

Sefe

SEMINÁRIO
DE ENGENHARIA
DE FUNDAÇÕES
ESPECIAIS
SEPARATA

SEFE - Seminário de Engenharia de fundações Especiais

SEPARATA – VOLUME I

TEMA II – ESTACAS INJETADAS

MICROESTACAS PARA FUNDAÇÃO DE ADUTORA EM SOLO EXPANSIVO

João Duarte Guimarães filho, Eng^o Civil

Cairbar Azzi Pitta, Geólogo

Alberto Casati Zirlis, Eng^o Civil

ESTE Engenharia Serviços Técnicos Especiais S.A.

RESUMO.

Para receber as cargas da Adutora de Pedra do Cavalo, Bahia, e transmiti-la aos solos expansivos, dois elementos de fundação foram utilizados: microestacas tubulares injetadas a pressão com cargas de até 60,0tf a compressão e 55,0tf a tração e perfis metálicos cravados.

Relata-se aqui as características especiais oferecidas pelas microestacas; capacidade de ancoragem em terrenos fracos, eliminação da influência da zona ativa do solo expansivo e confiabilidade para resistir aos esforços de tração e compressão especificados.

Com tais características consegue-se obter substancial redução no comprimento total do elemento de fundação.

São comparados solos expansivos do Recôncavo Baiano com similares da adutora de Quifangondo, Luanda, África.

INTRODUÇÃO

Com o objetivo de fornecer água às cidades do Recôncavo Baiano, Bahia, está em construção a Adutora de Pedra do Cavalo que se desenvolve por 82,0Km desde a Barragem de Pedra do Cavalo à estação de tratamento de Cova do Defunto, por trechos em canal a céu aberto, tubulação metálica enterrada e tubulação metálica aérea.

A extensão em tubulação metálica aérea tem considerável parcela apoiada em solo expansivo, localmente conhecido como massapê.

O objetivo deste trabalho é apresentar características da microestaca tubular injetada utilizada como elemento de fundação da Adutora, nos trechos de ocorrência do massapê onde a utilização do perfil metálico cravado se mostrou inviável.

As microestacas são executadas de forma a permitir que seu fuste seja constituído por dois trechos distintos: o de passagem da zona ativa provido de um revestimento plástico auto lubrificante para evitar a influência da expansibilidade do solo, e o imediatamente inferior que ancora a sua estrutura ao solo por meio de injeção de calda de cimento sob pressão.

O método de injeção a pressões crescentes em várias fases confere a microestaca capacidade de suportar altas cargas de compressão e tração, com comprimentos menores que perfis cravados ainda que em solos de baixa resistência inicial como mostrado na figura 1.

Para execução é utilizado equipamento versátil que não requer qualquer infra-estrutura de acesso, podendo ser confeccionadas nas mais variadas direções e inclinações independente do declive do terreno.

SOLO LOCAL

Classificados por Donaldson (1969) em dois grupos os solos expansivos tem sua gênese relacionada a:

- 1) Decomposição de rochas ígneas básicas, sendo que a fração expansiva é oriunda de feldspatos, andesina e anortita, e de minerais ferromagnesianos como piroxênios nos quais há sempre a presença de cálcio.
- 2) Sedimentos que contenham minerais expansivos em sua constituição e que na generalidade são resultantes da alteração de rochas sedimentares, ricas em carbonato de cálcio e magnésio, portanto também básicas.

No Recôncavo Baiano, os solos expansivos são encontrados subjacentes ao terciário, formação barreiras, constituindo as formações cretáceas de Santo Amaro (Candeias), Ilhas e São Sebastião que apresentam nas fácies argilosas, porcentagens significativas de argilo minerais do grupo da montmorilonita, que tem a propriedade de aumentar de volume pelo acréscimo de água.

Na evolução da bacia do Recôncavo as rochas do terciário só se depositam após a peneplanização do cretáceo formando contato discordante numa bacia de água doce ou salobra (CNP – 1947).

A erosão dos depósitos terciários expôs as formações cretáceas onde a ação do intemperismo nos folhelhos, argilitos e siltitos formaram os massapés (Sobral – 1956), classificados pedologicamente como solos margalíticos muito similares aos encontrados na África, Indonésia, Austrália, Estados Unidos e conforme Costa Nunes vários outros estados brasileiros.

