

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

ANÁLISE DA CORRELAÇÃO ENTRE A
RESISTÊNCIA AO ARRANCAMENTO DE GRAMPOS
(q_s) E O ÍNDICE DE RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO
(N_{spt}) APLICADA A UM PROJETO DE SOLO
GRAMPEADO

Renato Goldbach

2011



Universidade Federal
do Rio de Janeiro

Escola Politécnica

ANÁLISE DA CORRELAÇÃO ENTRE A
RESISTÊNCIA AO ARRANCAMENTO DE
GRAMPOS (qs) E O ÍNDICE DE
RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO ($Nspt$)
APLICADA A UM PROJETO DE SOLO
GRAMPEADO

Renato Goldbach

Projeto de Graduação apresentado ao
Curso de Engenharia Civil da Escola
Politécnica, Universidade Federal do Rio
de Janeiro, como parte dos requisitos
necessários à obtenção do título de
Engenheiro.

Orientadores:

Leonardo De Bona Becker

Marcos Barreto de Mendonça

Rio de Janeiro

Setembro de 2011

ANÁLISE DA CORRELAÇÃO ENTRE A RESISTÊNCIA AO
ARRANCAMENTO DE GRAMPOS (qs) E O ÍNDICE DE
RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO (N_{spt}) APLICADA A UM PROJETO
DE SOLO GRAMPEADO

Renato Goldbach

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE
DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA ESCOLA POLITÉCNICA
DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE
DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU
DE ENGENHEIRO CIVIL.

Examinado por:

Prof. Leonardo De Bona Becker, D.Sc.

Prof. Marcos Barreto de Mendonça, d.Sc.

Prof. Fernando Arthur Danziger Brasil, D.Sc.

Prof. Maurício Ehrlich, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

SETEMBRO de 2011

Renato Goldbach

Análise da Correlação entre a Resistência ao Arrancamento de Grampos (qs) e O Índice de Resistência à Penetração (Nspt) aplicado a um Projeto de solo grampeado / Renato Goldbach. – Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, [2011]

VII, 73 p. 29,7 cm.

Orientadores> Leonardo De Bona Becker, Marcos Barreto de Mendonça

Projeto de Graduação – UFRJ/ Escola Politécnica/ Curso de Engenharia Civil, 2011.

Referências Bibliográficas: p. 71.

1. Resistência ao Arrancamento de Grampos, 2. Resistência à Cravação (Nspt), 3. Estabilidade de Taludes, 4. Solo Grampeado

I. Becker, Leonardo De Bonna et al. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Curso de Engenharia Civil, III. Título.

*“Sabemos o que somos,
Mas não o que poderemos ser.”*

William Shakespeare

Agradecimentos:

Agradecer é saber incluir em nossos sucessos àqueles que aplaudem as nossas conquistas; é reconhecer que não se alcança o próximo degrau sem a ajuda de nossos parceiros; é dividir a alegria de um momento, enfim, é sentir que o sucesso valeu a pena.

Assim sendo, agradeço em primeiro lugar, àqueles que agradecem todos os dias por fazerem parte da minha vida: meu pai. Meu pai, por ser, mesmo sem saber, a mais perfeita personificação da palavra exemplo. Minha mãe, por ter escolhido a mim como eterno companheiro dessa jornada complexa da vida. Pai e mãe, obrigado pelo suporte de hoje e sempre.

Agradeço, com a mesma intensidade, meus irmãos, Fabio e Guilherme. Família é a nossa primeira escolha, nosso maior amparo e nossa eterna companhia. E isso tudo se torna minha principal alegria por causa de vocês. Fabio, companheiro de muitos momentos, com o cuidado digno de um doutor a qualquer hora. E Guilherme, que de semelhanças e diferenças, preenche o espaço mais especial no meu coração.

Aos meus avô, avós, tios, tias e primos, que espalhados por todo o globo, formam o meu porto mais seguro e me dão a certeza que, bem próximo ou nem tanto assim, são sempre família.

À minha outra família. Tão especial e importante. Um grupo de homens e mulheres que começaram, desde criança, a formar uma identidade comum. Pessoas que viveram o mais intenso dos sentimentos juntos no lugar mais querido. Amigos que dividiram momentos que nunca terminaram, que fazem parte, hoje, da minha vida mais feliz e que sempre serão dignos do meu “eu te amo”.

A todos os meus professores ao longo de todo o curso. Cada um preencheu uma importante lacuna de um novo engenheiro. Em especial aos professores Leonardo de Bona Becker e Marcos Barreto de Mendonça, que com um “X” vermelho aqui e um “parabéns” ali, me mostraram pela primeira vez a grandiosidade e responsabilidade do que representa um verdadeiro engenheiro.

À equipe técnica da Soloteste Engenharia LTDA., que disponibilizou todo o conhecimento, equipamento e tempo necessários para a realização do meu trabalho. Aprendi muito. E retribuirei com toda a minha intensidade.

Agradeço a todos que cruzaram, mesmo que sem querer, a minha vida. É só assim que sentimos que valem a pena.

Àquele que, em todo o lugar, nos Guia a toda parte.

A todos vocês, o meu sincero “muito obrigado”.

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica/ UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Civil.

Análise da Correlação entre a Resistência ao Arrancamento de Grampos (q_s) e o Índice de Resistência a Penetração (N_{spt}) aplicada a um Projeto de Solo Grampeado

Renato Goldbach

Setembro de 2011

Orientadores:

Leonardo De Bona Becker

Marcos Barreto de Mendonça

Curso: Engenharia Civil

Devido ao dinamismo da engenharia civil que expandiu os limites urbanos com o passar dos anos, há uma necessidade grande de se dominar as técnicas de construção civil, entre quais destaca-se aqui as de estabilização de taludes.

Este presente trabalho traz a análise da correlação da resistência ao arrancamento de grampos empregados em estruturas de solo grampeado e o índice de resistência à penetração (N_{spt}) obtido a partir de sondagens a percussão. Essa correlação visa estimar o atrito lateral do grampo (q_s) necessário para o desenvolvimento de projetos de estabilização de taludes através de solo grampeado.

Para tanto, foram realizadas sondagens a percussão e ensaios de arrancamento de grampos em um talude na cidade do Rio de Janeiro onde estava sendo empregada a técnica de solo grampeado. Os resultados foram comparados com àqueles observados por outros pesquisadores, verificando-se que não existe ainda uma relação proporcional entre os dois parâmetros comparados de forma geral. O tipo de solo, a forma de injeção dos grampos também influenciam para a determinação do q_s . Foram realizadas análises da estabilidade através do programa GeoSlope, utilizando os parâmetros obtidos pelas sondagens e ensaios realizados, com objetivo de se definir o projeto de estabilização.

Palavras-chave: Resistência ao arrancamento de grampos, Resistência à Cravação (N_{spt}), Estabilidade de Taludes, Solo Grampeado.

Abstract of Undergraduate Project presented to Politecnica/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Civil Engineer.

Analysis of the Correlation between the Pullout Strength of Nails (q_s) and the Index of Penetration Resistance (N_{spt}) applied to a Soil Nailing Project

Renato Goldbach

September/ 2011

Advisors:

Leonardo De Bona Becker

Marcos Barreto de Mendonça

Course: Civil Engineering

Due to the dynamism of civil engineering that expanded the city limits over the years, there is a great need to master the techniques of civil construction, among which we highlight here the slope stabilization.

This present work contains the analysis of the correlation of Pullout Strength of Nails used in soil nailing structures and the index of penetration resistance (N_{spt}) obtained from the percussion drilling. This correlation is to estimate the friction side of the nail necessary for the development of projects for stabilization of slopes through soil nailing.

To this end, the polls were held percussion drilling and pullout tests on a slope in the city of Rio de Janeiro where the technique was being used soil nailing. The results were compared with those observed by other researches, verifying that there is not a proportional relationship between the two parameters compared in general. The type of soil, an injection staples also influence the determination os q_s . Stability analysis were performed through the program GeoSlope using the parameters obtained by the drilling and tests, in order to define the stabilization project.

Keywords: Pullout Strength of Nails, Crimping Resistance, Slope Stability, Soil Nailing.

Índice

1. Introdução	01
1.1. Considerações Iniciais	01
1.2. Objetivos do Trabalho	02
1.3. Métodos Empregados	02
1.4. Apresentação da dissertação	02
2. Revisão Bibliográfica	03
2.1. Solo Grampeado	03
2.2. Sondagens a Percussão	20
3. Descrição da obra estudada	27
3.1. Aspectos Gerais da Obra	27
4. Procedimentos e Ensaios realizados e análises dos resultados	31
4.1. Análise tátil-visual do talude	31
4.2. Sondagens a percussão	32
4.3. Execução dos Grampos	34
4.4. Ensaios de Arrancamento	39
4.5. Análise dos Resultados dos Ensaios	47
4.6. Comentários sobre os Resultados Obtidos	56
5. Conclusão	57
6. Referências Bibliográficas	58
Anexos	61
A.I – Levantamento Topográfico	62
A.II – Sondagens	63
A.III – Perfis Geológicos	70
A.IV – Aferição do Macaco	72
A.V – Planilha de Dados dos Ensaios de Arrancamento	73

1. Introdução

1.1. Considerações Iniciais

A necessidade de ocupação de locais cada vez mais distintos, com formação geológica cada vez mais desfavorável, fez da engenharia geotécnica, com o passar dos anos, ganhar mais importância.

No que se diz respeito à estabilidade geomecânica dos terrenos para a implantação de intervenções antrópicas, existem, atualmente, diversos procedimentos que foram sendo desenvolvidos ao longo da história, que contemplam diferentes técnicas de engenharia.

Uma solução bastante empregada é a técnica de solo grampeado, onde através de inclusões sub-horizontais semi-rígidas resistentes a flexão composta denominadas grampo se obtém o reforço do solo. Essa técnica foi aplicada de maneira intuitiva no Brasil, na década de 70, na construção de túneis. Atualmente, análises de estabilidade em que simulam o efeito do reforço têm levado a soluções mais econômicas.

A dificuldade para a realização de ensaios que visam a obtenção da resistência por atrito lateral do grampo (q_s) faz com que tais parâmetros sejam grosseiramente estimados. Tal procedimento, normalmente, faz com que o q_s seja excessivamente superestimado, resultando obras desnecessariamente caras, tornando-as, algumas vezes, economicamente inviáveis. Encontram-se na literatura técnica específicas correlações entre o q_s e o índice de resistência à penetração (N_{spt}) medido nas sondagens à percussão. Entretanto a quantidade de dados experimentais para tal correlação é bastante escassa, ainda mais no caso de solos brasileiros.

O presente trabalho contribui para a estimativa de q_s através dessa correlação entre o q_s e o N_{spt} . Para tal, foram realizados ensaios de arrancamento de grampos e sondagens a percussão em uma obra no bairro do Alto da Boa Vista, Rio de Janeiro.

O trabalho apresenta o desenvolvimento dos ensaios e os resultados obtidos. A correlação entre q_s e N_{spt} é avaliada comparando os resultados com os de outras pesquisas existentes na literatura.

Dessa forma, procura-se buscar soluções mais econômicas para essa técnica de estabilidade, bem como incentivar a prática de ensaios geotécnicos que garantam essa economia nos mais diversos projetos de engenharia.

1.2. *Objetivos do Trabalho:*

Os objetivos deste trabalho são:

- obter dados experimentais que contribuam para a correlação $q_s \times N_{spt}$;
- realizar a análise de estabilidade de talude com a obra de solo grampeado considerando os resultados obtidos;
- fazer uma avaliação das considerações do projeto real frente ao estudo realizado.

1.3. *Métodos Empregados:*

A correlação ($q_s \times N_{spt}$) será obtida através de sondagens a percussão em pontos pré-determinados para o presente estudo e ensaios de arrancamento de grampos no talude no mesmo eixo de execução das sondagens. As análises de estabilidade do talude serão realizadas através do programa de computador (GEO-SLOPE), empregando-se o método de Morgenstern-Price.

1.4. *Apresentação da monografia:*

Este trabalho é desenvolvido em sete capítulos, conforme exposto a seguir:

Após a introdução, é apresentada uma revisão bibliográfica sobre os conceitos teóricos abordados na pesquisa: soluções de contenção em solo grampeado, ensaios de arrancamento de grampos e seus resultados, sondagens a percussão, correlações já estudadas entre q_s e N_{spt} ;

No capítulo seguinte é descrita a situação da intervenção geotécnica na qual o presente trabalho está baseado, com desenhos e informações que possam facilitar o entendimento do problema;

No quarto capítulo, abordam-se os procedimentos experimentais realizados para esta pesquisa, seus resultados e a análise dos mesmos. São apresentados os procedimentos adotados para a realização das sondagens a percussão, dos grampos em solo grampeado e dos ensaios de arrancamento nos grampos. Também é feita a análise de correlações entre os parâmetros q_s e N_{spt} , a partir dos dados obtidos;

O capítulo subsequente apresenta a conclusão do trabalho;

E por fim, são apresentadas as referências bibliográficas utilizadas no estudo para a elaboração dessa monografia.

2. Revisão Bibliográfica

2.1 Solo Grampeado

Neste item discorre-se sobre a descrição da técnica de solo grampeado e ensaios de arrancamento de grampo. Tais informações foram obtidas a partir dos trabalhos de Springer (2006), Feijó (2002), Lima (2002) e Geo-Rio (2000).

2.1.1 – Descrição geral da técnica

No que tange a estruturas de contenção, existem inúmeras técnicas já consolidadas para esta finalidade. Dessa forma, vale destacar os muros de arrimo, que podem ser feitos com diversos tipos de materiais – concreto, pedra rachão, gabião, solo-cimento, etc – a terra armada, a micro-ancoragem o solo compactado e reforçado, entre outras. Uma das técnicas bastante consolidadas e utilizadas em larga escala no país é o solo grampeado (ou solo pregado, “soil nailing”).

Tal procedimento possui essa nomenclatura pois é definido pela introdução de elementos (grampos) resistentes a tração, ao momento fletor e ao esforço cortante.

O grampo é um elemento resistente à tração (barra de aço de diferentes tipos possíveis no mercado, fibras, resinas, entre outros materiais) e é introduzido no solo por meio de cravação (grampo cravado) ou em um pré-furo no terreno (solo e/ou rocha), preenchido com calda de cimento ou argamassa (grampo injetado). Ambos os processos trazem o mesmo objetivo para o grampo instalado.

A contenção em solo grampeado é utilizada em situações há problemas quanto a estabilidade do talude, podendo ser empregada tanto em terrenos naturais como previamente escavados. A figura 1 traz a representação dessas duas formas de uso da técnica.

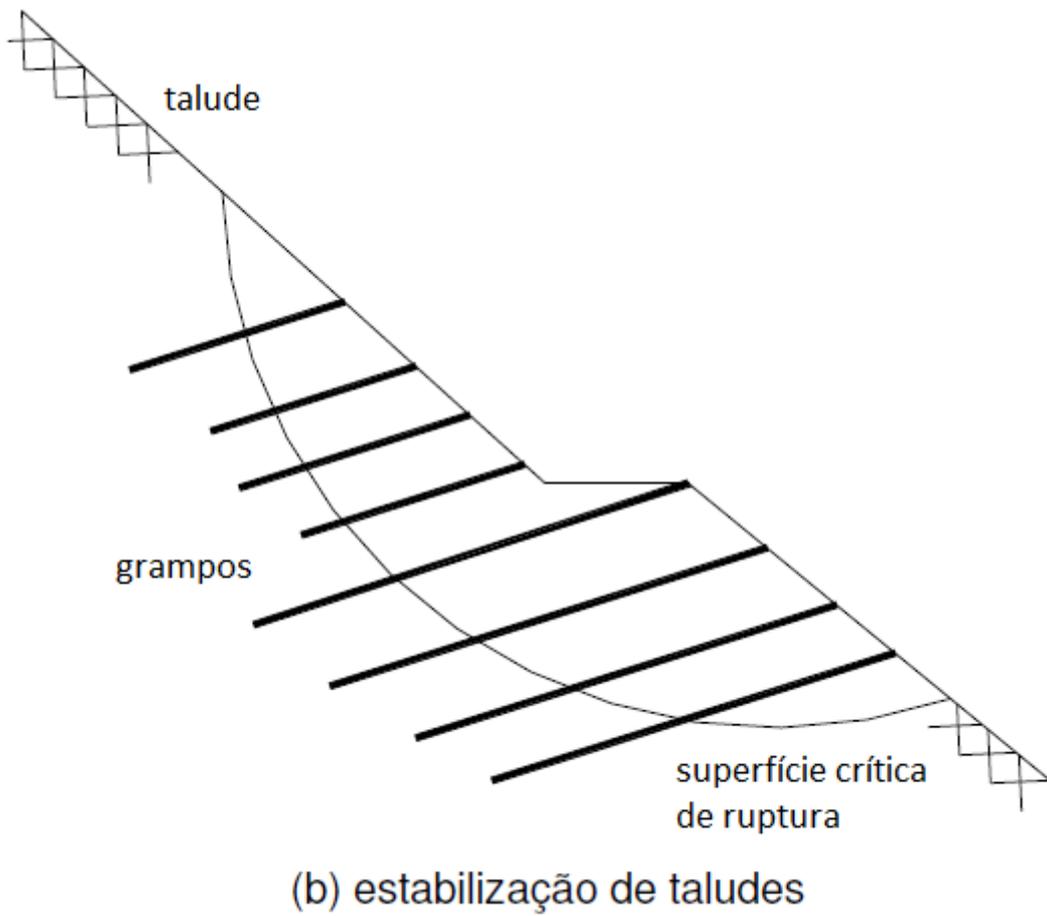
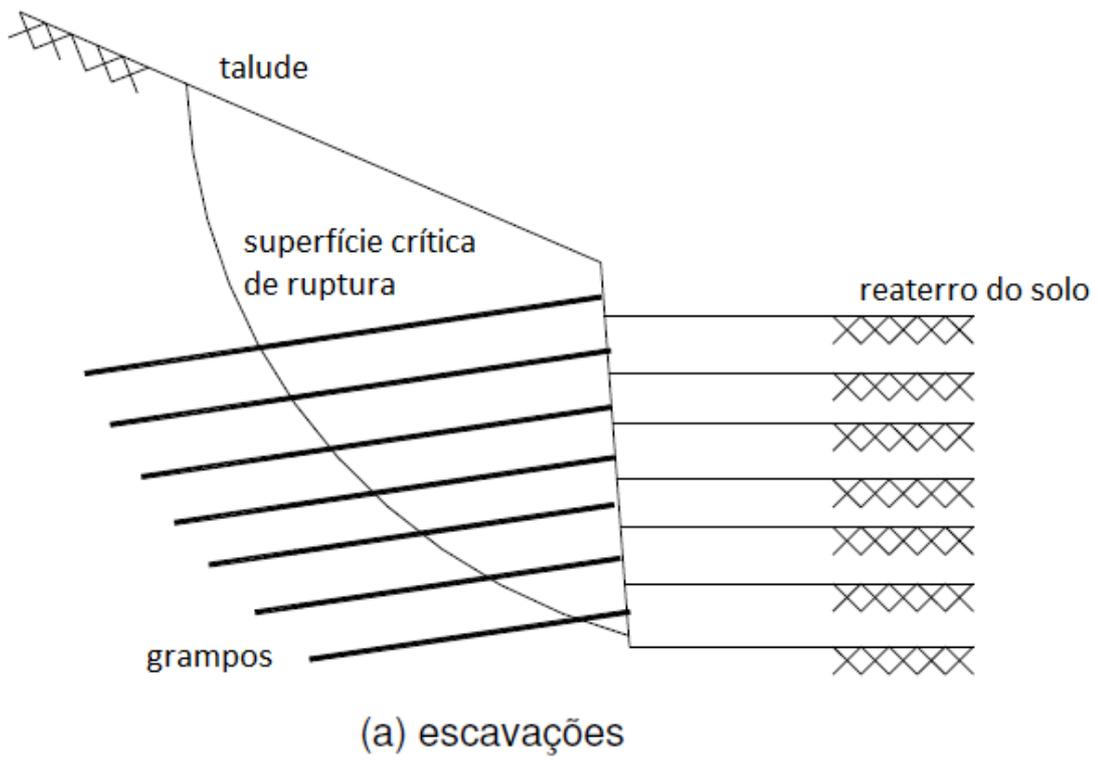


