

“MÉTODO PARA PREVISÃO DO AUMENTO DA CAPACIDADE DE CARGA DE SOLOS ARENOSOS DO LITORAL NORDESTINO, APÓS COMPACTAÇÃO DO MESMO COM ESTACAS DE AREIA.”

Valdês Borges Soares
Professor de Fundações da Universidade Federal da Paraíba
Engenheiro Civil 1971 - MSc 1974
Diretor Técnico da Copesolo - Estacas e Fundações Ltda.

Wilson Cartaxo Soares
Engenheiro Civil – 1999 – MSc – 2002
Diretor técnico da Coneresolo – Consultoria em Concreto e Solos Ltda.

RESUMO

Uma das soluções de fundações de grandes edifícios no litoral do Nordeste do Brasil, é conhecida como melhoria do solo, que consiste na execução de estacas de areia, as quais são confeccionadas IN SITU, com o uso de bate-estacas e obedecendo a um processo semelhante ao das estacas tipo Franki. O processo de execução imprime ao solo, devido às cravações dos tubos de revestimento com ponta fechada, as vibrações provocadas e o apiloamento da mistura constituinte do material da estaca, uma boa compactação do mesmo, aumentando assim a sua capacidade de carga e tornando viável a opção sapatas de fundação.

Objetiva-se nesse trabalho, apresentar um processo ou método que, partindo-se de informações como sondagens S.P.T. no terreno natural, plantas de cargas, possa-se estimar uma tensão admissível do solo pós-compactação, subsidiando-se os dados necessários para elaboração do projeto de fundações.

Esse trabalho é parte constituinte da Tese de Mestrado do Engenheiro Wilson Cartaxo Soares, na E.E.S. Carlos- USP, onde foi desenvolvida a parte teórica, sob a orientação do Prof. J.C. Cintra e os trabalhos de campo foram realizados no campo experimental da Coneresolo/Copesolo, sob a supervisão do Prof. Valdês Borges Soares, em João Pessoa – Paraíba – Brasil.

ABSTRACT

One of the solutions for foundations of large-size buildings on the northeastern coast of Brazil is known as the soil improvement. The sandy soil improvement consists of application of the sand piles that are manufactured “IN SITU- in field” with the use of the “bate-estacas”/ piles making machine/ and follow similar process to the “Franki piles”.

The process performs imprints into the soil, due to the penetration caused by the closed end of the covering tubes, the occasional vibrations and the pounding mixture consisting of the pile material, a good compact, increasing then its bearing capacity making the spread footing viable.

For the objectivity of our work, we present a process or a method based on information as the SPT samples in the natural soil, the plans of loads, allowing to estimate the permitted tension for the post-compact soil, granting the necessary data for the elaboration of the foundation project.

This work is a constituent part of the engineer Wilson Cartaxo Soares' MBA thesis at the Sao Carlos USP Engineering school where the theoretic part was developed under the orientation of Professor J. C. Cintra and the campus work that took place at the experimental campus of Coneresolo/Copesolo under the supervision of Professor Valdês Borges Soares in João Pessoa – PB.

PALAVRAS CHAVES : Estacas de Areia

INTRODUÇÃO

As estacas de areia, assim conhecidas, na realidade são constituídas de mistura de:

- a) areia + brita no traço em volume de 4:1;
- b) Areia + cimento nos traços em volume de 15:1; 20:1; 25:1.

São executadas com bate-estacas do tipo Strauss ou do tipo Torre, de uma maneira análoga as estacas tipo Franki. Usa-se um tubo de revestimento com diâmetro de 300mm e comprimento variando de 3,5 a 5,0m. Para comprimentos maiores, as estacas de areia perdem o atrativo, visto que a mão de obra encarece bastante. Não funciona como as estacas convencionais, apesar de serem chamadas de estacas. Elas têm a função de provocar a compactação do solo.

O tubo ao ser cravado com a ponta fechada (bucha), penetra no solo, comprimindo a região circunvizinha. O pilão trabalha no interior do tubo, apiloando a bucha, a qual, por atrito lateral arrasta consigo o tubo, fazendo-se assim a cravação do mesmo. Posteriormente o tubo é preso ao bate-estacas e faz-se a expulsão da bucha, formando-se uma base alargada. Finalmente a mistura é colocada no interior do tubo, através de camadas sucessivas, as quais são apiloadas e simultaneamente faz-se a extração do tubo de revestimento.