A presença de extensas áreas, aflorantes ou próximas à superfície, dos solos de massapê, em boa parte do traçado da Adutora de Pedra do Cavalo, exige cuidados especiais no que se refere à fundação, pois com variação climática, os solos expansivos trabalham causando efeitos indesejáveis às fundações nele imersas.

Decorre, portanto a necessidade de se analisar com acuidade os perfis de sondagem para avaliar a zona ativa do massapê ao se projetar as fundações.

MICROESTACA TUBULAR INJETADA

A microestaca tubular injetada é caracterizada por ser uma estaca de pequeno diâmetro, menor que 20 cm, que trabalha predominantemente por atrito lateral criado artificialmente pela injeção no trecho ancorado. Sua confecção envolve a execução de um pré-furo no diâmetro adequado, remoção do solo atravessado, instalação do tubo metálico no furo devidamente envolvido pela proteção plástica auto lubrificante no trecho do solo expansivo e válvulas de injeção dispostas ao longo do trecho de ancoragem, execução de injeção de calda de cimento a pressões crescentes e colocação de armadura complementar dentro do tubo fixado por calda de cimento (figura 2).

Ao se injetar sob pressão estas “estacas-ancoragens”, obtém-se um efeito duplo: “protensão” da região de ancoragem e melhoria do solo circundante. No primeiro efeito a injeção no trecho ancorado tende a aumentar suas dimensões neste ponto criando um bulbo de ancoragem e uma pressão artificial confinante do solo circundante contra o “bulbo” da

microestaca, pressão esta maior que a existente anterior à perfuração. Desta forma podemos dizer microestaca “protendida”, não o fuste tencionado em si mesmo, mas o solo tencionado contra a superfície de contato com a microestaca. A criação do bulbo implica por outro lado, na redução do índice de vazios do solo circundante a microestaca, melhorando, portanto, seus parâmetros geotécnicos.

A resposta para a melhoria do solo encaixante na zona de ancoragem é obtida pela análise dos gradientes de aumento da pressão de injeção. Nas figuras 3 e 4 pode-se ver a resposta do solo para dois casos distintos: consolidação de solo e bulbo de ancoragem.

O sistema de injeção por válvulas expansivas, tipo “manchete” nos permite afirmar que ocorre a formação de inúmeros extratos lamelares de nata de alta resistência, preferencialmente horizontais, num raio de influencia de dezenas de centímetros em relação ao eixo do furo. Esta constatação, que nos daria até o direito de criar o verbo “esqueletar o solo” vem melhorar muito os parâmetros geomecanicos do solo na zona injetada.

O revestimento do fuste na zona ativa com material auto lubrificante e protetor contra corrosão, nos permite evitar o inconveniente de se considerar acréscimo de compressão devido ao atrito negativo, no caso de adensamento de solos, como também tração devido à expansão do solo.

A alta capacidade de carga das microestacas, com valores de mais de 100tf, para furos de pequeno diâmetro e com comprimentos de ancoragem entre 5,0 e 7,0 m tem somente dois condicionantes: o limite estrutural do fuste e a interação com o solo. Quanto ao limite estrutural, sabe-se que para microestaca bem cintadas, tubos, pode-se adotar tensões de trabalho elevadas.

Para ligação com solo, deve-se analisar pelo duplo efeito causado pela injeção que adensa e enraíza o solo com concreções de cimento de alta resistência em planos de ruptura de milímetros a centímetros, formando um solo alem de adensado, “esqueletado”.

As análises das curvas de crescimento de pressão de injeção somadas às provas de carga, fornecem elementos para futuras tentativas de equacionamento de leis do comportamento.

O controle das microestacas por meio de provas de carga à tração, conforme previsto na Norma Brasileira de Projeto e Execução de fundação, é simples e barato tendo em vista a possibilidade de tração através da barra a ser fixada ao tubo após a injeção.

Esta possibilidade de tração pela barra permite também uma protensão do fuste, que para locais onde há interesse na redução dos recalques elásticos, adiciona a microestaca uma característica de grande importância para engenharia de fundações.

As características acima descritas conferem a microestaca tubular injetada um padrão adequado para seu uso em solos expansivos, conforme sugerido por Donaldson (1963).

LIMITES DA ZONA EXPANSIVA

Para um desenvolvimento rápido e pratico visando à adequação da microestaca tubular injetada como solução para a fundação em solos expansivos, é necessária determinação da espessura da zona ativa do massapê.