Figura 1: Aplicações da Técnica de Solo Grampeado (GeoRio, 1999)

No caso de escavação, a mesma deve ser feita em etapas, avançando a medida que vai sendo executada a contenção para cada altura escavada para que a estabilidade esteja garantida. Em alguns casos, na direção longitudinal, a escavação é feita em nichos para também garantir a estabilidade temporária. A prática nos mostra que os avanços máximos para cada etapa da escavação são determinados principalmente pelo tipo de solo a ser contido devendo ser estipulado de acordo com as análises de estabilidade nas diferentes etapas do corte. A Tabela 1 traz valores típicos de alturas de escavação em relação ao tipo de solo encontrado, por Gassler (1990) e Clouterre (1991).

Tabela 1: Tipos de solo e altura de escavação, Clouterre, 1991 (Apud Spinger, 2003)

Solo	Altura de escavação em cortes vertical (m)
Silte	1,2 a 2,0
Argila	1,5 (normalmente adensada) 2,5 (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)

Os grampos podem ser executados em maciços que estejam saturados e com o nível d'água acima do grampo. Os elementos metálicos também podem estar suscetíveis a condições adversas, como alto índice de corrosão, variações de temperatura, devendo ser submetido a procedimentos especiais que previnam a degradação do mesmo.

Os equipamentos de perfuração ou cravação devem perturbar o mínimo possível o talude, uma vez que sua estabilidade não é satisfatória. Tal preocupação deve ser bastante discutida nas etapas de planejamento da obra, para evitar problemas durante a execução.

No caso de escavações, são quatro etapas constituintes para a execução da contenção em solo grampeado em cada nicho: escavação da camada desejada, perfuração do solo, introdução dos elementos resistentes (grampo) e proteção da face.

No caso de estabilização de solos naturais com a técnica de solo grampeado, apenas as três etapas finais são necessárias.

A figura 2 ilustra as etapas de execução dos grampos, acima descritas.

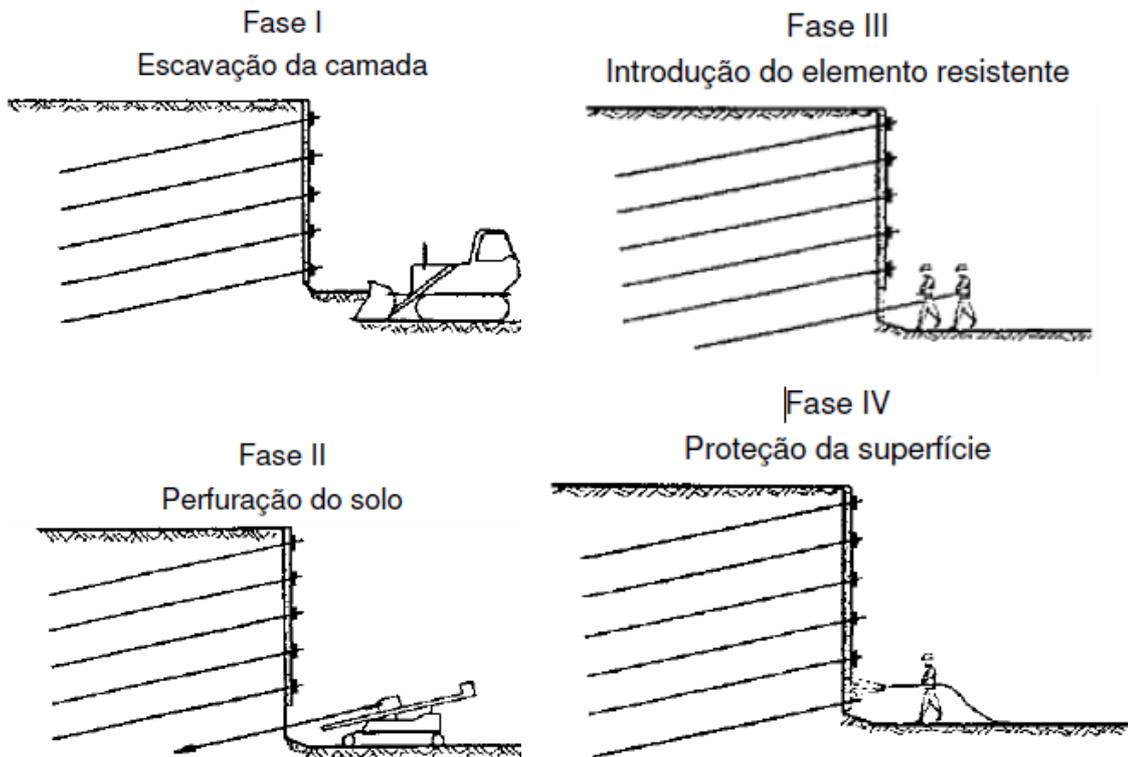


Figura 2: etapas construtivas de contenção em Solo Grampeado (adaptado de Clouterre, 1991)

2.1.2: Execução dos Grampos

Como já citado anteriormente, existem dois procedimentos para a execução dos grampos. A primeira, com grampos injetados, é feita a partir de um pré-furo, com o subsequente preenchimento do mesmo com argamassa ou calda de cimento. A segunda, com grampos cravados, só há a necessidade da cravação do elemento metálico no solo.

Novas pesquisas vêm trazendo ao mercado matérias sintéticas do plástico reforçado por fibras, na substituição dos materiais metálicos, mais usados ainda no país. Essa troca se deve a vantagem dos sintéticos em não sofrerem com a corrosão, e possuírem uma resistência a tração bem maior do que o aço comum, com um peso específico menor. Porém, seu valor comercial ainda não está competitivo.

2.1.2.1: Grampos Injetados

Os grampos injetados são executados no talude por meio da execução de pré-furos. Conforme descrito em Springer (2006), esses furos podem ser classificados como simples, quando são feitos apenas com um trado manual ou equipamento a percussão e/ou equipamento motorizado e não há o revestimento interno das paredes do furo; ou como dupla, onde o furo é executado com equipamentos de sonda rotativa ou ainda combinados com equipamentos de percussão, e há o revestimento interno. Tal perfuração possui uma pequena inclinação para facilitar o futuro preenchimento do furo.

No processo de perfuração, se usa água ou ar comprimido. Lama bentonítica não é recomendada, pois ela diminui o atrito entre o solo e o grampo, perdendo eficiência do mesmo. Mas quando ela for usada, é necessário efetuar uma boa lavagem do furo com a calda de cimento.

Após a furação do terreno, é instalado e fixado o elemento de reforço. Na Tabela 2 é apresentada a relação de barras de aço comumente empregadas para execução de grampos.

Tabela 2: Alguns tipos de barras de aço (GeoRio, 1999)

Aço	Seção	Diâmetro (mm)
Dywidag Gewi ST 50/55	Plena	32
Dywidag ST 85/105	Plena	32
CA 50 A	Plena	Entre 12,5 e 32,0mm
CA 50 A	Reduzida com rosca	Entre 12,5 e 32,0mm
Rocsolo ST 75/85	Rosqueada	Entre 14,0 e 41,1mm
Incotep	Rosqueada	Entre 19,0 e 50,0mm
Resinex	Rosqueada	Entre 14,0 e 41,1mm

Após a instalação, das barras com o auxílio de espaçadores (centralizadores) a cada 3,0m, preenche-se o espaço vazio entre o furo e o grampo com calda de cimento ou argamassa. Tal injeção é realizada com bomba de injeção e uma mangueira que é colocada no interior do furo realizando a injeção de forma ascendente (do fundo do furo para a superfície), garantindo que todo o furo esteja preenchido ao final.

Pode ser utilizado um expansor de calda de cimento, aditivo que evita a retração e, conseqüentemente, a diminuição do atrito solo-grampo. Outro aditivo recomendado é o acelerador de cura, que reduz os prazos de execução do reforço.

A figura 3 mostra uma seção típica de um grampo injetado. Repara-se a colocação dos espaçadores com a função de garantir a correta posição do grampo dentro do furo, e evitar o contato do mesmo com o solo – seção continua da calda de cimento.

A extremidade do grampo pode ser fixada com o conjunto placa e porca, somente dobrada ou com a cabeça livre (simples corte).

O revestimento da face não tem função estrutural para a estabilização do talude, mas somente para evitar processos erosivos e pequenas rupturas entre os grampos. As opções de revestimento são concreto projetado. Tela de alta resistência, blocos pré-moldados e revegetação.

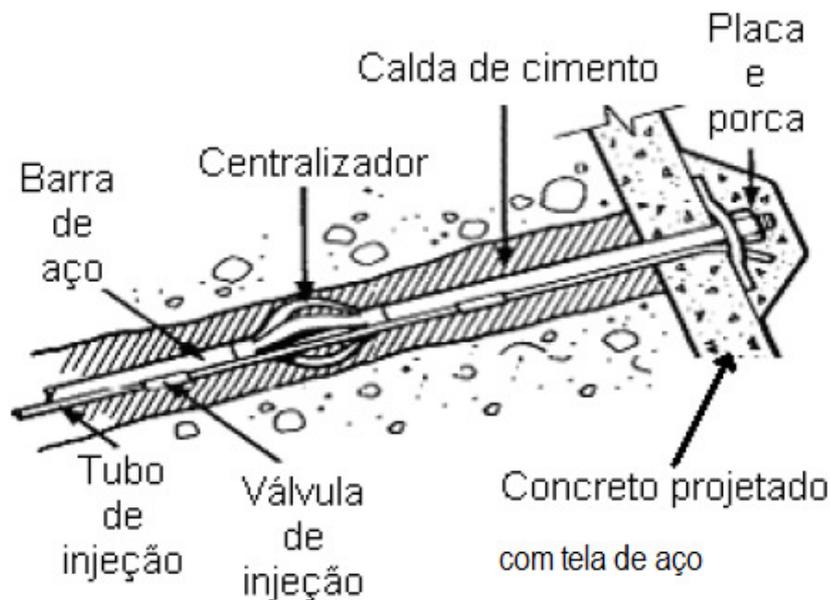


Figura 3: Seção Típica de grampos injetados (Detalhe), Springer (2006)

2.1.2.2. *Grampo Cravados*

Os grampos cravados são introduzidos diretamente no solo e podem ser executados com equipamentos mecânicos ou de maneira manual. Dependendo do tipo de solo, fica impossibilitada a cravação manual. Essa técnica não é uma prática brasileira comum.

A cravação dos grampos é bastante comum em túneis NATM (New Austrian Tunneling Method), devido a sua rápida execução. Porém a resistência ao arrancamento é, usualmente, bem menor que a de grampos injetados.

Esse procedimento de execução de grampos não pode ser utilizado quando na presença de pedregulhos e é não aconselhado quando na presença de argilas, pois o atrito gerado entre o contato do grampo com o solo é bastante pequeno.

2.1.3. *Considerações sobre o Dimensionamento de Estruturas em solo grampeado*

Não existe uma metodologia padrão ou única para o dimensionamento de uma estrutura de solo grampeado. A realização de projetos de solo grampeado implica na definição dos seguintes parâmetros relativos ao reforço: comprimento (L), ângulo de instalação (α), espaçamento vertical (S_v) e horizontal (S_h). As bibliografias pertinentes apresentam diferentes enfoques em relação às premissas de cálculo. Em alguns casos, o maciço reforçado é considerado com comportamento semelhante ao de um muro de gravidade. Sendo assim, o solo reforçado deve ser verificado quanto ao deslizamento, ao tombamento, à capacidade de carga do solo de fundação e à estabilidade global.

Existem alguns métodos de cálculo de cunho internacional para o dimensionamento dessas estruturas. Na Europa, utilizam-se, com frequência, o método Francês (Clouterre, 1991) e o Alemão (Stocker, 1979), enquanto, nos Estados Unidos, é utilizado o método de Davis (Shen *et al.*, 1981). De forma complementar, foi desenvolvido o método Cinemático (Juran *et al.*, 1990), que permite estimar as forças máximas de tração e de cisalhamento atuantes nos reforços e a localização da superfície de ruptura. Esses métodos foram detalhadamente comparados por Clouterre (1991), Christopher *et al.* (1990) e Juran *et al.* (1990).

Todos os métodos mencionados admitem um mecanismo de ruptura no qual o maciço reforçado é dividido em uma zona ativa e uma zona passiva. O limite entre as duas regiões é definido pela localização, em cada reforço, do ponto de máxima força

axial. A força axial é desenvolvida a partir do deslocamento do solo, causado pela descompressão lateral (escavação). As análises de estabilidade global são feitas considerando-se os esforços estabilizantes dos reforços atuando nesta cunha ativa. Entretanto, os métodos de cálculo diferem entre si quanto à forma da superfície de ruptura, quanto ao método de cálculo do equilíbrio das forças atuantes e quanto à natureza das forças (Zirlis *et al.*, 1998).

No Brasil, entretanto, não há uma metodologia padrão bem definida para o dimensionamento do sistema solo grampeado. A prática de dimensionamento baseia-se em metodologias de equilíbrio limite, em que os fatores de segurança são obtidos a partir de superfícies de ruptura pré-estabelecidas. Este fato faz com que o dimensionamento da estrutura reforçada dependa da magnitude dos parâmetros de resistência do solo e da resistência ao cisalhamento no contato solo/reforço (q_s).

2.1.4 Ensaio de Arrancamento de Grampos:

No Brasil, não existe uma norma reguladora para ensaios de arrancamento de grampos. Dessa forma, o que rege essa atividade é um conjunto de recomendações e procedimentos obtidos na literatura específica do tema.

O dimensionamento da contenção em solo grampeado é realizado através do seu limite último. Dessa forma, um importante fator a ser considerado é a resistência ao arrancamento (q_s). Dessa forma, o principal objetivo do ensaio em questão é definir essa resistência para o projeto e a execução da contenção.

A carga axial resistente do grampo (T_n) é uma força de estabilização na contenção que representa a resistência ao arrancamento do mesmo, conforme demonstrado na figura 4..

T_n é definido, portanto como:

$$T_n = \pi \cdot D \cdot q_s \cdot L_b, \text{ onde,}$$

T_n : carga axial de tração no grampo

D: diâmetro da perfuração

q_s : resistência ao arrancamento mobilizada

L_b : comprimento da zona passiva do grampo

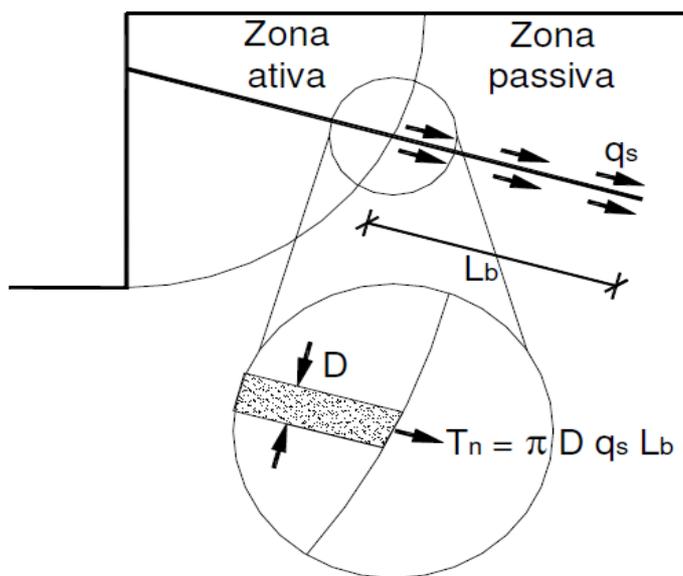


Figura 4: Representação da ação do grampo na estabilização de taludes, Ortigão e outros, 1993 (Apud Springer, 2006)

Quando a carga axial chega ao seu valor limite (T_n), temos que a resistência ao arrancamento é máxima.

A resistência q_s é o parâmetro geomecânico mais importante nos projetos de solo grampeado. Na prática, esse parâmetro é estimado com base na experiência de projetos anteriores e em outros parâmetros ou ensaios de campo. Sua verificação pode ser feita através de ensaios de arrancamento, conforme será explicado a seguir.