O resultado do somatório dessas ações, como cravação, apiloamento, vibrações, etc., provoca uma forte compactação na região circunvizinha à estaca em referência. Geralmente executa-se uma grande quantidade de estacas de areia, obedecendo-se a uma distribuição em forma de malha reticular, com espaçamento variando de 80 a 100 cm. Como resultado da superposição de efeitos, obtém-se toda a área estaqueada, melhorada em termos de resistência à compressão.

A experiência adquirida através de mais de 700 obras com estacas de areia, as sondagens S.P.T. antes e depois da compactação, mostra-nos que o efeito da compactação atinge a aproximadamente 1,5m abaixo da ponta do tubo, ou seja, para tubo com 5,0m de comprimento, pode melhorar-se até 6,5m de profundidade. No caso de terrenos planos não cortados, o efeito é maior do que nos casos de terrenos previamente cortados para execução de subsolo.

EXECUÇÃO NO CAMPO

Os serviços no campo, devem obedecer a uma padronização melhor possível, e observar os seguintes itens:

- a) Peso do pilão;
- b) Altura de queda do pilão;
- c) Diâmetro e comprimento do tubo de revestimento;
- d) Freqüências das batidas do pilão;
- e) Quantidade de camadas da mistura de enchimento;
- f) Quantidade de batidas por camada;
- g) Energia de cravação;
- h) Diagrama de cravação do tubo;
- i) Checagem diagrama x S.P.T.

ELABORAÇÃO DO PROJETO DE FUNDAÇÕES EM SAPATAS COM O SOLO MELHORADO

A elaboração do projeto obedece a seguinte seqüência:

- a) De posse da planta de cargas;
- b) De posse das sondagens S.P.T.;
- c) Estima-se uma σ_{ad} para o solo melhorado;
- d) Dimensiona-se as sapatas para essa σ_{ad} ;
- e) Verificam-se as tensões máximas aplicadas sobre o solo, inclusive considerando-se todos os esforços, como: cargas verticais, momentos em todas as direções, etc.

$$\sigma = \frac{N}{S} \pm \frac{M}{W} \quad \text{Sendo:}$$

N → carga vertical

S → área da base da sapata

M → momento atuante

W → momento resistente da base da sapata

Ao considerar-se as ações provenientes de vento, a σ_{ad} pode ser majorada em 30% e $\sigma_{max} \leq \sigma_{ad}$

- f) Verificar distribuição das tensões;
- g) Determinar recalques totais;
- h) Determinar recalques diferenciais;
- i) Determinar distorções angulares.

Sendo todas as análises favoráveis, só assim a solução em sapata será aprovada.

OBJETIVOS DESSE TRABALHO

O trabalho ora apresentado, objetiva-se a determinar um processo, método ou maneira de fazer-se uma estimativa da tensão admissível do solo já melhorado, a partir das sondagens S.P.T. do solo no seu estado natural e da planta de cargas da obra a ser executada.

SEQÜÊNCIA DOS ESTUDOS REALIZADOS

Inicialmente, no campo experimental da Concesolo/Copesolo, em João Pessoa/PB, foram demarcadas quatro áreas para a realização da pesquisa:

- 1ª área : ensaios com o solo no estado natural;
- 2ª área : ensaios com o solo pós-compactado numa malha de (100 x 100) cm;
- 3ª área : ensaios com o solo pós-compactado numa malha de (90 x 90) cm;
- 4ª área : ensaios com o solo pós-compactado numa malha de (80 x 80) cm;

Foram realizados os seguintes ensaios IN SITU, com o solo no estado natural e como solo depois de compactado.

- a) Sondagens de Reconhecimento do Subsolo, com o Standard Penetration Test (S.P.T.);
- b) Ensaios de penetração estática do cone (Deep Sounding);
- c) Ensaios de prova de carga sobre a placa.

A seguir foram feitas correlações entre (N/30) pós-compactação (N/p) e N/30 no estado natural (N)

Sendo:

NP₈₀ → N/30 pós-compactação para a malha de (80 x 80) cm;

NP₉₀ → N/30 pós-compactação para a malha de (90 x 90) cm;

NP₁₀₀ → N/30 pós-compactação para a malha de (100 x 100) cm;

1ª Tentativa : Correlação linear (a reta de mínimos quadrados)

$$Y = a + bx$$

$$\sum Y = n.a + b\sum x$$

$$\sum x.y = a\sum x + b\sum x^2 \text{ donde determina-se a e b}$$

$$r^2 = \frac{\sum (Y_{est} - \hat{y})^2}{\sum (Y - \hat{y})^2}$$

Exemplo:

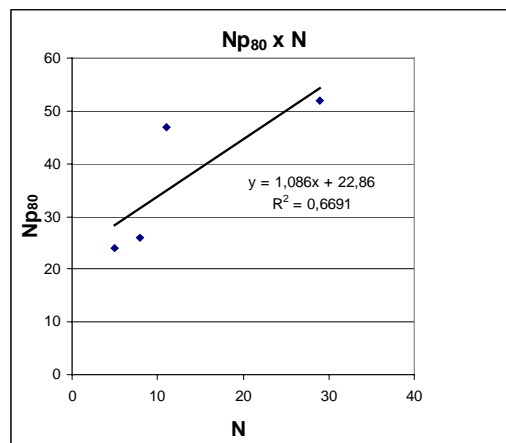


FIG.: 01

Os baixos valores dos coeficientes de determinação e dos coeficientes de correlação encontrados, indicando falta de representatividade e acuracidade, fizeram com que as regressões lineares fossem abandonadas.

2ª Tentativa Correlação não linear (A Parábola De Mínimos Quadrados)

$$Y = a + bx + cx^2$$

$$\sum Y = na + b\sum x + c\sum x^2$$

$$\sum x.y = a\sum x + b\sum x^2 + c\sum x^3$$

$$\sum x^2.y = a.\sum x^2 + b.\sum x^3 + c\sum x^4 \text{ Donde determina-se a, b e c}$$

$$r^2 = \frac{\sum (Y_{est} - \hat{y})^2}{\sum (Y - \hat{y})^2}$$

As curvas quadráticas, apresentaram excelentes coeficientes de correlação, passando assim a serem utilizadas.