A propriedade de expansão e contração de argilas montmoriloniticas e caolinitica, resultado de decomposição “in situ” de folhetos do Recôncavo Baiano, com a variação de umidade são citada por Sobral (1957). Simões e Costa Filho (1981) em trabalho recente mostra a similaridade do comportamento geomecanico do massapé com argilas expansivas da África. Assim, a similaridade geotécnica em termos de limites de Atteberg, atividade coloidal, capacidade de troca catiônica, composição mineralógica e físico-química entre o massapé e argilas de Luanda e da África do Sul, nos permitirá absorver a experiência de Folque (1957) em projeto e construção em argilas expansivas.

Através do ábaco de Van Der Merwe, o qual correlaciona o índice de plasticidade com fração argila, delimitando as faixas de atividade, verifica-se que o massapé e as argilas expansivas de Luanda, Angola, se situam na mesma faixa com atividade entre 0,5 e 1,0 (figura 5). Podemos também comparar as porcentagens de expansão livre entre o massapé e argilas expansivas de Casenga no ábaco de Seed, Woodard e Lundgren (Simões e Costa filho, 1981) (FIGURA 6). Logo, o alto potencial de expansividade de ambas encontram, nos climas também similares, as condições necessárias e suficientes para expansão nas chuvas e concentração na secas. Isto para condições naturais.

Relatos publicados por Donaldson (1971) resultante da experiência da adutora de Quifangondo no Rio Bengo até Luanda, mostram a similaridade do massapé com as argila expansivas da África, assim como a semelhança climática.

Desta forma considerou-se que o trecho de ancoragem da microestaca deveria situar-se a profundidades não menores que 3,0m da superfície, mesmo no caso em que o nível d'água se situasse em cotas superiores.

A consideração da força de tração nas microestacas foi proposta por Collins (1953) para ser calculada baseada na seguinte equação:

$$T = \frac{\pi D}{2} \left(2 \cdot ch + K_0 \cdot \gamma \cdot h^2 \cdot \operatorname{tg}\Phi \right)$$

Onde:

- T = Força máxima de tração.
- D = Diâmetro da Microestaca
- h = Espessura da camada expansiva
- K_0 = Relação entre a pressão horizontal e vertical.
- c = Coesão do solo expansivo
- Φ = Ângulo de atrito interno do solo expansivo.

Donaldson (1963), com base em valores obtidos em provas de carga propõe a multiplicação da fórmula de Collins por um fator^a que para estacas de concreto moldadas “in loco” apresentou valores entre 0,3 e 0,7 e perfis metálicos cravados 0,5 a 0,78.

Teríamos então:

$$T = \alpha \cdot \pi \cdot D \cdot h \cdot S, \quad S = c + 1/2 \cdot \gamma \cdot h^2 \cdot \operatorname{tg}\Phi$$

No caso da microestaca tubular injetada na qual o trecho em contato com o solo expansivo será isolado por plástico auto lubrificante do fuste da estaca, o fator é muito baixo e, portanto a força de tração sobre a microestaca é considerada desprezível. O confronto entre as áreas laterais da microestaca e trilho apresenta ainda uma vantagem adicional para a

microestaca. Neste caso teríamos para a microestaca o diâmetro externo do tubo igual a 8,0 cm e área lateral

$P_m = \pi \cdot 8,0 \cdot 100 = 2.513 \text{ cm}^2/\text{m}$, enquanto para um perfil tipo trilho TR37 o valor seria

$P_t = 44 \cdot 100 = 4400 \text{ cm}^2/\text{m}$, 75 % superior a microestaca.

CONCLUSÃO

A microestaca tubular injetada tem características específicas perfeitamente adequadas para fundação de obras em solos expansivos, pelo fato de poder separar “a priori” o seu fuste num trecho onde não há transmissão de esforços e outro onde ela deve existir e é garantida pela injeção do solo sob pressão, que garante a transmissão do esforço ao solo e simultaneamente lhe confere características geotécnicas superiores. Sua comparação com trilhos cravados em formações similares apresentou uma superioridade técnica e econômica criando maior segurança para o trabalho a tração e compressão.