O ensaio de arrancamento de grampos consiste na aplicação de estágios de carga de tração, através de um conjunto macaco-bomba-manômetro devidamente aferido por órgãos competentes, no grampo (barra de aço engastada no terreno). Em cada estágio de carga, deve-se aguardar a estabilização da mobilização do grampo e é registrado o deslocamento da cabeça do grampo. Esse deslocamento é comumente medido com o auxílio de dois extensômetros diametralmente posicionados, a fim de se corrigir possíveis erros de prumo do ensaio. O sistema de medição de deslocamento deve estar fixo em uma região que não esteja afetada pelo ensaio de forma que sua movimentação seja nula. Dessa forma, pode-se garantir uma boa referência para as leituras.

Os incrementos em cada estágio são dados até que a carga máxima seja atingida.

Os dados de *cargas aplicadas x deslocamentos medidos* são plotados numa curva e nela é possível a definição da carga máxima de tração ($T_{n.max}$).

Com esse valor em mãos, é possível se calcular a resistência de arrancamento a partir da equação:

$$q_s = \frac{Tn_{\max}}{\pi D L_b}$$

onde

q_s : Resistência ao arrancamento mobilizada;

Tn_{\max} : Máxima carga axial de tração cortante no grampo;

D: Diâmetro da perfuração;

L_b : Comprimento ancorado ou injetado do grampo.

Um exemplo de Curva *Deslocamento x Força* está representada na Figura 5:

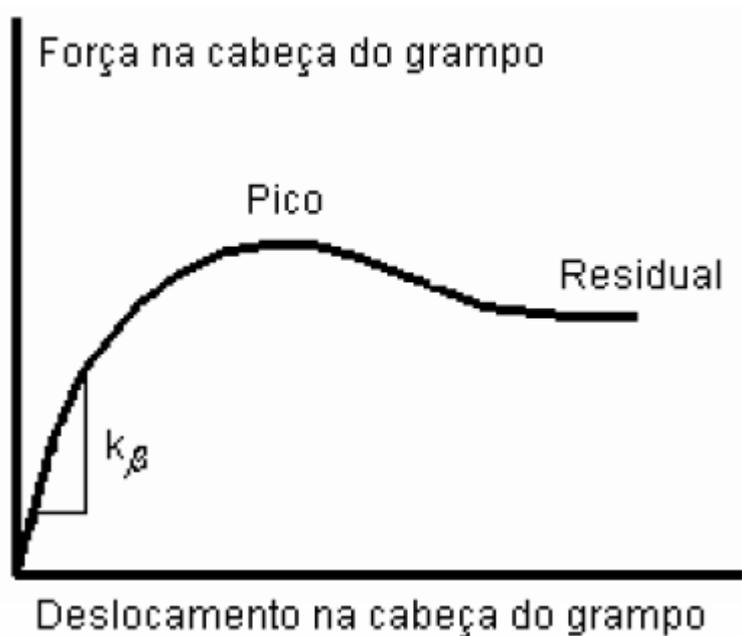
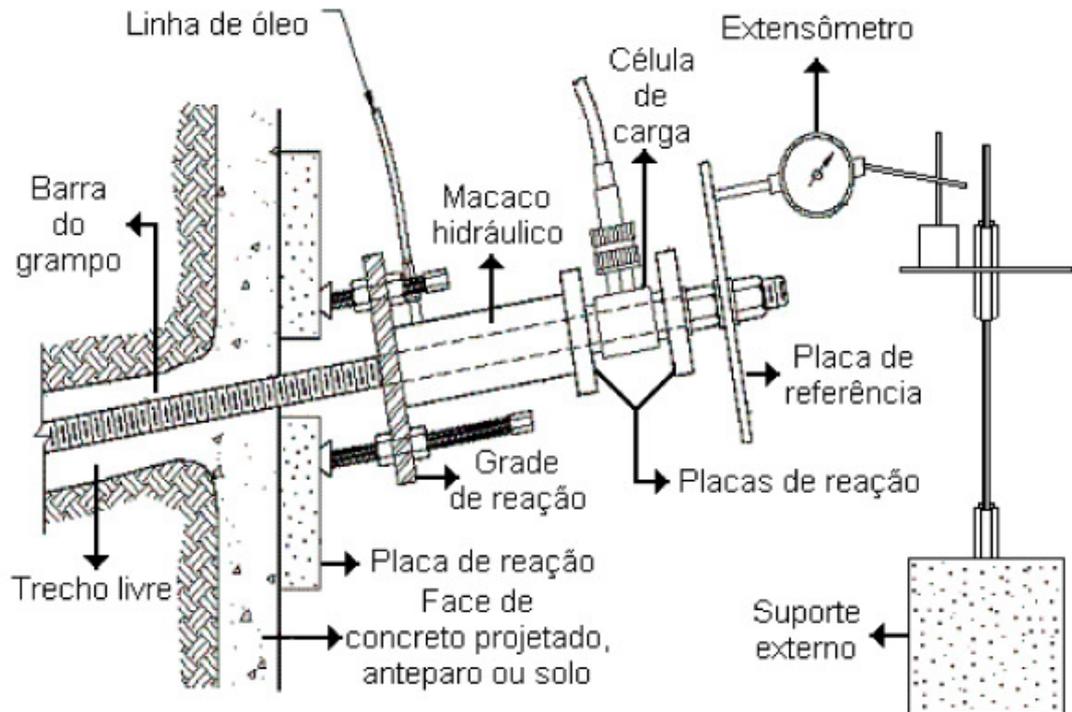


Figura 5: Curva Deslocamento x Força de um ensaio de arrancamento (Clouterre, 1991)

Esse é um ensaio destrutivo e o grampo arrancado não poderá ser utilizado para a estrutura de contenção. O procedimento de instalação do mesmo deverá ser igual ao dos grampos projetados para a estrutura a fim de se ter resultados coerentes para o dimensionamento e retro-análise do solo grampeado.

O esquema de montagem do ensaio segue a imagem a seguir, na figura 6



: **Figura 6:** Montagem de um ensaio de arrancamento (Lazart e outros, 2003)

O sistema deve ser alinhado para garantir que toda a carga aplicada seja de tração. Por isso, há a necessidade de que o macaco e o eixo do grampo estejam em prumo. Os extensômetros devem acompanhar o alinhamento, pra poder ter medidas mais precisas.

Os ensaios são realizados em grampos com um trecho livre (não injetado) na porção inicial e um trecho injetado com calda de cimento. Para garantir o trecho livre do grampo deve se usar um obturador, limitando o trecho a ser preenchido com a calda. Caso não haja essa barreira e a calda preencha o trecho inicial (mesmo que a barra esteja com graxa para evitar aderência com a calda), durante o ensaio, o carregamento do macaco gera compressão na face do projetado e no solo, gerando esforços de compressão no início do grampo, o que não é recomendado.

Existem diversos fatores que podem influenciar a resistência de arrancamento do grampo: o tipo de barra implantada, o tipo de solo, o fator água-cimento da calda injetada, entre outros fatores. Alguns estudos aprofundam as influências de certos fatores, porém outros não têm sua influência comprovada ainda, como é o caso do tipo de perfuração do solo para a instalação do grampo.

2.1.5 Correlação N_{spt} x Q_s :

Na literatura existem trabalhos que abordam a correlação entre a resistência ao arrancamento de grampos devido ao atrito lateral, q_s , e o índice de resistência à penetração, N_{spt} . Essas correlações, baseadas em ensaios de arrancamento, são bastante úteis por facilitar a obtenção de q_s a partir do ensaio SPT frequentemente realizados.

O ensaio SPT será abordado no item 2.2.

A seguir, são apresentadas correlações propostas por diferentes pesquisadores.

Essa correlação é uma forma empírica de se obter um parâmetro de projeto de contenção.

Destacam-se o trabalho de Bustamante e Doix (1985) cujos resultados são apresentados na figura 7 e Ortigão e Palmeira (1997), cujos resultados estão apresentados na figura 8.

O valor de q_s foi obtido por Bustamante & Doix (1985) através da pressão limite do pressiômetro de Menárd (p_l) e no índice de resistência do solo (N_{spt}).

A Figura 7 ilustra os resultados de q_s a partir de ensaios de arrancamento com um estágio de injeção e ensaios com múltiplos estágios de injeção. As correlações são validas apenas para tipos de solos estudados por esses autores. Por se tratar de um estudo francês, os procedimentos dos ensaios são distintos em relação à pratica brasileira. Dessa forma, a comparação entre os dados obtidos nesse trabalho e essa correlação proposta pelos autores supracitados fica comprometida.

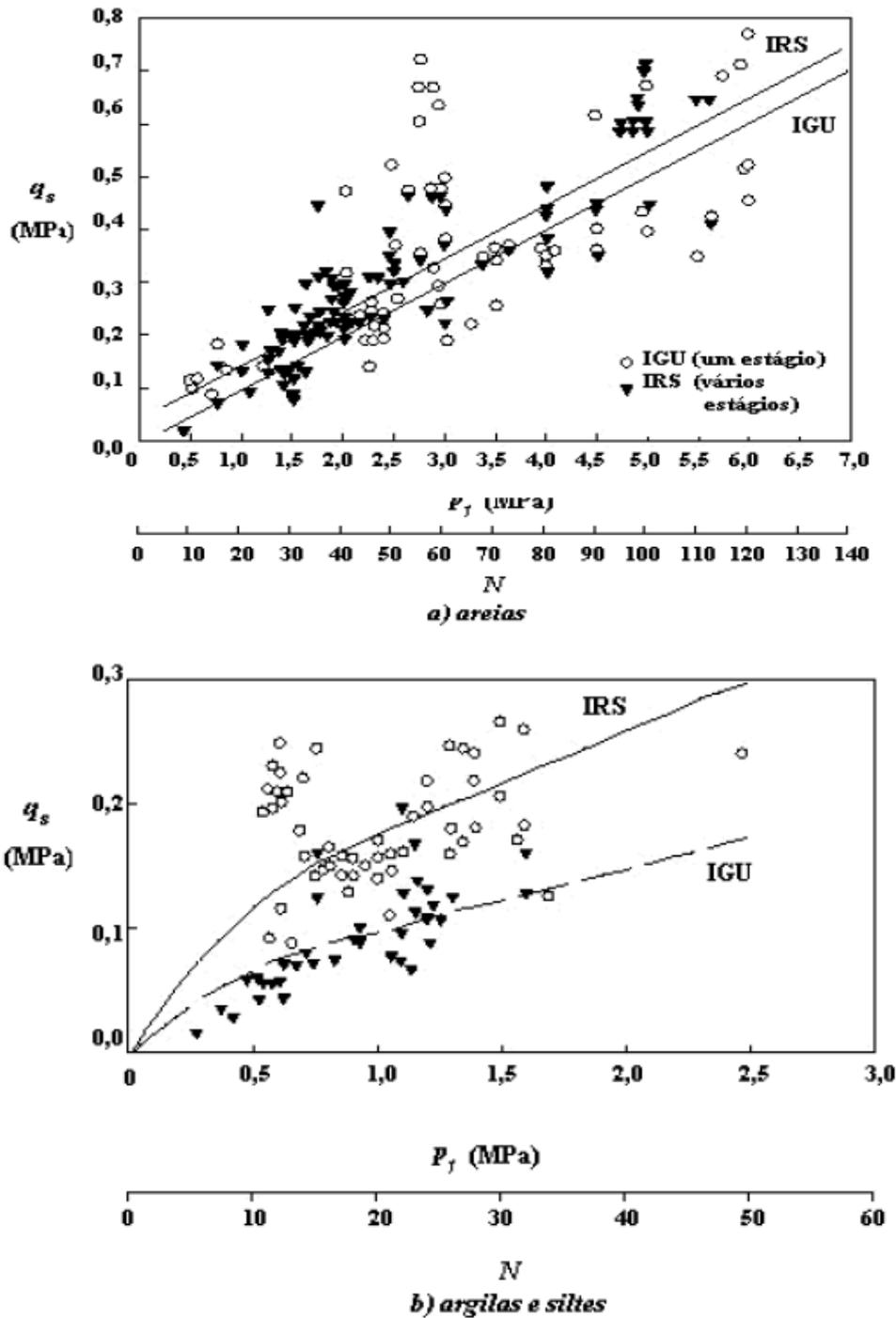


Figura 7: Correlação de Bustamante e Doix, 1995 (apud Feijó, 2002)

Os resultados apresentados por Bustamante e Doix (1985) mostram dispersão considerável. A correlação também apresenta valores de N_{spt} muito elevados, os quais podem ser atribuídos, provavelmente, a diferentes procedimentos de ensaio adotados nos locais onde os dados foram atribuídos. Já que a energia de cravação do martelo varia de acordo com o processo adotado em cada país. Com uma maior energia, se obtém um valor menor para N_{spt} e vice-versa.

A ilustração abaixo (Figura 8) representa a correlação proposta por Ortigão e Palmeira (1997) em ensaios de arrancamento com calda de cimento injetada sem pressão em solos no Rio de Janeiro, São Paulo e Brasília.

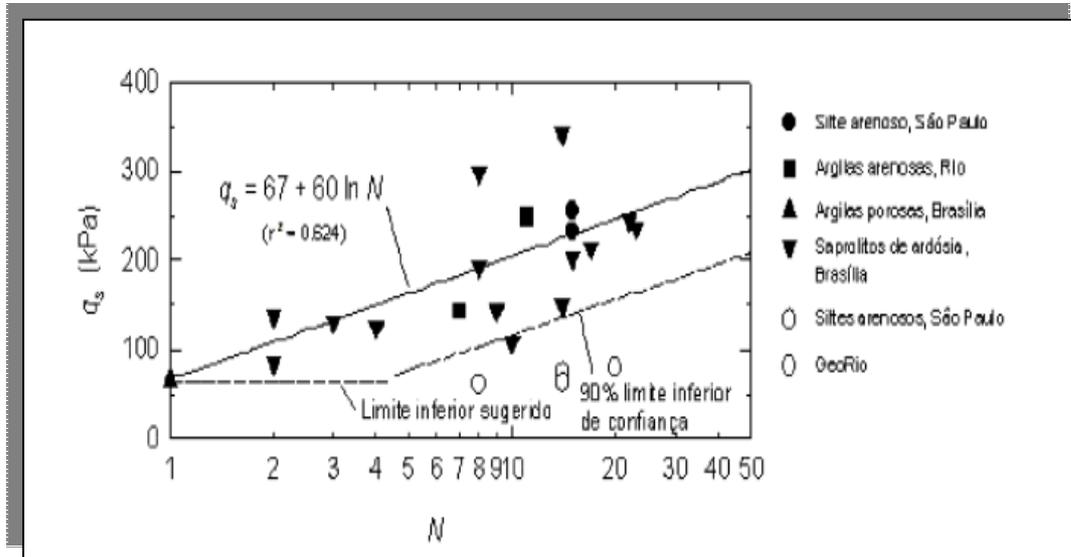


Figura 8: Correlação de Ortigão e Palmeira, 1997 (Apud Feijó, 2002)

Ehrlich e Silva (2012) compilaram diversos resultados de ensaios de arrancamento realizados por diferentes autores no Brasil, com grampos submetidos a uma, duas ou três injeções.

Na figura 9, estão apresentados os resultados compilados pelos autores.

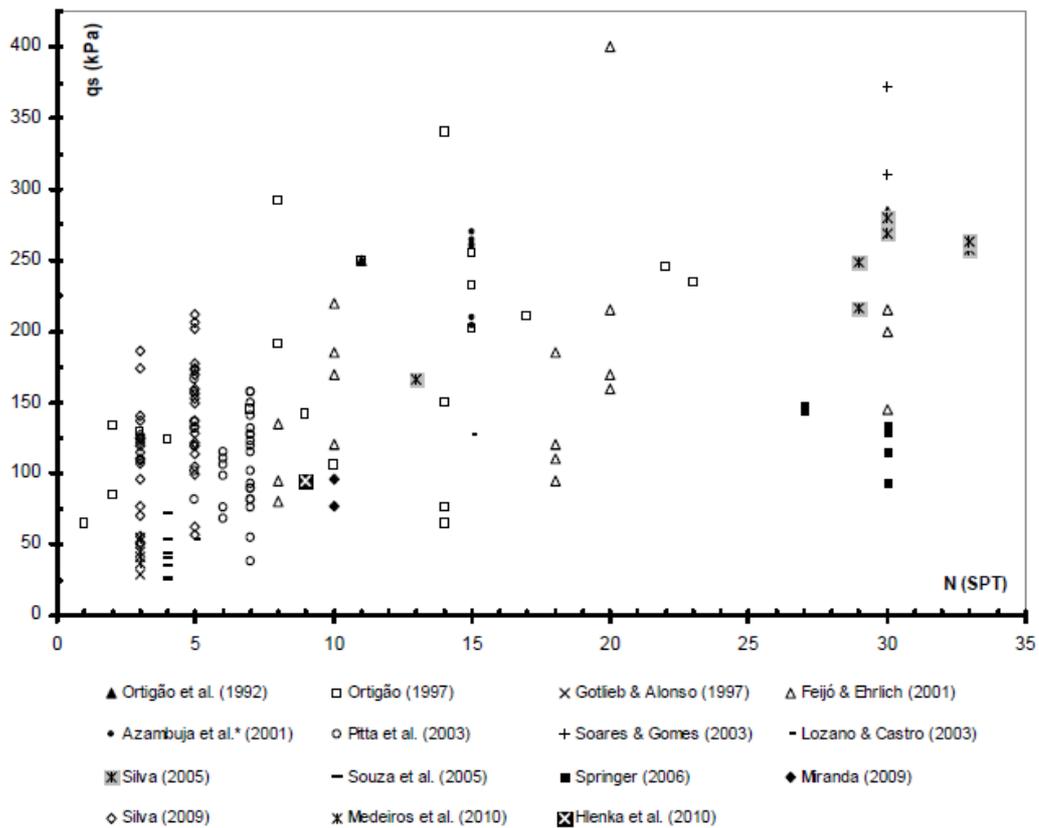


Figura 9: Resultados de ensaios de arrancamento no Brasil (Ehrlich e Silva, 2012)

Além de correlações por meios de gráficos com resultados plotados, como os já mencionados, existem algumas fórmulas propostas que correlacionam os dois índices, conforme tabela 3.

