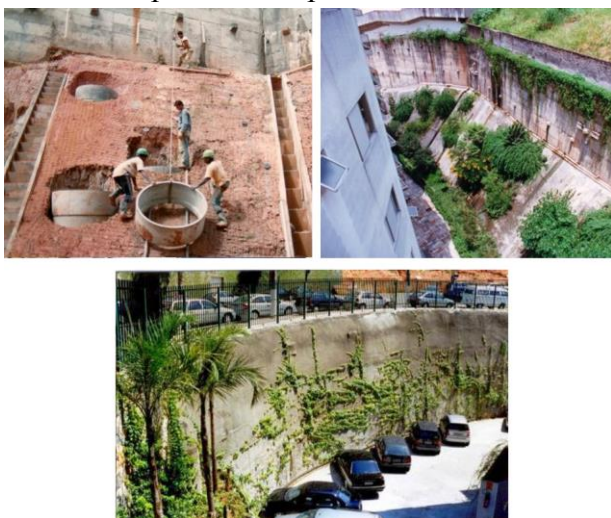


Figura 65 – Paramento com vasos e hera

11. ALGUNS TRABALHOS CIENTÍFICOS

Seguem 4 referências bibliográficas nacionais que nos foram de relevante importância.

- outubro de 2003 - Workshop Solo Grampeado - Sinduscon SP - Dr Mauricio Erlich - “Solos Grampeados-Comportamentos e Procedimentos de análise”.
- abril de 2007 - PUC-Rio - Dissertação de Doutorado de André Pereira Lima - “

Instrumentação e monitoramento geotécnico de escoramento grampeado de grande altura em solo residual”.

- Agosto de 2007 - USP Escola de Engenharia de São Carlos - Dissertação de Mestrado de Fagner Alexandre Nunes de França - “Ensaio de arrancamento em solo grampeado executados em laboratório”.
- agosto de 2009 - USP Escola de Engenharia de São Carlos - Dissertação de Doutorado de Danilo Pacheco e Silva - “Análise de diferentes metodologias executivas de solo pregado a partir de arrancamento realizados em campo e laboratório”.

12. CONCLUSÕES

Seguem algumas constatações sobre o Solo Grampeado.

- 12.1. O Solo Grampeado é uma técnica de contenção capacitada para uso em caráter permanente.
- 12.2. Aplica-se a todos os tipos de solo, não sendo excluídas nem as argilas orgânicas moles.
- 12.3. Para áreas de subsolos ocupa menor espaço que as soluções convencionais. Tem espessura entre 7 e 10 cm. Por exemplo, considerando uma área de piso 30x40 metros teremos cerca de 70m² de ganho de área por pavimento. Em sua textura natural ou sarrafeado, pode ser imediatamente usado, sem necessidade de aplicar qualquer reestimento.
- 12.4. Com grande versatilidade geométrica ajusta-se facilmente a reentrâncias, podendo ser executado em paredes curvas, ou com ângulos quaisquer.
- 12.5. Sua execução quando comparada com cortinas atirantadas, é muito mais segura, pois os passos de execução são

muito simples e a imprecisão ou falha de um chumbador é muito menos comprometedora que a falha de um tirante.

- 12.6. Não induz cargas verticais na sua fundação como o faz qualquer obra de tirantes.
- 12.7. O Solo Grampeado é muito drenante. Cortinas atirantadas, mais especificamente paredes diafragma atirantadas trabalham como “interceptor do lençol freático” induzindo a perigosa subida do lençol freático.
- 12.8. Elevada velocidade de execução, em média 400 m² por mês, por equipe com trabalho contínuo mesmo em época chuvosa. O caminho crítico é sempre a escavação.
- 12.9. Sua execução deve ser sempre acompanhada pelo projetista e fiscal, pois as fases construtivas são os momentos delicados.
- 12.10. A técnica executiva tem sempre incorporado melhorias face a sua “recente” aplicação. Cerca de 40 anos no mundo e grande impulso no Brasil a partir do ano 2000.
- 12.11. Deformações do maciço tratado são imperceptíveis. As injeções mudam as características do solo. Os volumes de calda injetados estão entre 0,5 e 1% do volume de solo abrangido.