AGRADECIMENTOS

Aos engenheiros Paulo Emanuel Huet Machado, Antônio Carlos de Figueiredo Moura e Yasuhiro Matuoka, pelas orientações e sugestões recebidas.

BIBLIOGRAFIA

COSTA NUNES, A. J. (1997) – Presso Ancoragem um novo Tipo de Fundação Revista Estrutura nº 78.

COSTA NUNES, A. J. (1978) – Fundações em terrenos expansivos – 1º Seminário Regional de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, Vol. 2 Salvador.

MASCARDI, C. (1970) – II comportamento dei micropali sottoposti a sforzo assiale, momento flettente e taglio. Istituto per la ricera scientifica nel campo della técnica. Fondazione Kollbrunner – Marzo 1970.

KORECK, W. (1978) – Small diameter bored injection piles. Ground Engineering – May 1978, p.14.

VELLOSO, P.P.C; HAMMES, M. (1982) – Estudo da Cravação de Estacas Metálicas em Folhelhos da Formação Ilhas, na Bahia. VII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, vol. 2 – Salvador.

JORGE, G. (1980) – Foundation Engineering – Edited by Georges Pilot, p.327

SOBRAL, H.S. (1956) – Contribuição ao estudo dos massapes como solo para construção. Tese para cátedra de materiais de construção. Escola Belas Artes, Universidade Federal da Bahia

SIMÕES, P. R. M; COSTA FILHO, L. M. (1981) – Características Mineralógicas, Químicas e Geotécnicas de solos Expansivos do Recôncavo Baiano. Simp. Brás. De Solos Tropicais em Eng., Rio de Janeiro, p.569.

- MENEZES, M. S. S. et al (1981) – Expansão de silte argiloso em contato com solução de soda caustica. Revista Solos e Rochas – Vol. 5, nº2 .
- HORTA DA SILVA, J. A. (1975) –solos Expansivos – Comportamento identificação, quantificação da instabilidade volumétrica e projetos de fundações. Parte I, revista Geotécnica nº13 e projetos de fundações. Parte II, revista Geotecnia nº14.
- FLIQUE, J. (1957) – Fundações em Argilas Expansiva. Primeira Jornada de Estradas (Luanda).
- CONSELHO NACIONAL DO PETRÓLEO (1947) – Relatório de 1947. Rio de Janeiro, C. N. P.; 1948 – 216 p.
- CAMBEFORT, H. (1968) – Injeccion de Sulos – Ediciones Omega, Barcelona.
- GUIMARÃES FILHO, J. D. (1984) Consolidação de Solos por injeções: Discussão sobre uma prática bem sucedida mas que não esta de acordo comas teorias clássicas existentes – Revista Solos e Rochas – vol. 7.
- OLIVEIRA M.; FERREIRA, A. A. (1982) – Consolidação de solo aluvionar mole: Relato de um tratamento por injeção de cimento para escavação de túnel urbano na cidade de São Paulo. Simpósio sobre Escavações Subterrâneas. Vol. 1 – p.355.
- DONALDSON, G. W. (1971) – Foundations for a Pipeline Over Expansive Soil. Fifth Regional Conference for Africa on Soil Mechanics and Foundation Engineering.
- DONALDSON, G. W. (1963) – Piles in Expansive Soil. Third Regional Conference for African on Soil Mechanics and Foundation Engineering.
- COLLINS, L. E. (1953) – Preliminary Theory for the design of under reamed piles. Trans. Afr. Inst. Of Civil Engineer, vol. 3, p. 305. DAS, B. M. (1984) – Principles of Foundation Engineering, Books Cole, p. 460.