Tabela 3: Correlações propostas por diversos autores para $q_s \times N_{spt}$ (PRD/RAL - PCE)

REFERÊNCIA	CORRELAÇÃO	OBSERVAÇÃO
Ortigão (1997)	$Q_{s1} = 50 + (7,5 \times N_{spt})$	Correlação empírica de dispersão acentuada para estimar o valor da resistência ao arrancamento em grampos injetados
Ortigão et al. (1997)	$Q_{s2} = 67 + [60 \times \ln(N_{spt})]$	Correlação empírica de dispersão também acentuada ($r^2 = 0,624$) para estimar o valor da resistência ao arrancamento em grampos injetados
Ortigão et al. (1997) e Springer (2006)	$Q_{s3} = 20,57 \times \ln(N_{spt}) + 104,57$	Correlação empírica de grande dispersão ($r^2 = 0,26$). Ressalta-se que para valores reduzidos de N_{spt} esta dispersão é bastante acentuada, provavelmente devida à variabilidade de tipos de solos selecionados pelos autores
Springer (2006)	$Q_{s4} = 45,12 \times \ln(N_{spt}) - 14,99$	Correlação empírica de menor dispersão ($r^2 = 0,68$) e mais específica para solo residual de gnaíse
Sugestão de Springer (2006)	$Q_{s5} = 67 + 60 \times \ln(N_{spt})$, para $N_{spt} < 30$ $Q_{s5} = 45,12 \times \ln(N_{spt}) - 14,99$, para $N_{spt} > 30$	Sugestão de Springer (2006) para estimar o valor da resistência ao arrancamento em solos residuais de gnaíse
Liew (2005):	$Q_{s6}(\text{inf}) = 5 \times N_{spt}$ (Limite Inferior) $Q_{s6}(\text{sup}) = 6 \times N_{spt}$ (Limite Superior)	Correlação empírica usada para estimar o valor da resistência ao arrancamento em solos residuais na Malásia
Chow e Tan (2006)	$Q_{s7}(\text{inf}) = 3 \times N_{spt}$ (Limite Inferior) $Q_{s7}(\text{sup}) = 5 \times N_{spt}$ (Limite Superior)	Correlação empírica usada para estimar o valor da resistência ao arrancamento na Malásia

Vale ressaltar que os procedimentos para execução do ensaio de SPT podem ser distintos de acordo com a localidade. Dessa forma, o procedimento realizado no Brasil apresenta diferenças do realizado na Malásia, por exemplo. Assim sendo, vale ressaltar a necessidade de conhecer os processos executivos a fim de trabalharmos com correlações empíricas com resultados coerentes.

Para a estimativa de q_s , Elias e Juran (1991) apresentam o levantamento de resultados para grampos em diversos tipos de solos e rochas e do método de perfuração (Tabela 4). Segundo Lazard et al. (2003), os valores são conservadores e podem ser usados como estimativa preliminar de projeto.

Tabela 4: Estimativa da resistência ao arrancamento de solos e rochas (Elias e Juran, 1991)

Material	Método Construtivo	Tipo de solo / rocha	qs (Kpa)
Rocha	Perfuração rotativa	Calcário	300 – 400
		Filito	100 – 300
		Giz	500 – 600
		Dolomita	400 – 600
		Dolomita fissurada	600 – 1000
		Arenito	200 – 300
		Basalto	500 - 600
Solos não-coesivos	Perfuração rotativa	Areia / cascalho	100 – 180
		Areia siltosa	100 – 150
		Silte	60 – 75
		Colúvio fino	75 - 150
Solos não-coesivos	Invólucro dirigido	Areia cascalho	190 – 430
		Colúvio	100 - 180
Solos não-coesivos	Augered	Areia grossa siltosa	20 – 40
		Areia fina siltosa	65 – 90
		Areia silto argilosa	60 - 140
Solos não-coesivos	Jet grouted	Areia	380
		Areia / cascalho	700
Solos de grãos finos	Perfuração rotativa	Argila siltosa	35 - 50
Solos de grãos finos	Invólucro dirigido	Silte argiloso	90 - 140
Solos de grãos finos	Augered	Argila mole	20 – 30
		Argila dura	40 – 60
		Argila siltosa dura	40 – 100
		Argila arenosa	90 - 140

2.2 Sondagens a Percussão

Neste item é descrito a técnica de sondagem à percussão. Tais informações foram obtidas a partir dos trabalhos Danziger et al (2008), da Norma Brasileira NBR 6484/2001 e trabalhos técnicos da empresa Soloteste Engenharia LTDA (2004).

As investigações do subsolo através de sondagem a percussão são procedimentos altamente disseminados no Brasil, com a finalidade de se obter um parâmetro geotécnico de resistência do solo, além de se conhecer o tipo solo existente, sua estratigrafia e a posição do nível d'água no momento da execução da sondagem. O ensaio SPT (Standard Penetration Test) compõe uma das etapas da sondagem a percussão, sendo um dos procedimentos mais utilizados para determinação de parâmetros geomecânicos do solo, devido a sua simplicidade de execução e baixo custo.

Essas investigações são normatizadas pela ABNT através da NBR6484.

Seus principais componentes são: (figuras 10 a 14)

- Tripé de sondagem;
- Hastes;
- Revestimento;
- Amostrador-padrão (barrilhete);
- Cabeça de bater;
- Martelo (65kg);
- Trados (concha e helicoidal)
- Trépano de lavagem;
- Motor (Bomba) para a circulação de água.

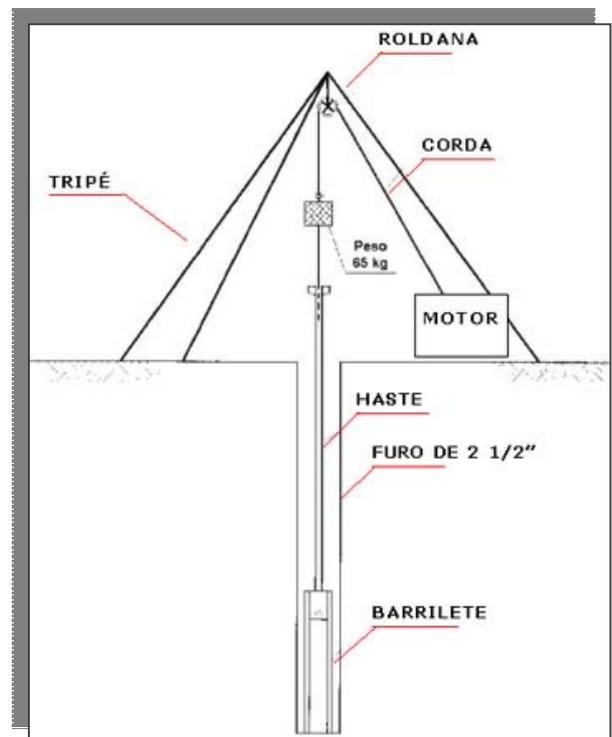


Figura10: Representação do equipamento de sondagem a percussão



Figura 11: Detalhe de 1,0m de haste



Figura 12: De cima para baixo: o trado, a faca de lavagem e o amostrador-padrão



Figura 13 bomba usada no processo de lavagem



Figura 14: detalhe do martelo padronizado

A investigação é composta pelas seguintes etapas:

- Locação do ponto a ser sondado - recomenda-se locação através de instrumentos topográficos, para maior exatidão;
- Instalação do equipamento, com prumo do próprio tripé de sondagem;
- Início da perfuração com o trado-concha, até 1,0m de profundidade ou encontrar o nível d'água;
- Realizar, metro a metro, o ensaio de *SPT – Standard Penetration Test* - (ensaio de penetração) quando é realizada a penetração de amostrador padronizado no solo através de golpes igualmente padronizados, relacionando o número de golpes pra penetrar 03 (três) intervalos de 15cm.

O índice de resistência a penetração do solo, N_{spt} , consiste no número de golpes para fazer penetrar os últimos 30 cm. Amostras são retiradas de cada camada, com procedimentos de descida de hastes, seja com auxílio de trado-helicoidal (para trechos de solo antes de se atingir o nível d'água) ou procedimentos de lavagem do solo (após atingido o NA), onde o solo é desintegrado através de circulação de água, realizado com o trépano de lavagem;

- O ensaio é interrompido após alcançar resistência suficientemente elevada (definida em norma) ou quando encontrar algum obstáculo (rocha, matacão, blocos, entulhos, etc.) que seja impenetrável a percussão e ao trépano de lavagem. Nesse segundo caso, é realizado o ensaio de *lavagem por tempo*, para garantir essa impenetrabilidade.

Alguns procedimentos da sondagem estão ilustrados nas figuras 15 a 24.



Figuras 15 e 16: Montagem do tripé de sondagem no ponto pré-determinado



Figuras 17 e 18: Avanço do furo com trado - procedimento antes do NA



Figura 19: Avanço com circulação d'água



Figura 20: Ensaio de SPT – cravação do amostrador-padrão a partir de golpes com o martelo



Figura 21 e 22: amostrador aberto – em detalhe, a amostra coletada em um ensaio de cravação



Figura 23: amostra sendo armazenada



Figura 24: caderneta de campo sendo preenchida ao longo da sondagem

A sondagem a percussão é realizada na maioria das obras civis no Brasil, desde construção predial, onde o ensaio SPT pode ser o único para estimativa de parâmetros geotécnicos, até em obras complexas, como barragens, onde as sondagens são parte de uma campanha de investigações para um estudo mais detalhado das propriedades do solo.

A partir do ensaio SPT e das amostras analisadas in-loco e, posteriormente em laboratório através de análise tátil-visual, o solo encontrado em cada metro é classificado quanto a sua compactidade – no caso de areias e siltes arenosos – ou sua consistência – em caso de argilas ou siltes argilosos, conforme tabela 5 (NBR6484).

Tabela 5: Quadro dos Estados de Compactidade e Consistência dos solos (NBR6484)

Solo	Índice de resistência à penetração N	Designação ¹⁾
Areias e siltes arenosos	≤ 4	Fofa(o)
	5 a 8	Pouco compacta(o)
	9 a 18	Medianamente compacta(o)
	19 a 40	Compacta(o)
	> 40	Muito compacta(o)
Argilas e siltes argilosos	≤ 2	Muito mole
	3 a 5	Mole
	6 a 10	Média(o)
	11 a 19	Rija(o)
	> 19	Dura (o)

¹⁾ As expressões empregadas para a classificação da compactidade das areias (fofa, compacta, etc.), referem-se à deformabilidade e resistência destes solos, sob o ponto de vista de fundações, e não devem ser confundidas com as mesmas denominações empregadas para a designação da compactidade relativa das areias ou para a situação perante o índice de vazios críticos, definidos na Mecânica dos Solos.

Como resultado da investigação, o Boletim de Sondagem traz todas as informações do procedimento de campo e seus resultados, de forma padronizada por norma (Figura 25).

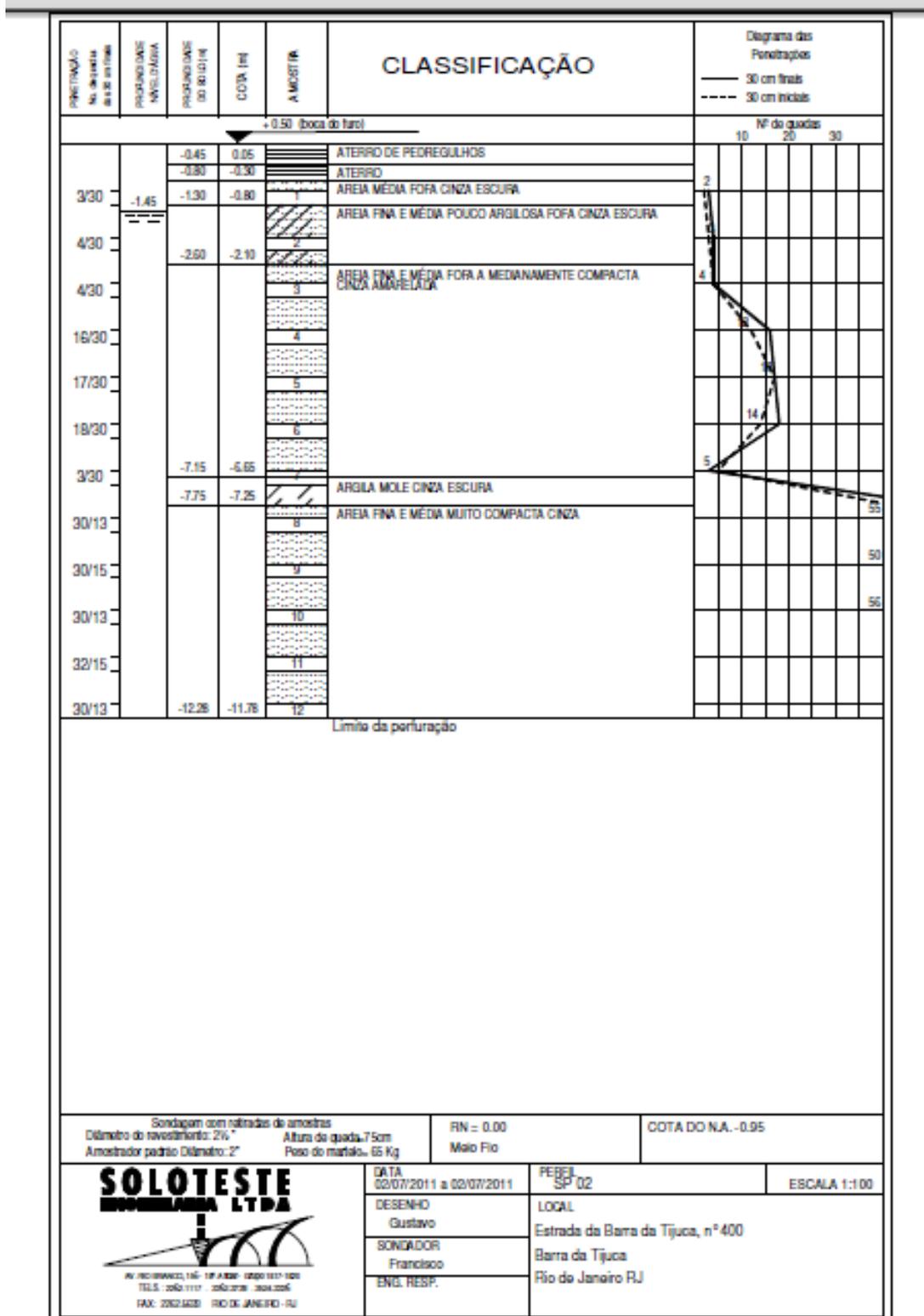


Figura 25: Exemplo de Boletim de Sondagem à Percussão

As sondagens a percussão, apesar da simplicidade, deve ter sua execução bastante controlada. Vários procedimentos e materiais devem ser continuamente controlados como a altura de queda do martelo, comprimento das hastes, linearidade da queda, bom funcionamento da roldana evitando perda de energia, as condições da penetração do amostrador, entre outros.

Como citado anteriormente, apesar de ser um ensaio largamente utilizado, servindo de referência para a estimativa dos parâmetros de resistência dos solos, o SPT não segue um mesmo procedimento em todos os países. Sensíveis diferenças podem ser observadas na execução do ensaio em algumas localidades, como processo de queda do martelo (automatizado ou manual, como no Brasil), uso de roldana entre outras.

Dessa forma, a eficiência da energia de cravação do sistema que chega até o amostrador é diferente para cada tipo de procedimento executado no ensaio. O marco inicial do estudo da eficiência de cravação é o paper – Energy Dynamics of SPT - de Schmertman e Palacios (1979) com base nos seus estudos datados de 1977.

O ensaio SPT possui uma energia teórica de cravação – E^* . cada procedimento fornece uma eficiência em relação ao E^* , dependendo das perdas totais no ensaio. A energia internacional de referência é de 60% da energia inicial, ou seja, 60% da energia teórica de queda livre E^* atinge o amostrador.

No Brasil, se admite que 72% a 84% da energia total (Energia teórica – E^*) do conjunto é transferida para o amostrador, e o restante é dissipado nas diversas etapas do processo de cravação. Cada país possui um processo específico, possuindo uma energia de queda particular a cada processo), e outras diferenças. Tais diferenças implicam em resultados distintos, exigindo correções para a referência internacional para serem utilizados dados de países com procedimentos distintos num mesmo projeto

. Mesmo com o ensaio já disseminado nas obras de engenharia, a atenção nos detalhes é fundamental para a obtenção de resultados confiáveis.

3. Descrição da obra estudada

3.1 Aspectos Gerais da Obra

No ano de 2008, o Colégio Internacional Everest, sito à Rua Rosalvo Costa Rego, 146 – Itanhangá resolveu expandir suas instalações. Dessa forma, contatou o órgão municipal Geo-Rio para que o mesmo pudesse avaliar a situação do talude em solo que suporta parte do terreno da escola, sobre o qual, era pretendida a execução de um novo prédio. A gerenciadora da escola contratou então a Empresa Soloteste Engenharia Ltda., empresa especializada em obras geotécnicas, para que a mesma pudesse apresentar um projeto para a contenção do talude e, posteriormente a execução do mesmo.

A solução escolhida para a contenção foi uma estrutura de solo grampeado com 220,0 metros de extensão com altura variando de 4,0 a 8,0 metros e grampos de 4,20 metros de comprimento com barra de 32 mm de diâmetro DYWIDAG, espaçados de 3,0m, horizontal e verticalmente. Devido às chuvas na região e o alto grau de erosão no solo residual do talude, além do sobrecarga que seria gerado com a nova construção, poderiam ocorrer escorregamentos, caso nenhuma intervenção fosse feita sobre o talude. Dessa forma, foi decidido executar uma contenção em solo grampeado, aprovada pela Escola.

Foram realizadas duas campanhas de sondagens a percussão. A campanha inicial, composta por quatro investigações (SP01 a SP04) teve como objetivo fornecer dados para o desenvolvimento do referido projeto de contenção, tendo sido realizada em outubro de 2010. Uma segunda campanha, feita em setembro do mesmo ano, teve como objetivo, fornecer dados mais específicos para o desenvolvimento desse trabalho. Esta foi composta de três novas sondagens (SP1A a SP3A).

Na figura 39, é apresentado o levantamento topográfico do local (que está representado também no Anexo A.I), com as indicações dos pontos das sondagem realizadas. Os boletins das sondagens são apresentados no Anexo A.II e analisados no item 4.2 dessa monografia. Foram traçados perfis geotécnicos com os resultados das sondagens, para trazer mais informações sobre o subsolo estudado, uma vez que eles não foram usados nas análises das correlações, que também estão apresentados em anexo (A.III).