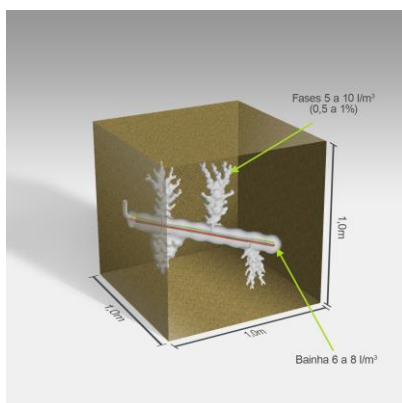


Figura 66 – Ilustração gráfica do volume ocupado pela injeção

- 12.12. Seria interessante se iniciar um trabalho de troca de informações entre executadores, projetistas, consumidores e estudiosos do tema, visando o preparo de recomendações normativas.

13. BIBLIOGRAFIA

Considerando que estamos apresentando nossa vivência pessoal, decidimos modificar a forma usual de apresentação da bibliografia. Citamos a seguir apenas artigos que participamos, agrupados por conteúdo e apresentados por ano, evento, assunto e autores.

➤ SOLO GRAMPEADO - INFORMAÇÕES GERAIS

1992 - I COBRAE: Soil Nailing - Chumbamentos de solos – Experiência de uma equipe na aplicação do método – Eng. Alberto Casati Zirlis, Geol. Cairbar Azzi Pitta.

1993 - REVISTA SOLOS & ROCHAS: Experience with Soil Nailing in Brazil – Eng. J.R. Ortigão, Eng A.C. Zirlis, Eng. E.M. Palmeira.

1996 - LIVRO FUNDAÇÕES TEORIA E PRÁTICA, capítulo 18, Reforço do Terreno, Solo Grampeado, p.641 - Eng. Alberto Casati Zirlis.

1999 - MESA REDONDA EM EVENTO NO I.E.SP: Solo Grampeado / Execução - Eng. Alberto Casati Zirlis.

2003 - Workshop Solo Grampeado, SINDUSCON SP: Solo Grampeado alguns detalhes executivos ensaios, casos de obra - Eng. Alberto Casati Zirlis, Geol. Cairbar Azzi Pitta, Eng. George Joaquim Teles de Souza.

2010 - REVISTA FUNDAÇÕES E OBRAS GEOTÉCNICAS: A Arte de Estabilizar, uma Técnica Moderna e Eficaz - Eng. Dr. Danilo Pacheco e Silva, Eng. Thiago de Paula Alonso, Geol. Cairbar Azzi Pitta, Eng. George Joaquim Teles de Souza, Eng. Alberto Casati Zirlis.

Solo Grampeado, subjacente a um Solo Grampeado pré-existente - Eng. Alberto Casati Zirlis, Geol. Cairbar Azzi Pitta, Eng. George Joaquim Teles de Souza.

➤ SOLO GRAMPEADO - CAMPOS DE PROVA, INJEÇÃO, INSTRUMENTAÇÃO, ACIDENTES

2000 - IV SEFE: Chumbadores Injetados - A Qualidade do Solo Grampeado - Eng. Alberto Casati Zirlis, Geol. Cairbar Azzi Pitta.

2005 - IV COBRAE: Solo Grampeado - Aspectos Executivos do Chumbador - Eng. Alberto Casati Zirlis, Geol. Cairbar Azzi Pitta, Eng. George Joaquim Teles de Souza.

2008 - VI SEFE - Análise de duas metodologias executivas de chumbadores a partir de ensaios de arrancamento em Solo Pregado - Eng. Danilo Pacheco e Silva, Eng. Sergio Barreto de Miranda, Geol. Cairbar Azzi Pitta, Eng. Benedito de Souza Bueno.

➤ SOLO GRAMPEADO - CASOS DE OBRA

2005 - IV COBRAE - Um caso de obra - Aerodrómo Caiapó (Mococa - SP) - Eng. Alberto Henriques Teixeira, Eng. Alexandre Alberto Henriques Teixeira, Eng. Alberto Casati Zirlis, Geol. Cairbar Azzi Pitta, Eng. George Joaquim Teles de Souza, Eng. Mateus Dechen.

2008 - VI SEFE - Um Caso de Obra Especial: contenção pelo método de