ADUTORA PEDRA DO CAVALO - ESTACA 1779 - ÁGUA BRUTA

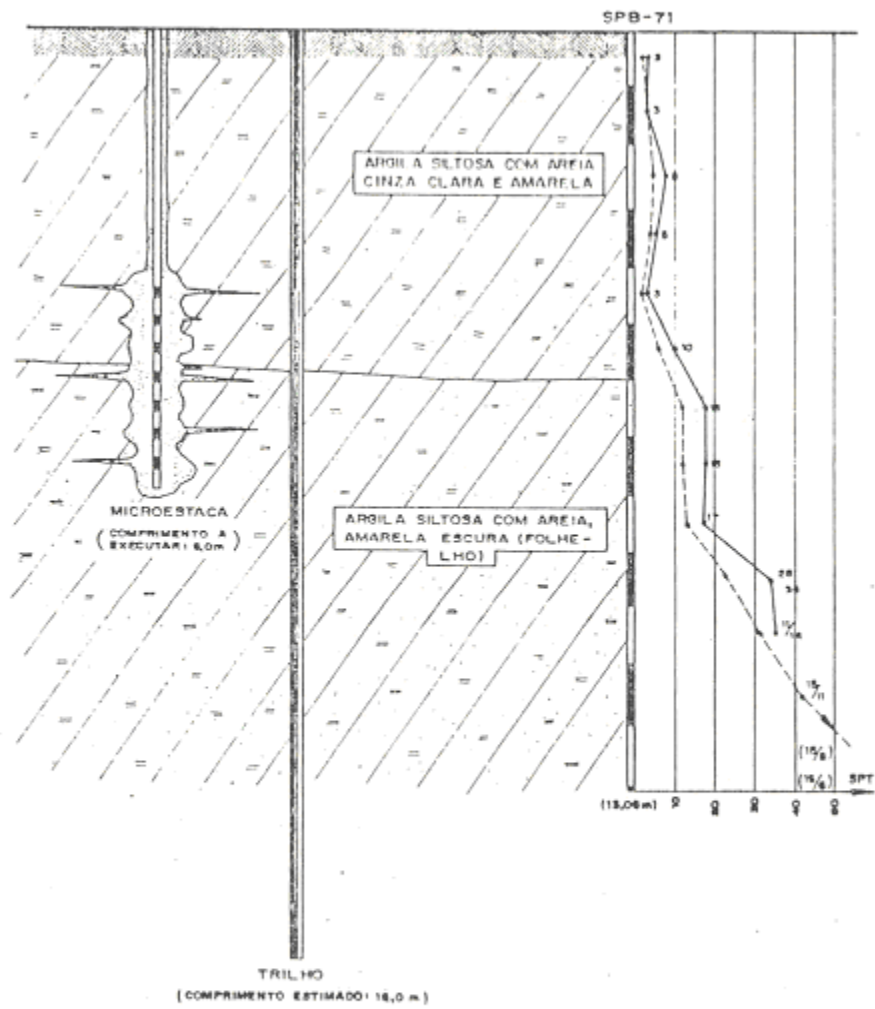


FIG.1- COMPARAÇÃO DE COMPRIMENTO MICROESTACA E TRILHO CRAVADO

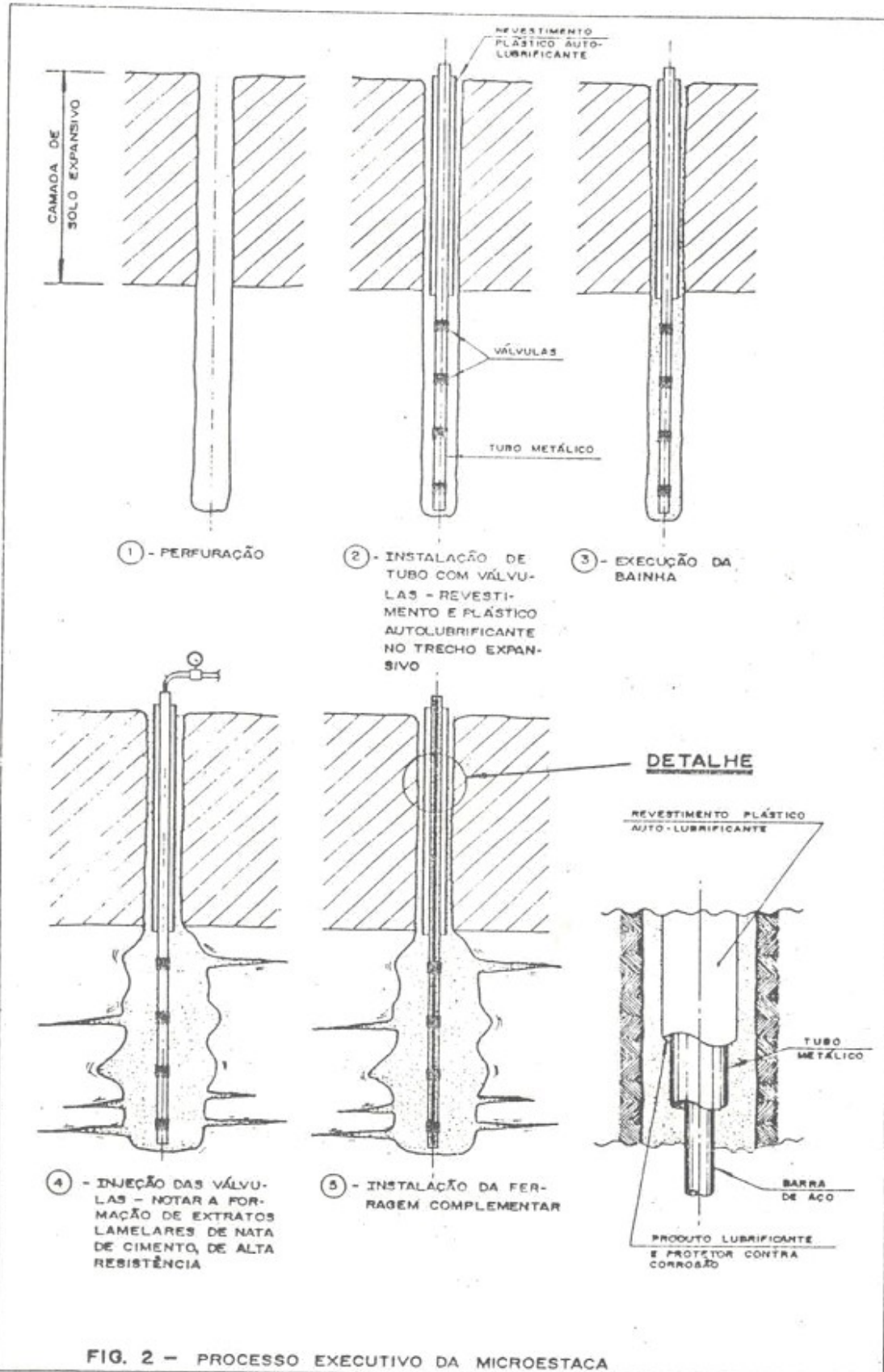


FIG. 2 - PROCESSO EXECUTIVO DA MICROESTACA

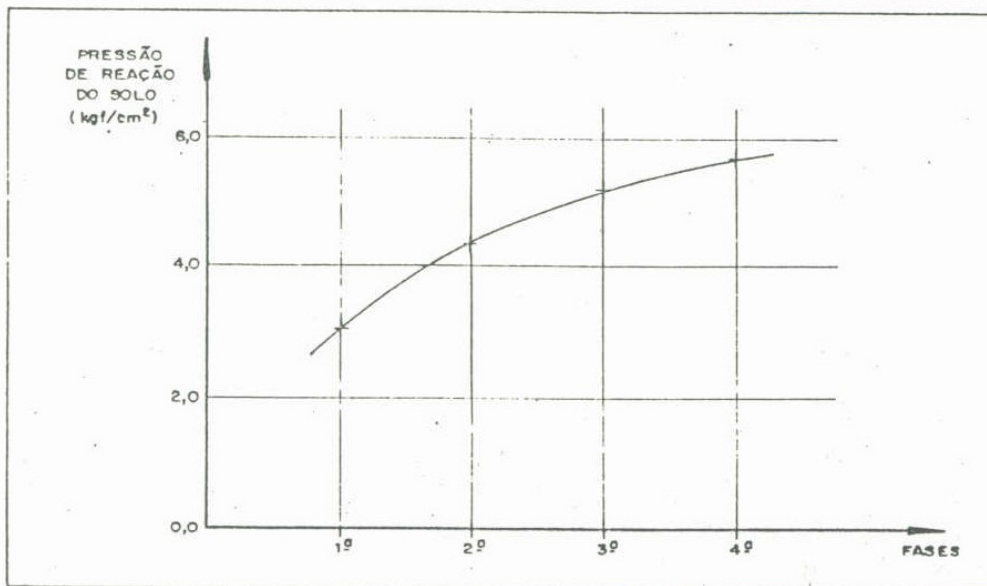


FIG. 3 - AUMENTOS MÉDIOS DA PRESSÃO DE REAÇÃO DO SOLO EM FUNÇÃO DE SUCESSIVAS FASES DE INJEÇÃO. CONSOLIDAÇÃO DE SOLO ALUVIONAR MOLE POR INJEÇÃO DE CALDA DE CIMENTO PARA ESCAVAÇÃO DE TÚNEL URBANO. LOCAL: PROLONGAMENTO NORTE DO METRÔ DE SÃO PAULO, TÚNEL OESTE DA VIA SINGELA (MAR - ABR/82)