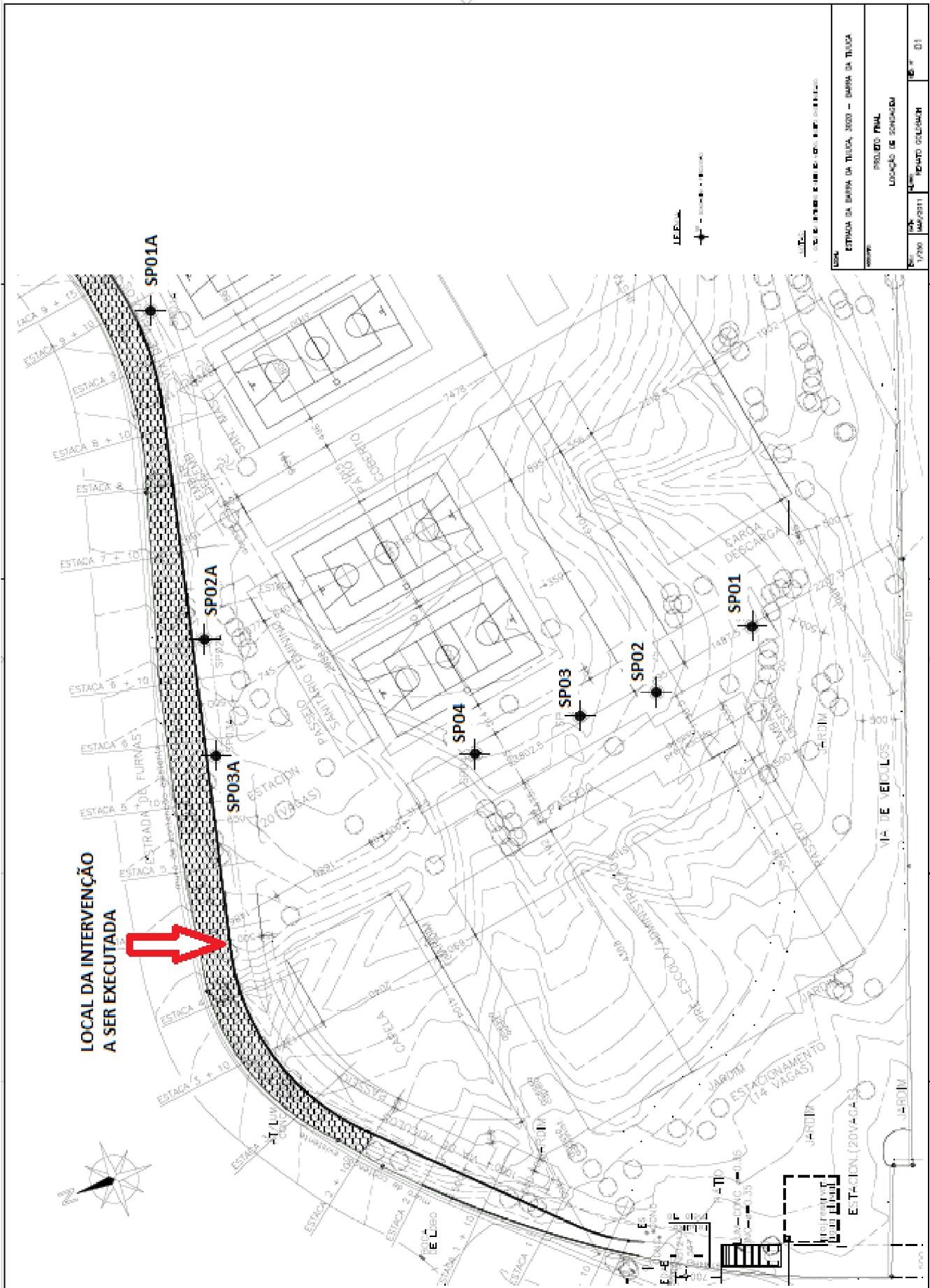


Figura 39: Levantamento Topográfico e Localização dos Pontos de Sondagem

Na figura 40, é apresentada uma imagem aérea da região obtida a partir do Google Maps com a identificação da posição da intervenção feita.



Figura 40: imagem aérea do local da obra – Colégio Everest, Itanhangá, Rio de Janeiro (fonte: Google Maps, 2011)

Aproveitando a estrutura preparada para a execução da obra, foi realizado um estudo para o melhor conhecimento da geotecnia local, visando o desenvolvimento do presente trabalho.

Foi constatada a predominância de solo residual, caracterizado como areia siltosa cinza e amarela com mica). Tal material apresenta algumas características peculiares.

O solo residual é caracterizado por manter propriedades herdadas da rocha de origem (bandamentos, falhas, planos de fraqueza, entre outras) e acaba sendo um solo bastante heterogêneo, devido a sua formação.

As figuras 41 e 42 mostram detalhes do solo encontrado no local do estudo (Itanhangá, 2011).



Material localizado na superfície do talude

Figura 41: Solo residual encontrado na área em estudo, antes da intervenção



Material localizado na superfície do talude

Figura 42: Solo residual encontrado na área em estudo, antes da intervenção

4 Procedimentos e Ensaio realizados e análises dos resultados

Nesse capítulo, serão apresentados os procedimentos de estudo do solo realizados no talude em questão e a análise dos resultados obtidos.

Os procedimentos realizados foram a análise tátil-visual preliminar do solo do talude, sondagens a percussão, a execução de grampos especiais para ensaios na estrutura de solo grampeado existente e o ensaio de arrancamento desses grampos.

As sondagens a percussão foram realizadas seguindo a norma brasileira NBR6484/2001 e seus resultados serão expostos e discutidos mais a frente. A metodologia de execução das sondagens seguiu os procedimentos normais, descritos no item 4.2.

Serão apresentados os procedimentos da execução e arrancamento dos grampos de forma mais detalhada, as normas seguidas, as dificuldades encontradas para a sua realização e os resultados obtidos.

Todos os procedimentos foram executados com o auxílio de funcionários da empresa Soloteste Engenharia Ltda., tanto na parte de campo, quanto nos procedimentos de laboratório e escritório, quando necessário.

4.1 Análise Tátil-Visual do Solo do Talude

Na primeira etapa, foi realizada uma análise tátil-visual do solo, onde se percebeu um material com características de solo residual de cor predominantemente amarelada. O material da superfície do talude se apresentava heterogêneo em algumas áreas, porém, na parte central, era mais homogêneo (silte amarelado). Não foi observada a presença do lençol d'água nesse talude, mas vale ressaltar que a análise foi realizada num período de poucas chuvas na cidade.

Abaixo, as figuras 43 a 46 ilustram o talude estudado.



Figura 43: Vista geral do talude com o reforço em solo grampeado



Figura 44: Vista geral do talude com o reforço em solo grampeado

- Superestrutura já existente – quadra poliesportiva
- Estrutura em solo grampeado em construção
- Tubulação existente
- Muro de pedras existente



Figura 45: Vista geral do talude com o reforço em solo grampeado



Figura 46: Vista frontal do talude com o reforço em solo grampeado

- Três linhas de grampos na estrutura em solo grampeado

4.2 Sondagens a Percussão

No dia 25 de Setembro de 2010 foram realizadas três sondagens a percussão (SP01A, SP02A e SP03A), respeitando a Norma ABNT NBR6484/2001. Os três pontos escolhidos para a realização das sondagens foram tais que pudesse ser traçado, a partir dos resultados, um perfil geotécnico um perfil longitudinal à face do talude contido, que caracterizasse o local.

Uma campanha inicial de sondagens (SP01, SP02, SP03 e SP04) já havia sido executada no mês anterior para a realização da obra. Dessa forma, foi possível traçar também um perfil transversal do subsolo.

O material recolhido com a amostragem das sondagens foi enviado para o laboratório da empresa Soloteste e foram analisados pelo geólogo responsável. Os resultados dos ensaios de SPT realizados ao longo dos três pontos de sondagem (SP01A, SP02A e SP03A), indicam uma camada superior composta por argila siltosa média, seguida de uma camada de silte arenoso medianamente compacto, sendo esse solo um solo residual e uma terceira camada composta de areia siltosa micácea, também solo residual. Após essa terceira camada, a sondagem foi interrompida, pois alcançou o seu limite, já que atingiu um trecho impenetrável a percussão e ao trépano de lavagem, dando por encerrada a sondagem. O nível d'água não foi encontrado.

No item 3.1 (figura 39) é apresentada a topografia local, com a indicação das sondagens realizadas.

As figuras 47 a 50 mostram etapas da execução das sondagens no local.



Figura 47: Avanço com trado



Figura 48: Avanço com trépano de lavagem



Figura 49: Ensaio de SPT sendo realizado



Figura 50: Amostra armazenada para análise tátil-visual em laboratório

4.3 Execução dos Grampos

Foram executados três novos grampos com a finalidade exclusiva de realização de ensaios de arrancamento. Esses novos grampos foram posicionados em uma mesma vertical, utilizando-se da estrutura em solo grampeado já executada no local junto ao alinhamento da sondagem SP03A. O concreto projetado na superfície do talude já estava preparado para essa execução, com o espaço aberto no concreto na posição (previamente definida) de cada um dos grampos.

Foi adotada uma altura distinta para a execução de cada grampo. Dessa forma, se faz possível uma análise da posição em relação à vertical do grampo com sua resistência ao arrancamento.

Os grampos foram executados a partir da técnica de grampos injetados e seguiu as orientações da prática comum, conforme exposto nas etapas descritas a seguir:

O processo de execução de todos os grampos foi o mesmo. E as etapas foram:

a) Perfuração do talude:

O avanço do furo foi realizado através da circulação de água (procedimento semelhante ao avanço com trépano de lavagem, em sondagens a percussão) e contou com o auxílio de uma bomba para realizar a circulação de água, mangueiras, e hastes com diâmetro externo de 7,5 cm. O diâmetro do furo executado foi o mesmo das hastes e o seu comprimento foi definido em 4,20m. A inclinação da perfuração foi de 15°,

como é usualmente usada em várias obras que adotam essa solução, inclusive a obra em questão.

Ao término da perfuração, foi executada a limpeza do furo com jato de água de dentro pra fora.

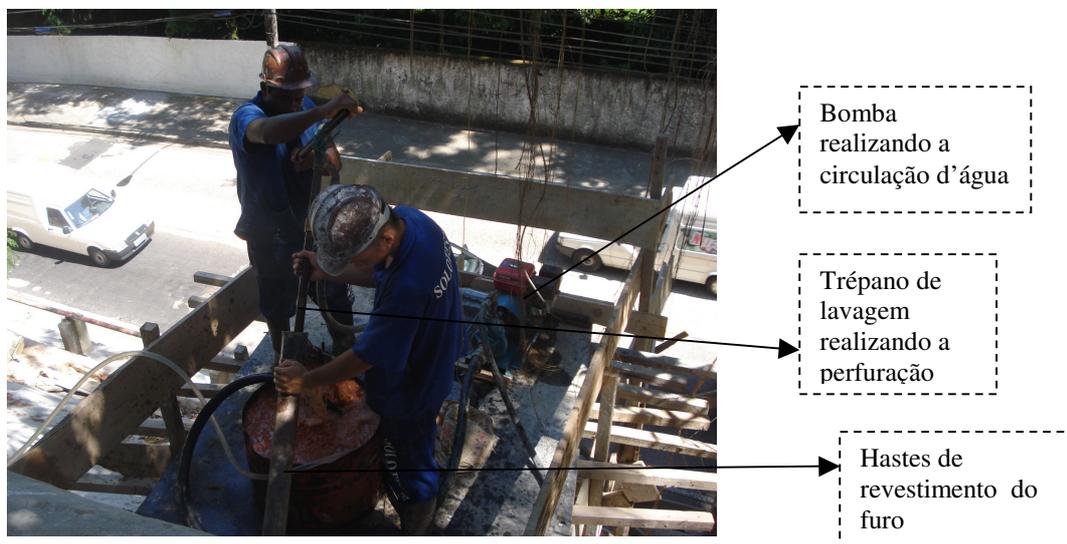


Figura 51: Perfuração do talude por lavagem com circulação de água

b) Inserção da barra de aço:

Após o furo ser devidamente executado, foi inserida a barra de aço. Foi utilizada uma barra de aço Dywidag ($\phi=32,0\text{mm}$ - ST85/105), com 4,20m de comprimento, sendo seus últimos 0,20m posicionados fora da perfuração no talude, dedicados à instalação e execução dos ensaios de arrancamento. Por questões de estudo, foi definido que o grampo teria um trecho ancorado (2,00m) e um livre (2,20m), para que o trecho ancorado ficasse afastado da região próxima à face do talude, onde as tensões verticais são reduzidas. Assim, foi colocado um obturador em cada barra, separando o trecho de 2,0m que seria ancorado posteriormente e o outro trecho de 2,20m que ficaria livre (sem calda de cimento). O obturador era composto de uma fatia retangular de esponja grossa ($e=10\text{ cm}$), ligada à barra com o auxílio de arame. Além do obturador, o trecho livre da barra foi revestido com um tubo de PVC, para ajudar a evitar qualquer tipo de aderência entre a barra e a calda de cimento.

Cada barra foi colocada com dois centralizadores, garantindo sua correta posição, centrada ao furo, possibilitando a formação de uma seção contínua de calda de cimento.



Figura 52: Detalhe do grampo sendo preparado: trecho livre de 2,20m revestido com tudo de PVC para evitar a aderência seguido de um trecho de 2,00m a ser ancorado



Figura 53: Colocação do grampo no interior do furo

c) Injeção da Calda de Cimento:

Com o grampo devidamente instalado dentro do furo e o obturador garantindo o confinamento da calda a ser inserida no trecho inicial apenas, foi realizada a injeção da calda de cimento. Essa injeção foi realizada com uma bomba injetora com a pressão da gravidade de dentro pra fora do furo. Para tal, a mangueira de injeção foi inserida até o final do furo e, junto a ela, foi inserido um tubo de retorno de PVC. Esse tubo de retorno atuava como um ladrão e servia como um indicador que o trecho a ser ancorado já estava preenchido em sua totalidade. Dessa forma, a injeção foi realizada e, ao ser observada a saída de calda de cimento pelo tubo-guia, a injeção era interrompida. O grampo foi realizado sem reinjeções.

A figura 54 apresenta um desenho esquemático do grampo e dos elementos constitutivos do processo executivo da injeção. As figuras 55 a 57 ilustram as etapas do processo executivo.

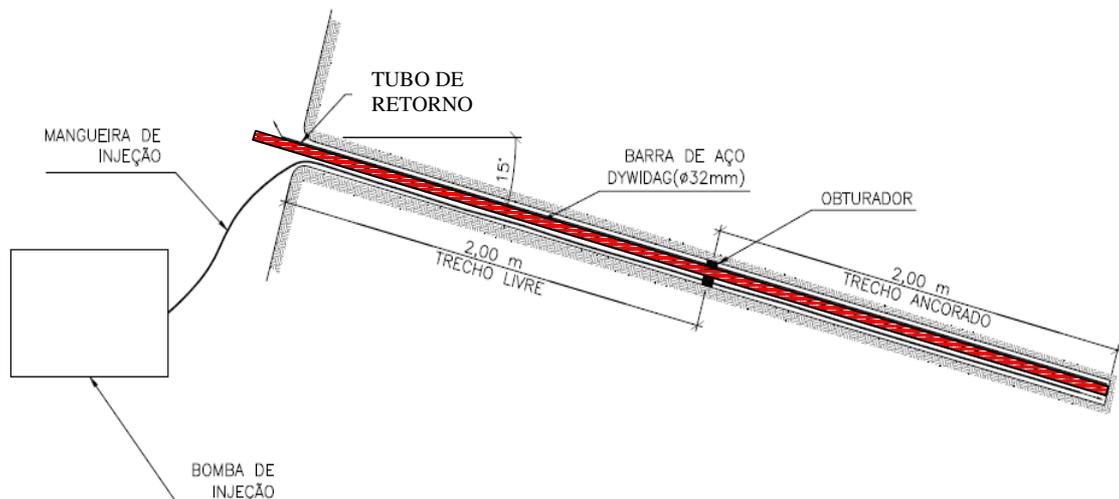


Figura 54: Desenho esquemático do grampo e dos elementos constitutivos do processo executivo da injeção



Figura 55: Tubo de retorno sendo inserido antes da injeção

Com a injeção completa do trecho ancorado do grampo, a execução do mesmo estava concluída. Assim, deixaram-se os grampos intactos por trinta dias para que a calda de cimento ganhasse a resistência necessária.