APRESENTAÇÃO DAS CORRELAÇÕES
N_p X N

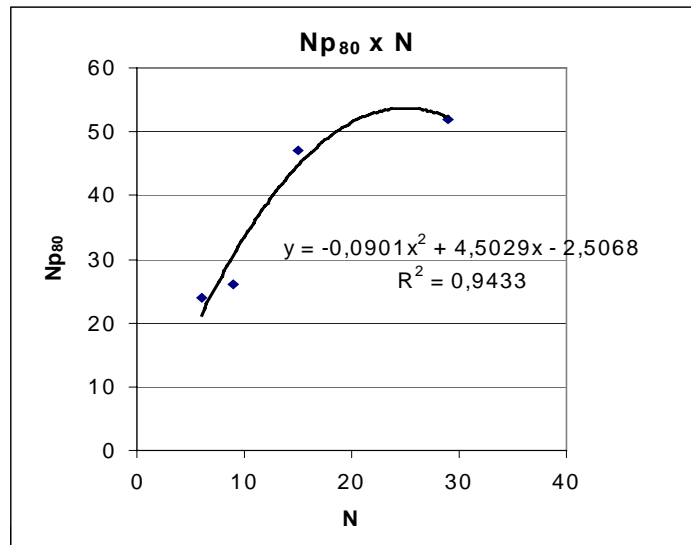


FIG.: 02

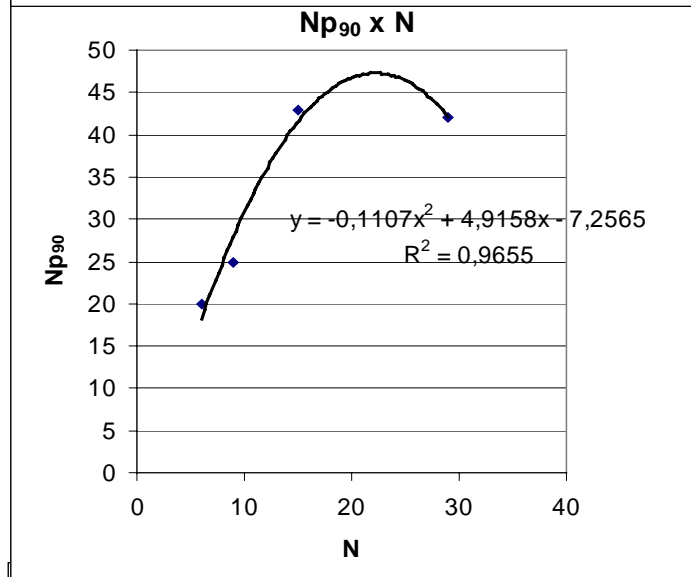


FIG.: 03

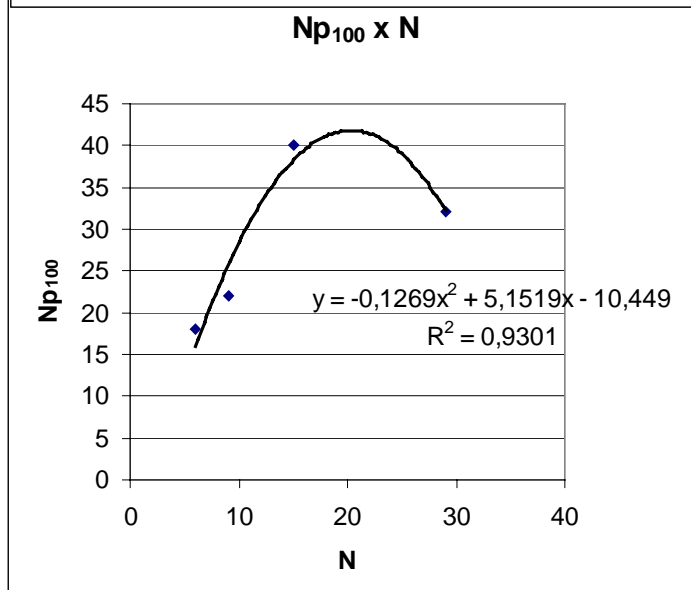


FIG.: 04

Partindo-se da expressão geral de Terzaghi, para determinação da capacidade de carga de solos arenosos, tem-se:

$$\sigma_r = \gamma \cdot H \cdot N_g + 0,4 \cdot \gamma B N_\gamma$$

Fazendo-se $H = 1,5 \text{ m}$; $\gamma = 1,8 \text{ T/m}^3$ e explicitando-se ϕ em função de N e adotando-se um coeficiente de segurança igual a 3,0m, obtém-se:

$$\sigma_{ad} = 0,5 + (0,1 + 0,04 B) N \text{ segundo }^{(1)} \text{ }^{(2)} \text{ }^{(3)}$$

Devido ao espaço limitado neste artigo, todo o enfoque será dirigido para uma sapata quadrada de dimensões (2,0 x 2,0)m, ou seja, $B = 2,0\text{m}$. Assim sendo, obtém-se

$$\sigma_{ad} = 0,5 + 0,18 N \text{ (função linear)}$$

Sendo σ_{ad} = Tensão admissível do solo na profundidade de 1,5m. Tendo a areia uma massa específica de $1,8 \text{ T/m}^3$ e a sapata é quadrada com dimensões de (2,0 x 2,0)m.

$N = N/30$ obtido do S.P.T. na profundidade de 1,5m.

Essas retas permitem encontrar σ_{ad} a partir do N . Portanto, neste trabalho, determinou-se outras retas semelhantes que permitem encontrar a σ_{ad} do solo melhorado (depois da compactação), obviamente a partir do $N/30$ melhorado (N_p). Como previamente determinou-se a correlação $N_p \times N$, significa que a partir do N no estado natural, pode-se estimar a σ_{ad} do solo melhorado, ainda na fase de elaboração do Projeto de Fundações.