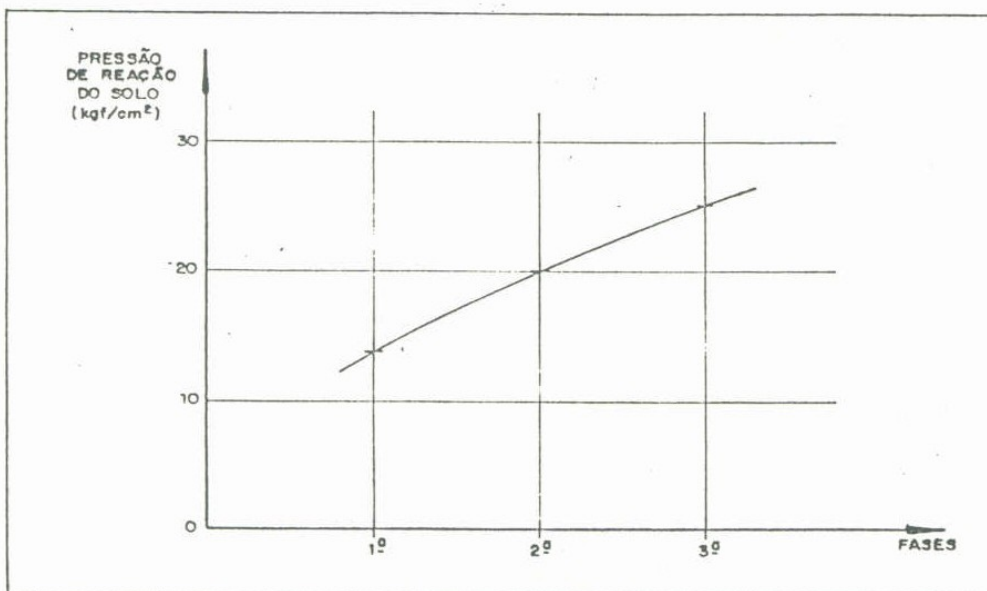
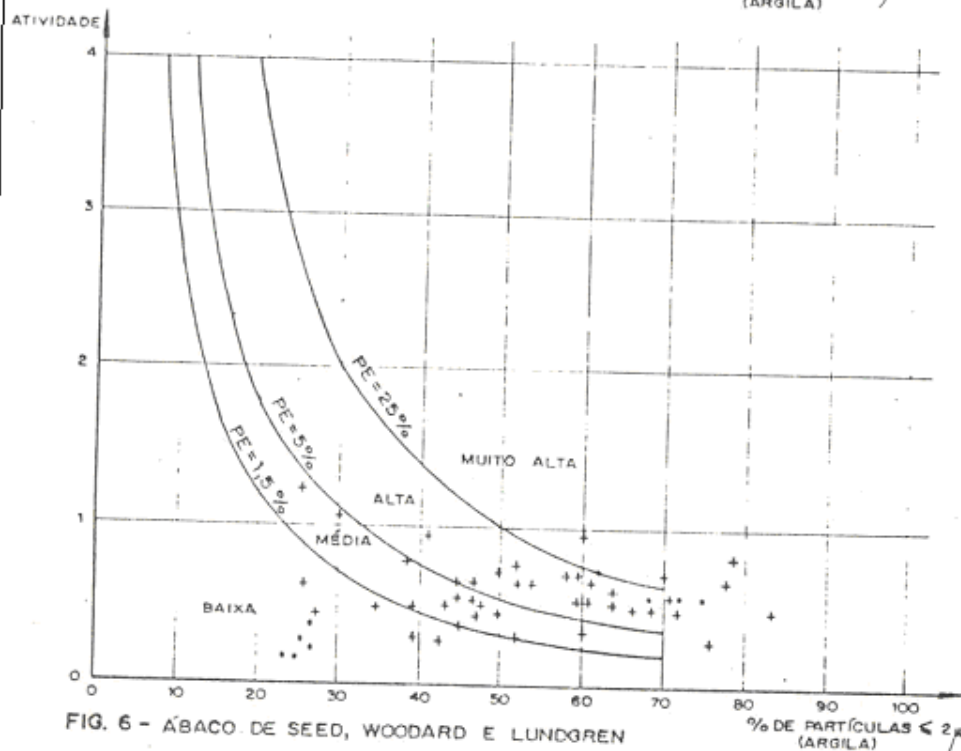
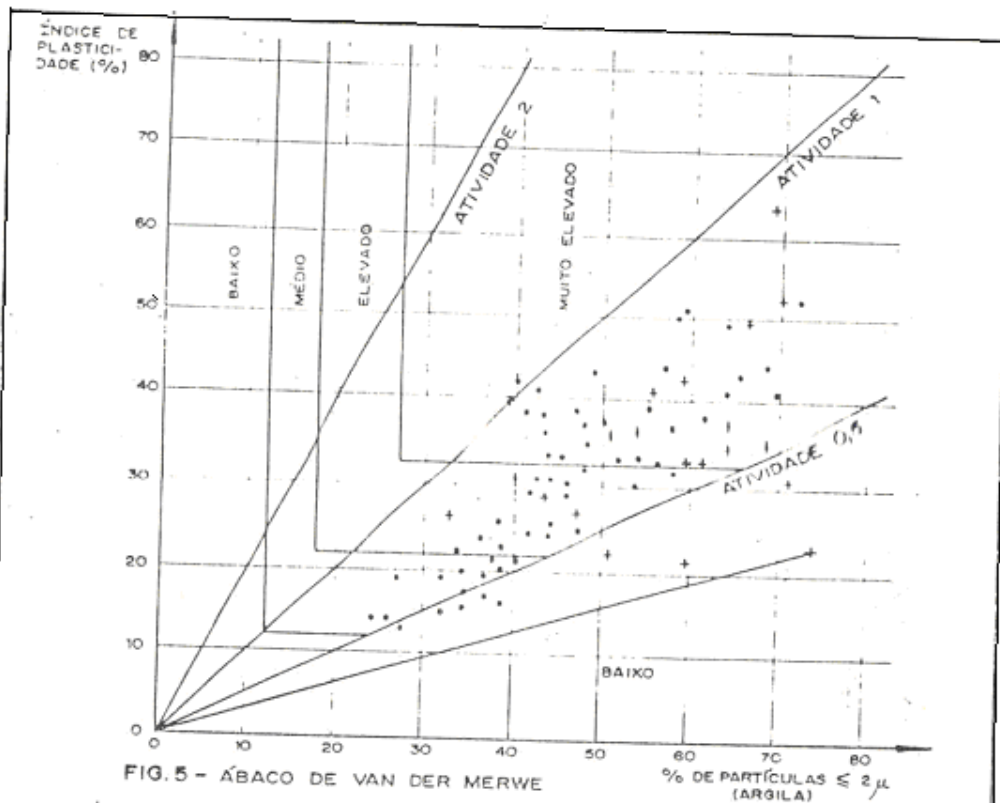