Figura 56: Detalhe do grampo executado – barra centralizada com o auxílio de centralizadores

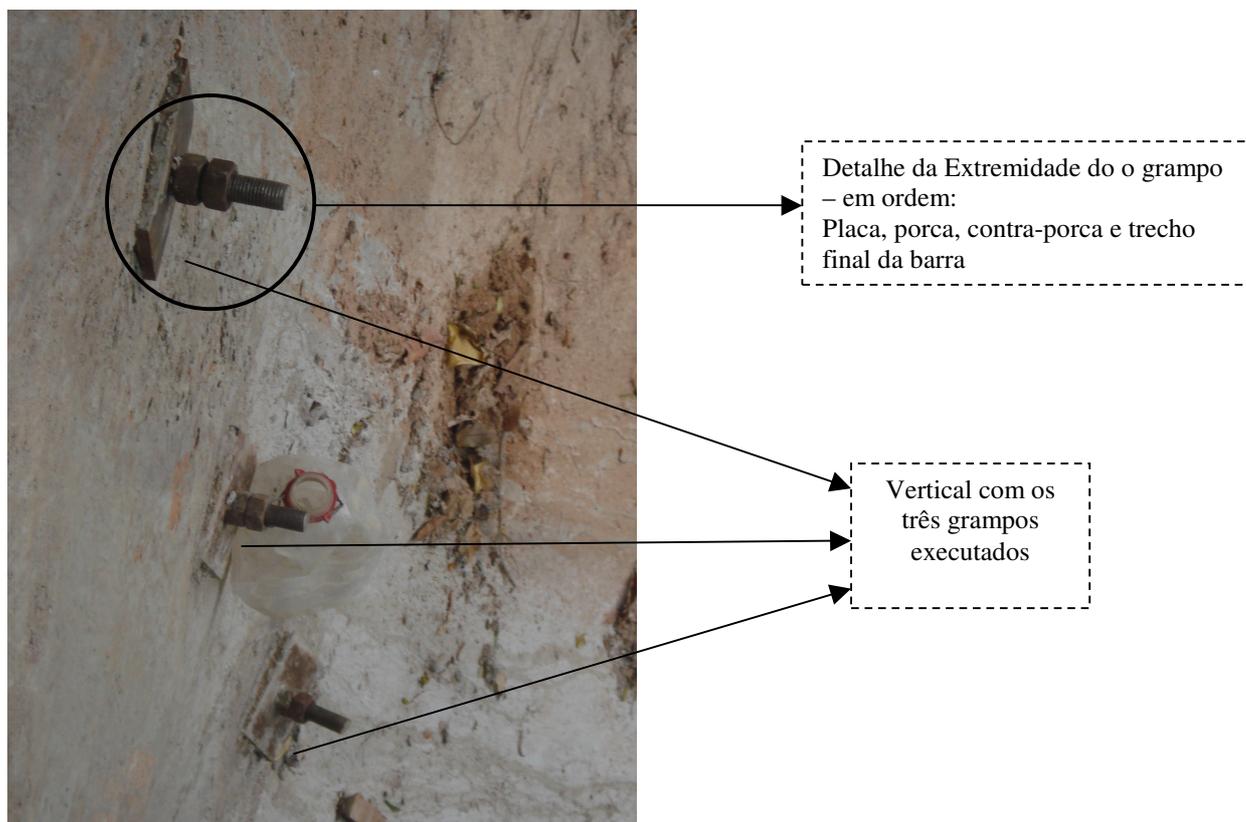


Figura 57: Grampos no dia seguinte da execução

4.4 Ensaio de Arrancamento

O último procedimento de campo realizado para o presente trabalho foi a realização de ensaios de arrancamento nos grampos executados.

O ensaio de arrancamento seguiu as orientações do Manual da GeoRio (2002) e suas etapas foram definidas a partir do trabalho Ehlich e Feijó (2002), com adaptações feitas para a melhor adequação à situação apresentada, conforme exposto a seguir.

Assim sendo, foram realizados 3 (três) ensaios de arrancamento e todos seguiram a mesma orientação.

O ensaio foi executado com um conjunto macaco-bomba-manômetro aferido pelo Laboratório de Engenharia Civil da Universidade Estadual do Rio de Janeiro (UERJ). No anexo A.IV dessa monografia, está apresentada uma cópia do Relatório de Aferição.

A instrumentação do ensaio foi composta por um extensômetro que foi fixado num ponto considerado indeslocável (chapa de aço de 2,0cm de espessura presa no talude afastada de 5,0m do ensaio), com sua ponta apoiada sobre o prolongador do grampo ensaiado. O extensômetro registrou as leituras de variação de deslocamento conforme a carga de tração era aplicada ao grampo.

As figuras 58 e 59 apresentam imagens da instrumentação realizada no ensaio.



Figura 58: chapa de aço usada de referência indeslocável



Figura 59: Detalhe dos extensômetros usados para as leituras de deslocamento do ensaio

As etapas do ensaio foram:

a) regularização da camada de concreto na superfície do talude

Duas semanas antes da realização do ensaio propriamente dito, foi executada uma base de concreto perpendicular ao grampo, de modo a regularizar a superfície do talude atrás da placa e servir de apoio ao sistema de reação do macaco e evitar desaprumos na realização do ensaio.

Mesmo assim, na realização do primeiro ensaio houve uma inclinação indesejada entre a superfície de concreto e a base do macaco, se fazendo necessário a escarificação de parte da superfície.

A figura 60 mostra em detalhe essa situação.



Figura 60: Detalhe da preparação da superfície de concreto para a realização do ensaio de arrancamento

b) instalação do conjunto macaco-bomba-manômetro

Após aguardar a resistência do concreto ser atingida, foi realizado o ensaio propriamente dito. Inicialmente foi instalado o conjunto macaco-bomba-manômetro. Como o talude possui uma inclinação elevada, todo o procedimento foi realizado sobre um andaime montado exclusivamente para o ensaio, conforme mostrado na figura 63.



Figura 61: Detalhe da bomba aferida



Figura 62: Detalhe do manômetro usado no ensaio



Figura 63: Imagem do andaime montado

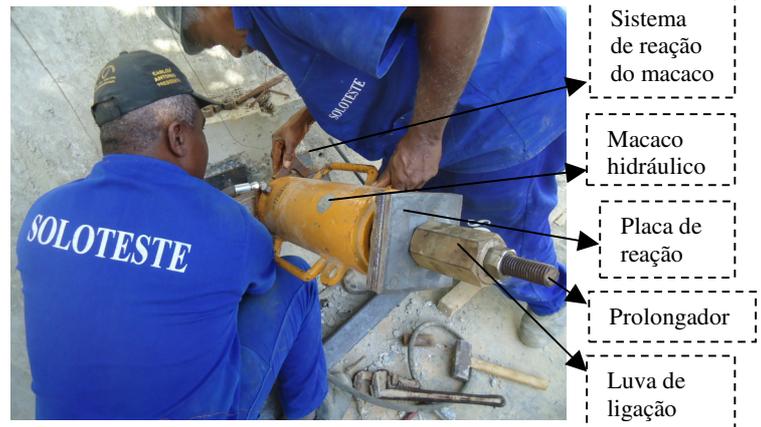


Figura 64: Macaco sendo posicionado para o ensaio

Dessa forma, o conjunto foi colocado sobre o andaime e instalado em cada grampo, para a realização dos ensaios. A instalação consistiu na fixação da base do macaco sobre a superfície de concreto, a instalação de um prolongador do grampo (barra de aço rosqueada de mesmo diâmetro, ligada ao grampo através de uma luva) e o posicionamento do macaco por fora do prolongador. Dessa forma, o equipamento estava pronto para aplicar o carregamento no grampo.

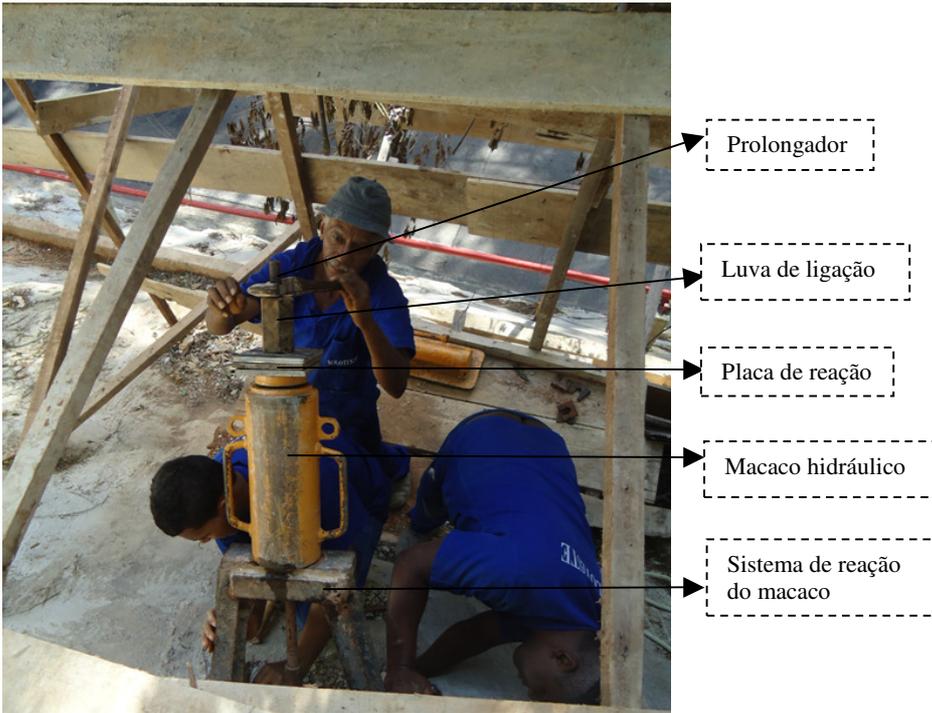


Figura 65: Montagem do Ensaio – base, macaco e prolongador instalados



Figura 66: Montagem do Ensaio – base, macaco e prolongador instalado

c) instalação da instrumentação

Com o conjunto pronto para iniciar o ensaio, foi posicionado o extensômetro que realizaria as leituras de deslocamento do prolongador, e conseqüentemente, do grampo. A instrumentação foi fixada num ponto considerado indeslocável e apoiada sobre a base do prolongador para, dessa forma, medir corretamente o deslocamento gerado pelo carregamento.

d) aplicação do carregamento com o auxílio da bomba do macaco



Figura 67: Detalhe da bomba para aplicação das cargas e do manômetro para sua leitura

O carregamento foi realizado a partir de um processo já estabelecido anteriormente no processo de preparação dos ensaios, junto aos orientadores. Assim, foi aplicado um primeiro carregamento apenas para a fixação de todo o sistema e em seguida as cargas foram aplicadas em estágios de 50KN, para os quais se aguardava a estabilização do deslocamento da barra em cada estágio. Todas as informações – carga aplicada em cada estágio, deslocamento gerado e tempo para estabilização – foram registrados para futuras análises.

O carregamento foi aumentado até que ocorresse o arrancamento do grampo, momento esse no qual o grampo não conseguia sustentar a carga aplicada e os deslocamentos continuavam a crescer. Nesse momento, a aplicação de carga era interrompida e o ensaio era dado por encerrado.

Vale notar que, durante a execução do segundo e terceiro ensaio, foi observado na superfície de concreto que serviu de apoio para o macaco trincas ocasionadas pelo elevado carregamento aplicado.

As figuras 68 e 69 trazem os detalhes das trincas geradas.



Figuras 68 e 69: Trincas geradas no concreto após a realização do ensaio

Com os dados de cada ensaio foram obtidos os deslocamentos do grampo para cada tensão lateral mobilizada, sendo:

$$Tensão\ Lateral = \frac{Carga\ Aplicada}{(\pi \times Diâmetro\ da\ Perfuração \times Comprimento\ Acorado)}$$

A resistência ao arrancamento do grampo (q_s) é o valor máximo alcançado pela tensão lateral.

Nestas curvas, apresentadas nas figuras 70 a 72, com os dados gerados por cada ensaio, é possível observar a resistência de arrancamento de cada grampo.

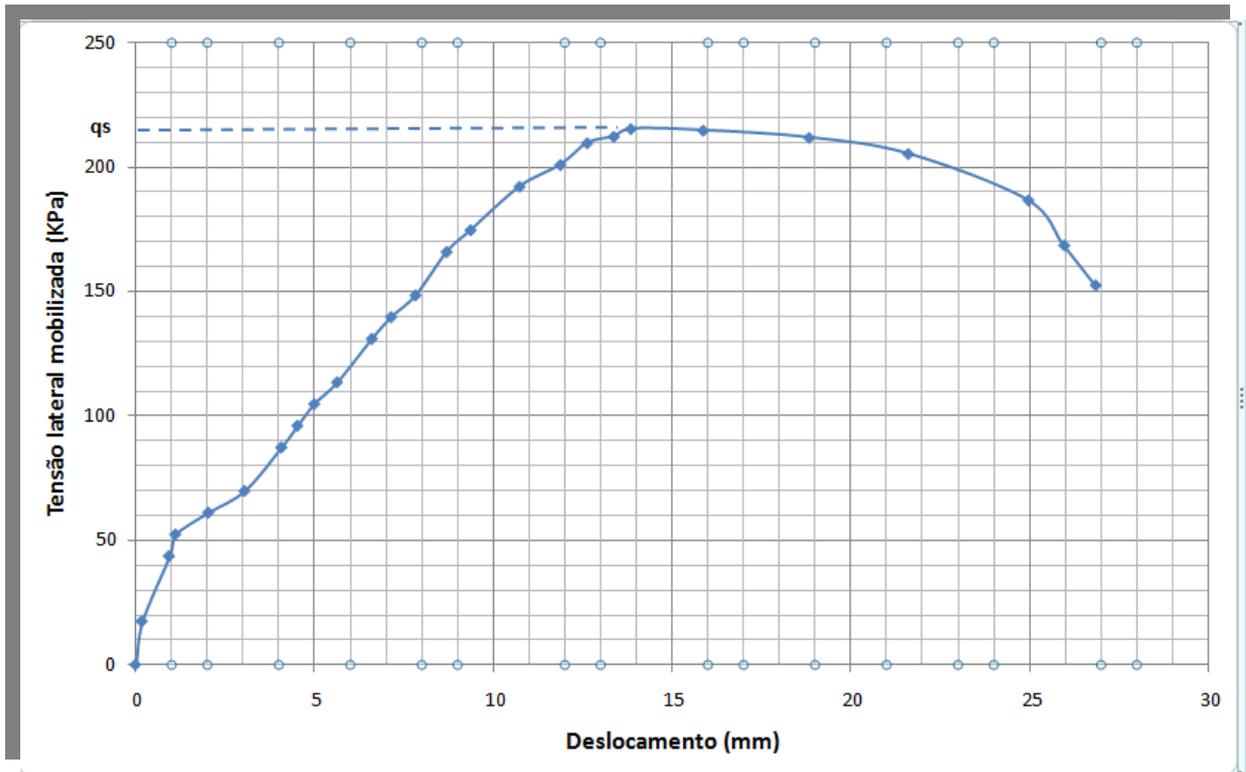


Figura 70: Curva *Resistência ao Arrancamento x Deslocamento do grampo* do Ensaio 01 – Grampo Superior

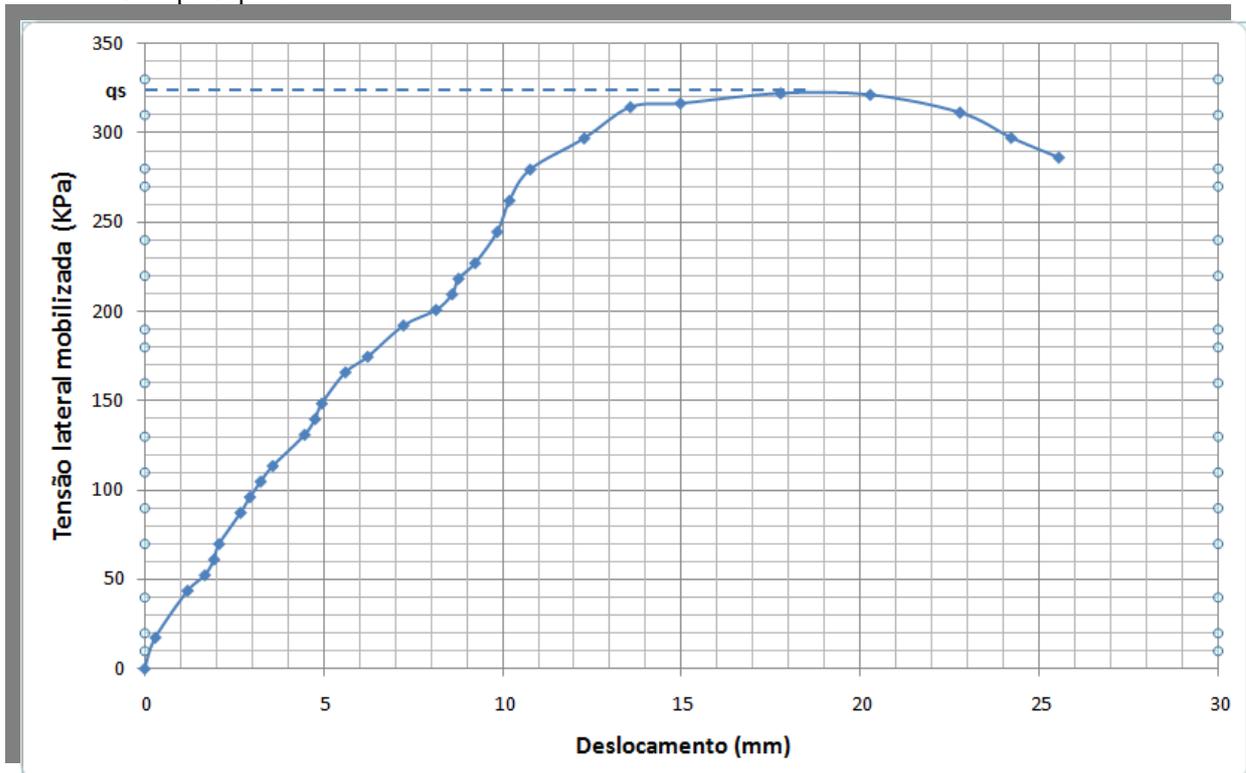


Figura 71: Curva *Resistência ao Arrancamento x Deslocamento do grampo* do Ensaio 02 – Grampo Intermediário

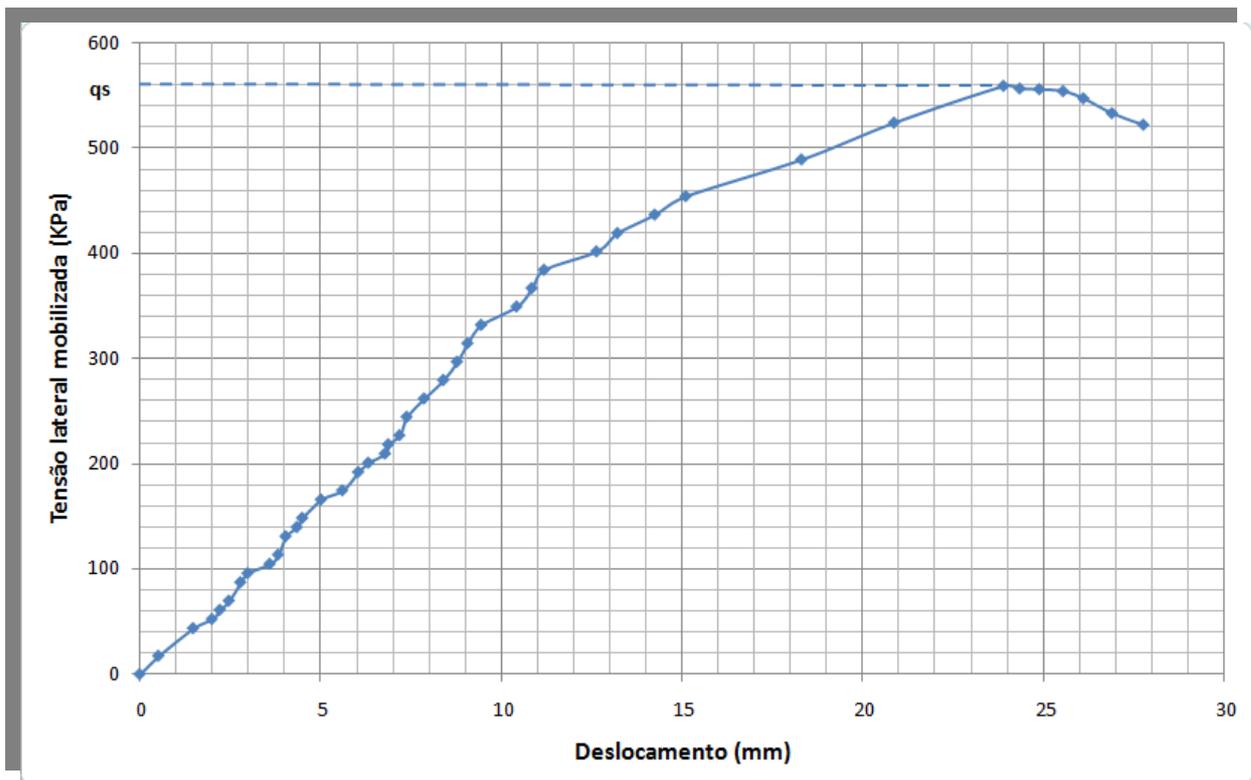


Figura 72: Curva *Resistência ao Arrancamento x Deslocamento* do grampo do Ensaio 03 – Grampo Inferior

Abaixo, na tabela 7, são apresentados os valores encontrados de q_s de cada ensaio.

Tabela 7: Valores do q_s em cada um dos ensaios realizados

ENSAIO REALIZADO	VALOR DE q_s
grampo superior (Ensaio 1)	215 KPa
grampo intermediário (Ensaio 2)	322 KPa
grampo inferior (Ensaio 3)	560 KPa

4.5 *Análise dos Resultados dos Ensaios*

Após a execução de todos os ensaios de campo, foi possível a análise dos seus resultados a partir da relação proposta inicialmente: entre a resistência ao arrancamento (q_s) e o índice a resistência a penetração (N_{spt}).

Tal relação já foi estudada em outras literaturas, como no trabalho de Ortigão e Palmeira (1997) na Tese de Springer (2006), no trabalho de Ehrlich e Silva (2012) e essa monografia apresenta mais alguns valores para serem analisados.

O Ensaio 3 (grupo inferior) estava inserido numa região com o N_{spt} muito elevado ($N_{spt}(4,00m-4,15m) = 30/15$), sendo sua interpretação de pouco valor técnico, uma vez que valores muito elevados para o N_{spt} não apresentam elementos quantitativos com acurácia suficiente para se obter dados de projeto (pouca confiabilidade na interpretação do resultado), conforme Danziger et al (Cobranseg, 2008) explica em seu trabalho.

Decourt et al (1989), citado por Danziger et al (2008), apresentam uma proposta para a extrapolação dos valores de N para os primeiros 15cm (N_1) e para os segundos 15cm (N_2), quando há impossibilidade da penetração dos 45cm. Dessa forma, é possível obter o N_{ext} .

As proposições são:

$$N_{ext} = 4 \times N_1$$

$$N_{ext} = 2,4 \times N_2$$

Sendo $N_{ext} = 120$ o seu valor máximo para a extrapolação.

A figura 73 apresenta um detalhe esquemático da posição dos grupos ensaiados em relação ao N_{spt} encontrado.

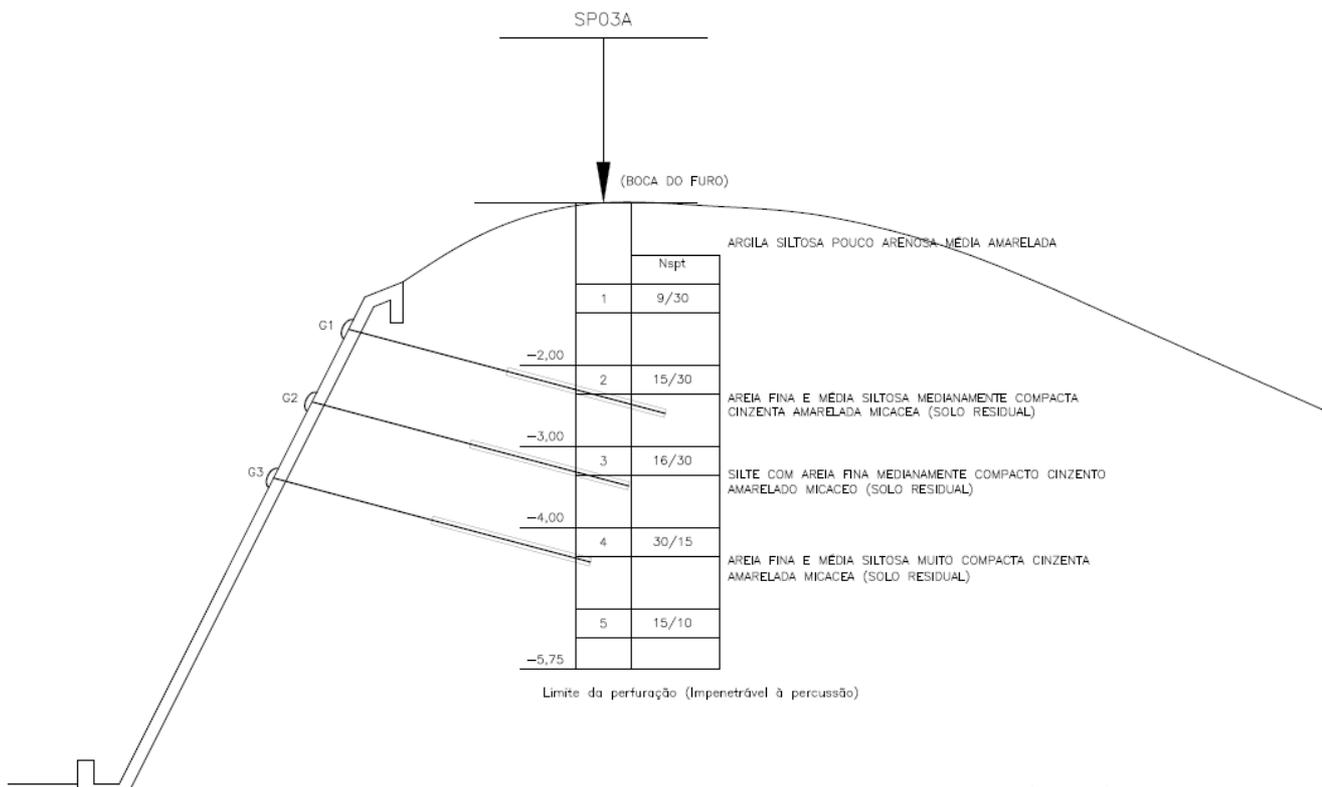


Figura 73: Detalhe do perfil transversal – grampos e sondagem representados (detalhe fora de escala)

A tabela 8 traz os valores do q_s de cada grampo e do Nspt da camada de solo onde estava inserido.

Tabela 8: valores da resistência ao arrancamento e do Nspt da profundidade de cada grampo ensaiado

Profundidade (m)	Nspt	q_s (KPa)	$q_s/Nspt$ (KPa)	$q_s/profundidade$ (KPa/m)
1,00-1,45	9	-	-	-
2,00-2,45	15	215 (Ensaio 1)	14,33	107,50
3,00-3,45	16	322 (Ensaio 2)	20,12	107,33
4,00-4,15	30/15	560 m(Ensaio 3)	4,67	140
5,00-5,10	30/10	-	-	-

A figura 74 apresenta a relação entre a Resistência de Arrancamento obtida nos ensaios realizados e o Nspt referente a cada uma das profundidades dos grampos ensaiados.

Vale notar que o valor de N_{spt} referente ao terceiro ensaio foi resultado de uma extrapolação, já que seu valor real é $N1 = 30/15$, e foi considerado $N_{ext} = 4 \times N1 = 120$.

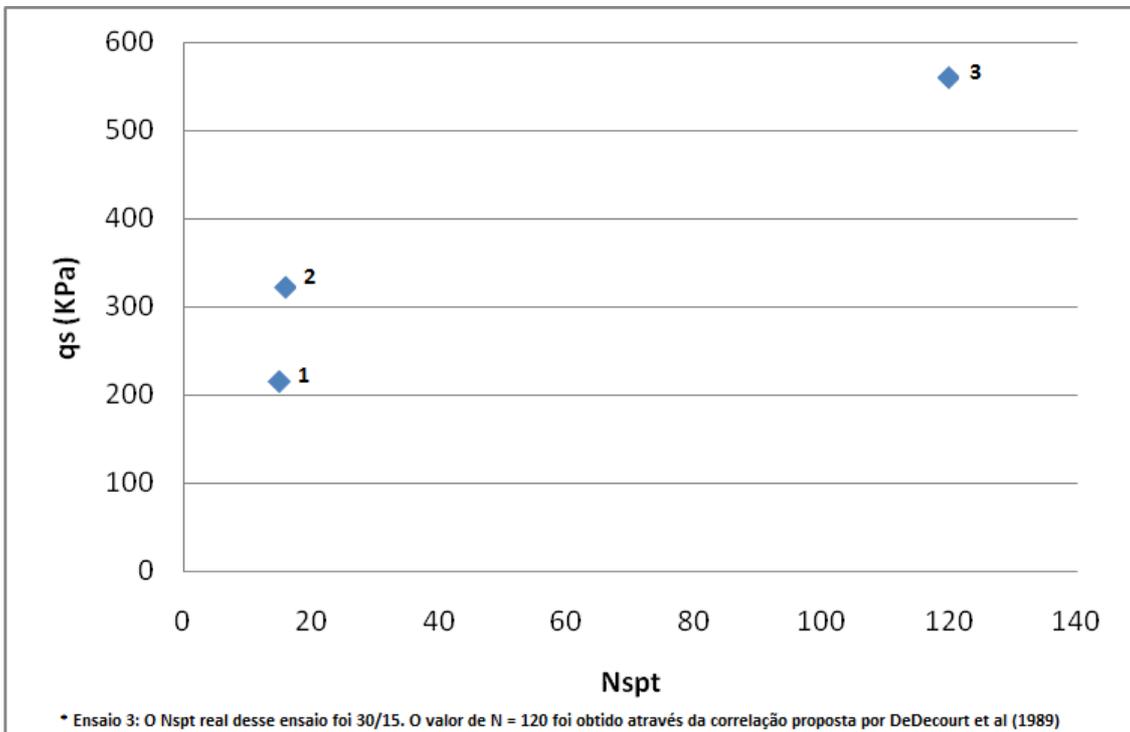


Figura 74: Relação da *resistência ao arrancamento* (q_s) x N_{spt}

Outras relações desses valores já haviam sido realizadas e outros gráficos com a comparação dessas duas grandezas já foram apresentados em literaturas diversas.

Abaixo, são apresentados alguns desses gráficos e sua origem com os valores obtidos nos ensaios realizados para essa monografia inseridos em cada um.

a) *Bustamante e Doix (1985)*

O trabalho realizado por essa dupla de engenheiros geotécnicos franceses analisou diversos ensaios de arrancamento e os dividiu em dois grupos: areias e argilas.

O estudo foi realizado a partir da correlação da resistência ao arrancamento (q_s) e a resistência pressiométrica (p_1) obtida através do Ensaio de Pressiômetro de Menárd. Esse ensaio é o procedimento de investigação geotécnica mais disseminado na França enquanto o ensaio SPT quase não é utilizado.

Conforme descrito nas *Recomendações Clouterre* (Plumelle et al, 1991), o estudo de Bustamante e Doix se baseou em 450 correlações, dentre elas:

- 86% a partir de ensaios pressiométricos;
- 9% a partir de testes de laboratório e
- 5% de dados não publicados.

Dessa forma, na correlação proposta pelos autores, o valor do N_{spt} é uma correlação a partir do ensaio do Pressiômetro de Menárd (p_1), onde:

$$N_{spt} = 20 \times p_1, \text{ (para } p_1 \text{ em MPa)}$$

Essa correlação foi utilizada indistintamente para areias e argilas pelos autores.

Em busca da correlação utilizada por Bustamante e Doix, foram pesquisados diversas referências. Cassan (1968) apresenta uma proposta somente para areias onde $N_{spt} = 20 \times p_1$, para p_1 em MPa. Para argilas, Cassan não desenvolve uma relação entre p_1 e N_{spt} .

Apesar da vasta pesquisa realizada, não foi encontrado, na literatura técnica, nenhuma menção para qual tipo de procedimento de ensaio SPT a correlação foi estabelecida. Dessa forma, não é possível a padronização entre os procedimentos de ensaio SPT brasileiro e o procedimento adotado no estudo francês de forma exata.

Vale ressaltar, então, a grande importância em se conhecer os procedimentos de ensaio a fim de não se adotar correlações em que os dados não estejam padronizados.

Adotando a prática comum dos ensaios SPT europeus, pode ser considerado uma eficiência média da energia teórica valores entre 45% a 60%.

Sendo assim, se cria possibilidade da padronização dos valores e, conseqüentemente, a correlação entre o estudo francês e os dados obtidos nesse presente estudo.

Dessa forma:

- E_{60} : energia internacional de referência - $E_{60} = 60\% E^*$
- E_{br} : energia do procedimento brasileiro: $E_{br} = (72\% \text{ a } 84\%) E^* = 1,2 \text{ a } 1,4 E_{60}$ – será adotado o valor médio – $E_{br} = 1,3 E_{60}$
- E_{fr} : energia estimada para os valores utilizados para a correlação dos autores franceses: $E_{fr} = (45\% \text{ a } 60\%) E^* = 0,75 \text{ a } 1,0 E_{60}$ – será adotado o valor médio – $E_{fr} = 0,875 E_{60}$

Assim:

$$Nbr \times Ebr = Nfr \times Efr$$

A tabela 9 mostra a relação dos valores de N_{spt} para cada país.

Tabela 9: relação do N_{spt} para o procedimento padrão do Brasil e França

Nspt com procedimento brasileiro	Nspt adotado no estudo francês
9	13
15	22
16	24
30/15	45/15
30/10	45/10

Assim, são apresentados na figura 75, os valores correlacionados por Bustamante e Doix em 1985, com os valores encontrados nesse estudo inseridos, já com a uniformização de sistemas.

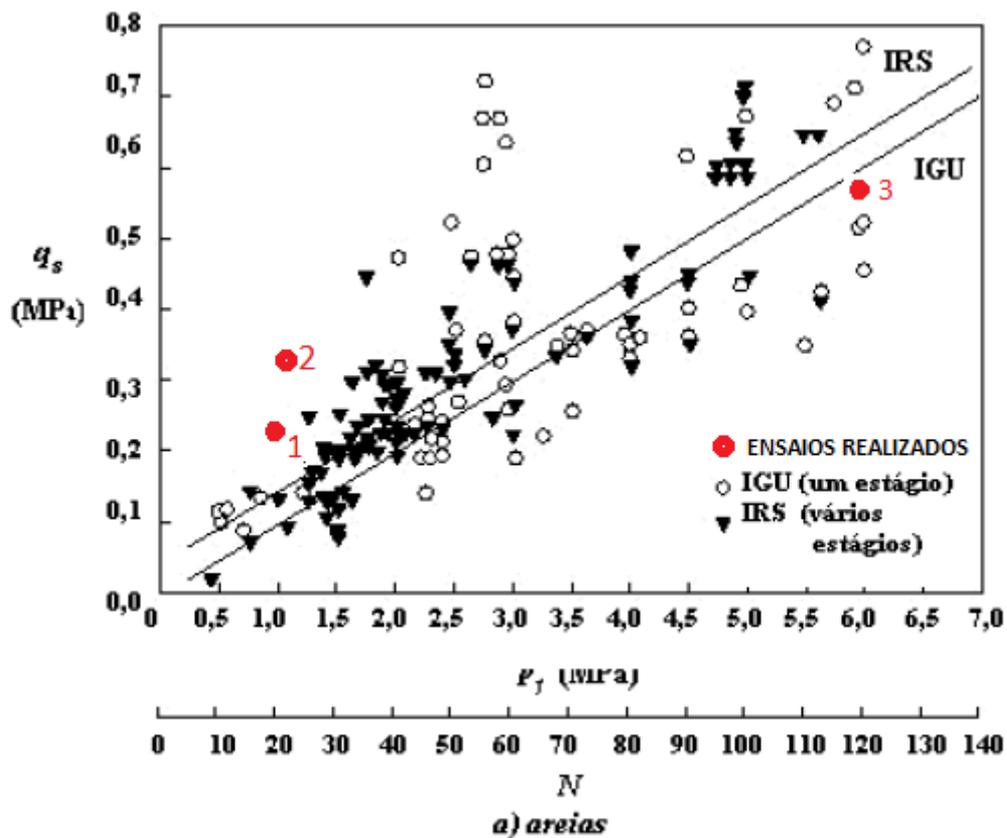


Figura 75: Correlação de Bustamante e Doix com valores desse estudo inseridos

Vale notar que o valor da correlação com o Ensaio 3 é resultado de uma extrapolação para o valor de N. valores muito elevados não possuem uma interpretação física apurada, sendo esse dado de menos valor conclusivo.

b) *Ortigão e Palmeira (1997)*

O trabalho realizado por Ortigão e Palmeira em 1997, que está representado no Manual da GeoRio, analisou a correlação entre a Resistência ao Arrancamento de grampos e o Nspt de solos brasileiros, mais especificamente, em solos do Rio de Janeiro, São Paulo e Brasília.

A figura 76 traz a correlação do estudo de Ortigão e Palmeira com os valores do estudo dessa monografia inseridos.