FIG. 4 - AUMENTOS MÉDIOS DA PRESSÃO DE REAÇÃO DO SOLO EM FUNÇÃO DE SUCESSIVAS FASES DE INJEÇÃO. INJEÇÃO DE CALDA DE CIMENTO PARA A FUNDAÇÃO DE PRÉDIO. CAMADA DE AREIA FINA ARGILOSA, MICÁCEA, MEDIANAMENTE COMPACTA, CINZA E AMARELA (SOLO RESIDUAL) LOCALIZADA ENTRE CAMADA DE ARGILA MARINHA MUITO MOLE E SUPERFÍCIE ROCHOSA. LOCAL: RUA ENGº HUGO CAPARELI - VILA SÃO JORGE - SANTOS-SP (JUL/82)



EXTRAÍDO DO TRABALHO DE SIMÕES, P.R.M. E COSTA FILHO, L.M.
 "CARACTERÍSTICAS MINERALÓGICAS, QUÍMICAS E GEOTÉCNICAS DE
 SOLOS EXPANSÍVEIS DO RECÔNCAVO BAIANO". (1981)

LEGENDA: + - MASSAPÉ
 * - SOLOS EXPANSÍVEIS DE ANGOLA
 • - ARGILA EXPANSÍVEIS DE CAZENHA
 PE - EXPANSÃO LIVRE