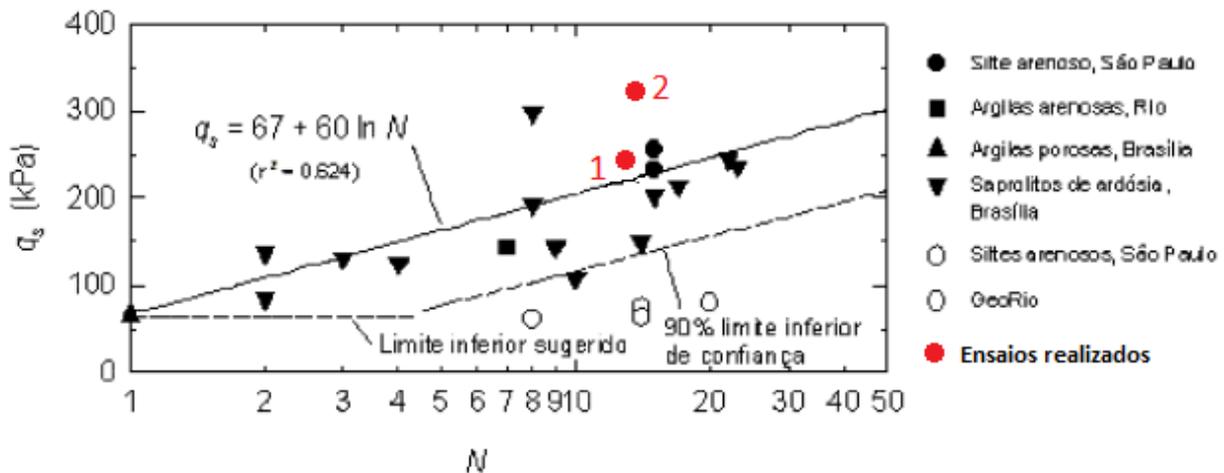


Figura 76: Correlação de Ortigão e Palmeira com os valores desse estudo inseridos

Vale notar que o valor da correlação com o Ensaio 3 não foi apresentada, uma vez que o eixo das abscissas (N) só atende até N = 50 e o valor de Nens.3 = 120.

c) *Ehrlich e Silva (2012)*

A compilação de resultados feita pelos autores supracitados (a ser publicada no XVI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica) traz a comparação de diversos ensaios realizados por diferentes autores em solos brasileiros, com grampos submetidos a uma, duas ou três injeções. Dessa forma, a inserção das novas correlações realizadas nesse trabalho ajuda na comparação dos resultados.

Na figura 77, é apresentada a correlação do estudo de Ehrlich e Silva com os valores dos ensaios obtidos no presente trabalho.

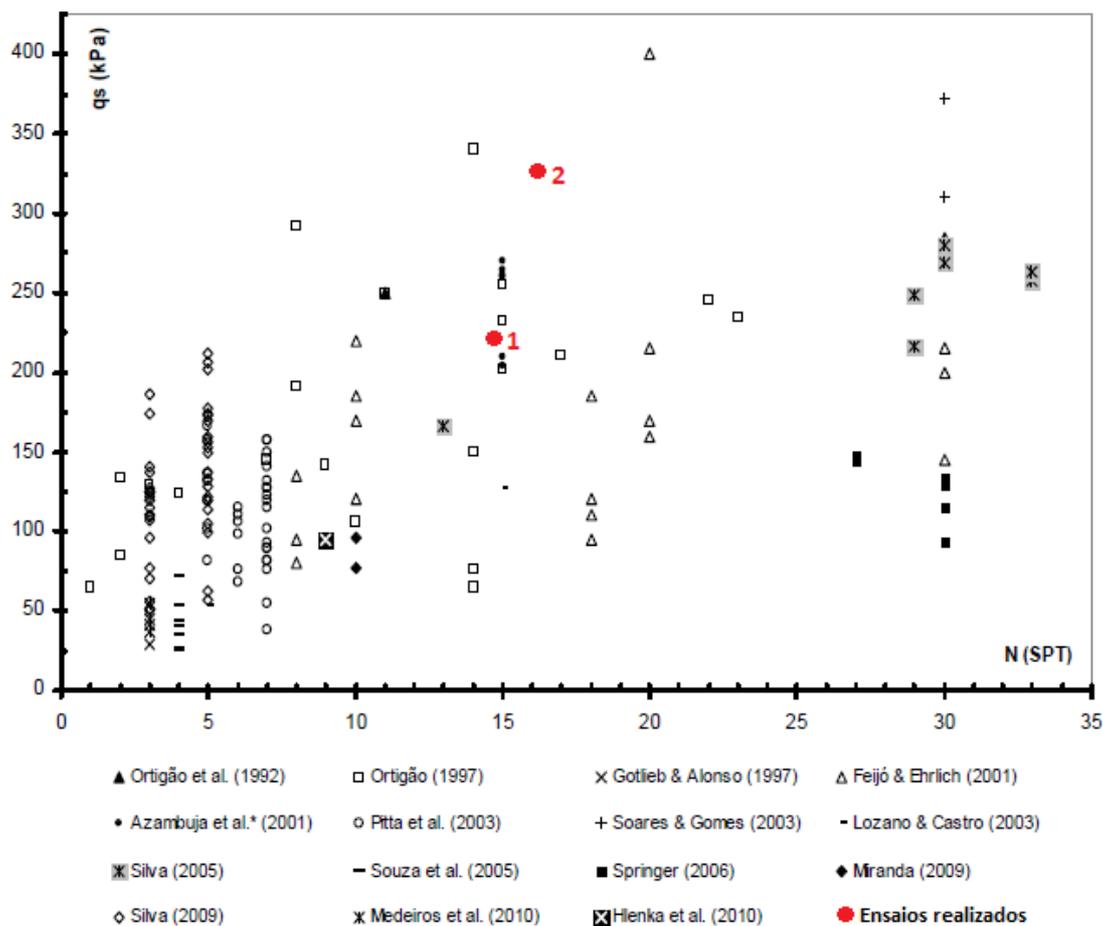


Figura 77: Resultados de Ensaios de Arrancamento no Brasil (Ehrlich e Silva 2012) com os valores dos ensaios desse estudo inseridos

Vale notar que, mais uma vez, o valor da correlação com o Ensaio 3 não foi apresentada, uma vez que o eixo das abscissas (N) só atende até $N = 35$ e o valor de $N_{ens.3} = 120$.

d) Outras correlações:

Outros autores propuseram correlações entre os parâmetros q_s e N_{spt} a partir de formulações baseadas em seus estudos.

A tabela 10 traz a correlação de cada autor, com o resultado esperado por cada uma das fórmulas e os valores reais obtidos nos ensaios realizados nesse estudo.

Tabela 10: Resultados das correlações propostas por diversos autores e os valores obtidos nos ensaios realizados nesse estudo

REFERÊNCIA	CORRELAÇÃO proposta pelos autores	qs (Nspt = 15)	qs (Nspt = 16)	qs (Nspt = 120)
Ortigão (1997)	$Qs1 = 50 + (7,5 \times Nspt)$	162,5	170	950
Ortigão et al. (1997)	$Qs2 = 67 + [60 \times \ln(Nspt)]$	229,48	233,35	354,25
Ortigão et al. (1997) e Springer (2006)	$Qs3 = 20,57 \times \ln(Nspt) + 104,57$	160,27	161,6	203,05
Springer (2006)	$Qs4 = 45,12 \times \ln(Nspt) - 14,99$	107,2	119,11	201,02
Sugestão de Springer (2006)	$Qs5 = 67 + 60 \times \ln(Nspt)$, para $Nspt < 30$	229,48	233,35	354,25
Valor real obtido		215	322	560

Além da correlação entre os parâmetros qs e $Nspt$, já estudadas, é possível observar uma proporcionalidade entre a variação de qs e da tensão efetiva no solo. Como não há a influencia de água no terreno e a poropressão é nula, podemos dizer que a tensão total é igual a tensão efetiva, e se observa uma relação desse valor com a resistência ao arrancamento em cada ensaio.

A figura 78 demonstra essa relação.

Foi considerado um peso específico para o solo do talude em estudo igual a $\gamma_n = 17\text{KN/m}^3$. Esse valor foi adotado a partir do estudo de Câmara e Pereira (2005). Assim, foi possível encontrar a σ'_v em cada profundidade e correlacionar com o qs de cada ensaio, onde:

$$\sigma'_v = (\gamma_n \times h) - u,$$

u = poropressão = 0;

h = profundidade , em metros;

γ_n = peso específico natural do solo, em KN/m^3 .

Na tabela 11, é apresentado os valores de γ em relação ao $Nspt$ dos solos, de acordo com Câmara e Pereira (2005).

Tabela 11: Valores de γ em relação ao N_{SPT} dos solos, de acordo com Câmara e Pereira (2005)

Solos Arenosos						
N_{SPT}	< 4	4 - 10	10 - 30	30 - 50	> 50	---
γ (t/m ³)	< 1,5	1,5	1,6	1,7	1,8	---
Solos Argilosos						
N_{SPT}	< 2	2 - 4	4 - 8	8 - 15	15 - 30	> 30
γ (t/m ³)	---	1,5	1,6	1,6	1,7	1,8

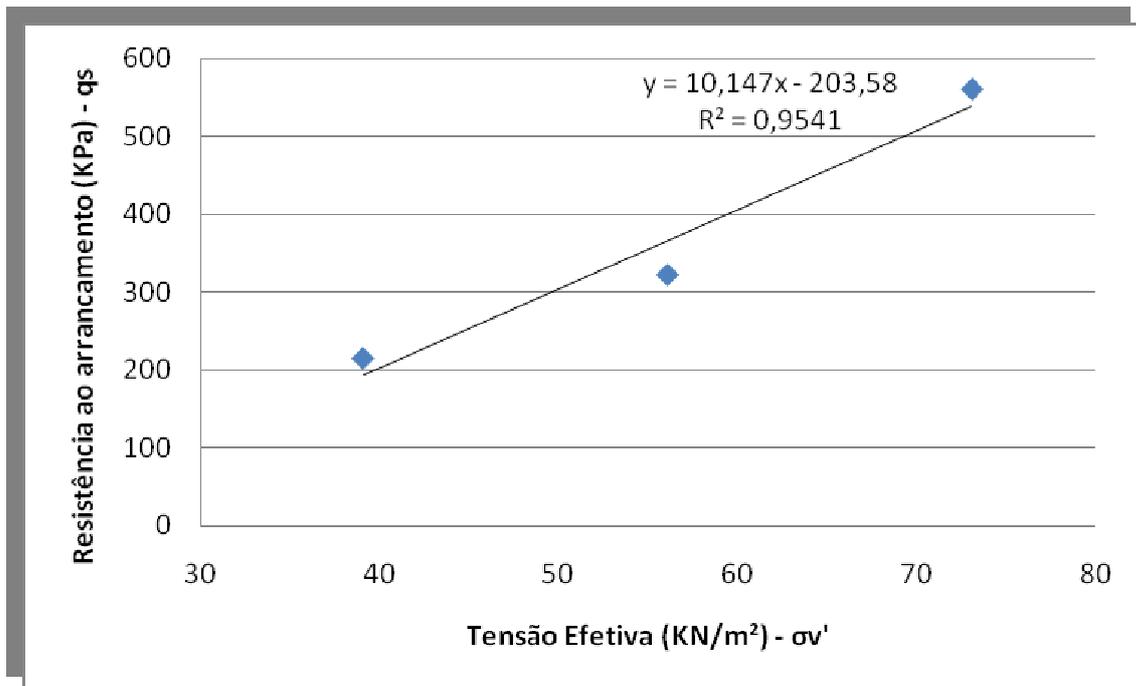


Figura 78: Correlação entre q_s e σ_v' dos dados obtidos nos ensaios

4.6 Comentários sobre os resultados obtidos

Os resultados obtidos de $q_s \times N_{spt}$ no presente estudo não ficaram distantes das correlações apresentadas pelos diferentes autores apresentados nessa monografia.

Não foi possível obter uma correlação direta entre $q_s \times N_{spt}$, posto que para uma pequena variação de N_{spt} , de 15 golpes para 16 golpes (aumento de 6,67%), ocorreu um aumento de 49,77% no valor de q_s . Por outro lado, q_s variou com a profundidade (tensão efetiva vertical) numa relação aproximadamente linear.

Inicialmente, pode-se dizer que ocorreu aumento de q_s com o N_{spt} é possível afirmar também que o valor de q_s aumentou com a profundidade de instalação do grampo. Dessa forma, pode-se perceber uma influência da massa de solo atuando sobre o grampo, o que gera uma maior aderência entre o grampo-calda de cimento-solo, aumentando a resistência ao arrancamento, gerando uma maior estabilidade. Assim, os grampos inferiores exercem uma maior força estabilizante ao talude do que os grampos mais superiores.

É observada uma grande dispersão nas correlações existentes propostas por diferentes autores. Isso ocorre, possivelmente, por ferramentas e procedimentos distintos adotados na realização dos ensaios de SPT e pelos diferentes tipos de solo envolvidos.

5. Conclusão

- Foram realizadas sondagens a percussão e ensaios de arrancamento de grampos no talude escolhido para estudo de suas características geotécnicas e com os resultados obtidos em ambos os procedimentos, foi possível correlacionar o N_{spt} com a resistência ao arrancamento dos grampos (q_s);
- Verificou-se que os resultados obtidos da correlação estão dentro do esperado, quando comparado aos demais estudos existentes na literatura;
- É possível observar uma grande dispersão nos resultados das correlações já existentes. Isso se deve, provavelmente, pela diferença no procedimento de execução dos ensaios de SPT e diferentes tipos de solos estudados;
- Foi analisada a relação da resistência ao arrancamento com a altura de cravação do grampo no talude (tensão efetiva) nos dados obtidos com os ensaios e constatado que há proporcionalidade entre eles, uma vez que quanto mais profundo foi a cravação (maior a tensão efetiva, se considerado um peso específico constante em todo o perfil), maior foi a resistência ao arrancamento;
- O ensaio pressiométrico não é usado na prática brasileira e o ensaio SPT não é usado na prática francesa. A correlação de $q_s \times N_{spt}$ apresentada por Bustamante e Doix (1985) é baseada em extrapolações e correlações secundárias ($p_1 \times N_{spt}$). Dessa forma, recomenda-se que seja não seja usada para dimensionamento de solos grampeados baseados em ensaios SPT com solos brasileiros, uma vez que a confiabilidade na padronização dos ensaios não é garantida
- . Apesar de haver propostas internacionais de correlação $N_{spt} \times q_s$, (ex.: Bustamante e Doix (1985), Liew (2005), Chow e Tan (2006), etc.) a maioria não apresenta indicação do procedimento do ensaio SPT. Tendo em vista as diferenças de eficiência da energia teórica E^* das práticas SPT dos países onde foram feitas as correlações, recomenda-se não usar estas correlações para dimensionamento sem que haja informações nesse sentido. Assim sendo, destaca-se a importância das correlações $N_{spt} \times q_s$ brasileiras, realizadas com procedimento de ensaio SPT nacional.

6. Referências Bibliográficas

BECKER, L. de B., 2011, *Notas de Aula da Disciplina de Estabilidade de Taludes*, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

CÂMARA, K. R. R. 2005, *Análise de Perfis de Sondagem SPT e Caracterização Geotécnica de Solos do Município de Natal*, CEFET-RN, Natal, RN, Brasil.

BUSTAMANTE, M., DOIX, B. 1985, *Une Méthode Pour Le Calcul des Tirants et des Micropieux Injectés*, Boletim do Laboratório de Pontes e Estradas, Paris, França.
(apud Plumelle C, et al, 1991, *Soil Nailing Recommendations for Designing, Calculating, Constructing and Inspecting Earth Support Systems Using Soil Nailing*, French National Research Project Clouterre, Paris, França)

CASSAM, M, 1968, *Les Essais in situ en Mécanique des sols*, Construction n° 10, Outubro/1968.

CLOUTERRE, (Plumelle et al, 1991), *Soil Nailing Recommendations for Designing, Calculating, Constructing and Inspecting Earth Support Systems Using Soil Nailing*, French National Research Project Clouterre, Paris, França.

DANZIGER, F. A. B. et. al, 2008 *Reflexões sobre a energia no SPT e o significado do valor de N em circunstâncias particulares*, Cobramseg, Búzios, RJ, Brasil.

EHRlich, M. 2003, *Solos Grampeados – comportamento e procedimentos de análise*, Encontro SINDUNCON, São Paulo, SP, Brasil.

EHRlich, M. E SILVA, R. C. 2012, *Ensaio de Arrancamento de Grampos – Verificação da influência do N_{spt} e da injeção da bainha*, Anais do XVI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica – Porto de Galinhas, 2012 (a ser publicado).

FEIJÓ, R. L. 2007, *Monitoração de uma escavação experimental grampeada em solo residual gnáissico não saturado*, Tese de D.Sc., COPPE, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

GUIDICINI, G. e NIEBLE, C. M. 1976, *Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação*,.

JUNIOR, I. P. 2005, *Caracterização Geotécnica e Análise de Estabilidade de Taludes de Mineração em Solos da Mina de Capão Xavier*, Tese de M.Sc, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brasil.

LIMA, A. P. 2007, *Comportamento de uma escavação grampeada em solo residual de gnaiss*, Tese de D.Sc., PUC-RIO, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

LINHARES, R. M. 2010, *Análises de estabilidade de talude rodoviário em solo residual*, Projeto de Graduação, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

Manual Técnico de Encostas, GeoRio, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2002.

NBR 6484/2001 – Sondagens de Simples Reconhecimento com SPT – Método de Ensaio- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ODEBRECHT, E. 2003, *Medidas de Energia no ensaio SPT*, Tese de M.Sc., UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil.

ORTIGÃO, J. A. R. 1997, *Ensaio de Arrancamento para Projetos de Solo Grampeado*, Nota Técnica, Solos e Rochas, ABMS.

PINTO, C. de S., 2000, *Curso Básico de Mecânica dos Solos*, Ed. Oficina de Textos, São Paulo, SP, Brasil.

PRD/RAL (PCE), *Estimativa da Resistência ao Arrancamento de Grampos (qs)*, Nota Técnica do Projeto Executivo – UHE Pinalito.

SCHMERTMAN, J. H. e PALACIOS, A. 1979, *Energy Dynamics of SPT*, Journal of Geotechnical Engineering Division.

SPRINGER, F. O. 2006, *Ensaio de Arrancamento de grampos em solo residual de gnaisse*, Tese de D.Sc., PUC-RIO, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

Trabalhos Técnicos de CONTENÇÃO de Encostas, Soloteste Engenharia LTDA, 2004.

ANEXOS