APRESENTAÇÃO DOS GRÁFICOS

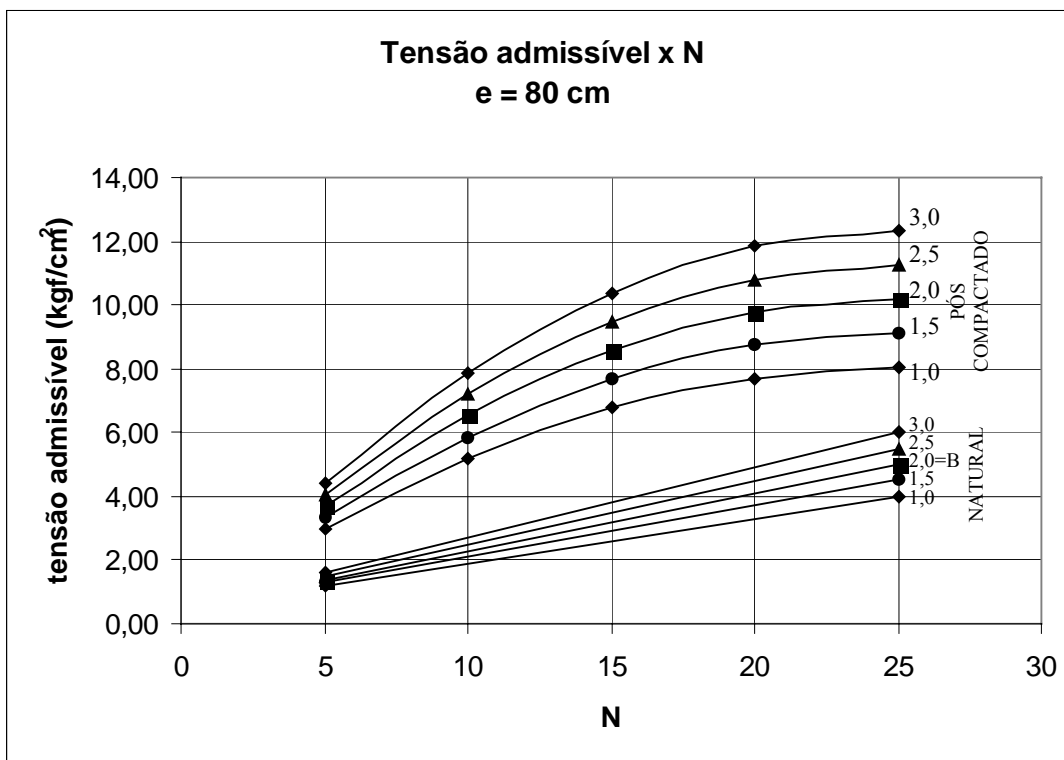


FIG.: 05

¹ Terzaghi – SEFE III Vol. 1 – São Paulo (1996) – Página 34

² Vargas M. – SEFE III – Vol. 1 – São Paulo (1996) – Página 35

³ Teixeira A. – SEFE III – Vol. 1 – São Paulo (1996) Páginas 34 e 35

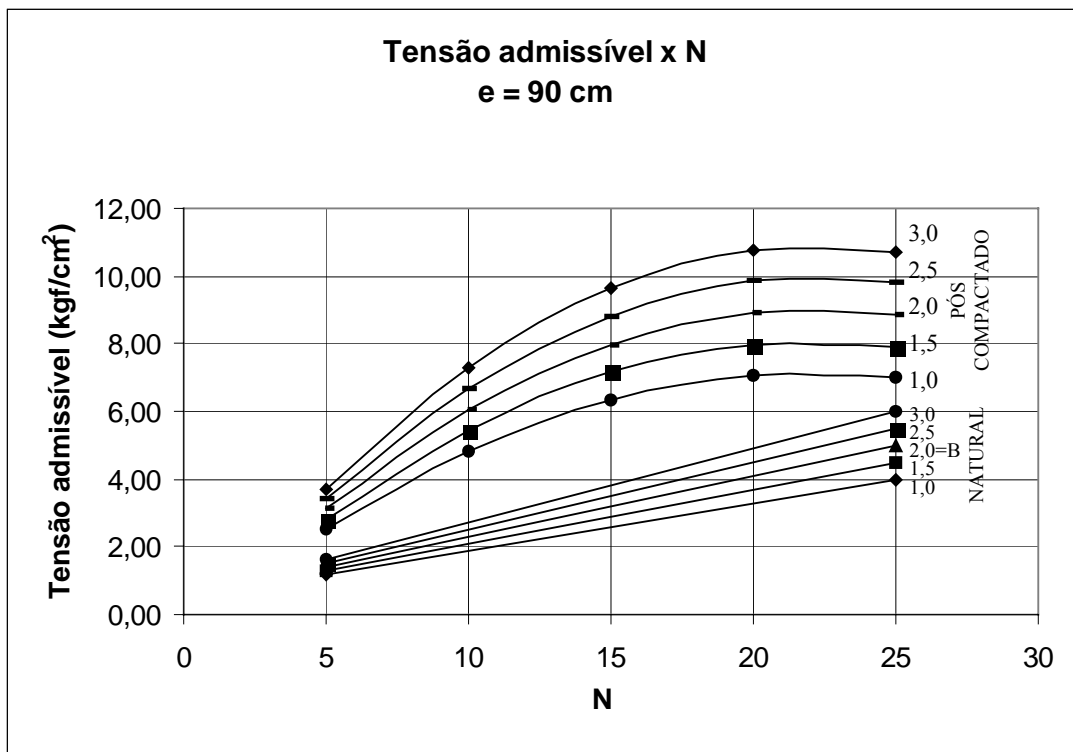


FIG.: 06

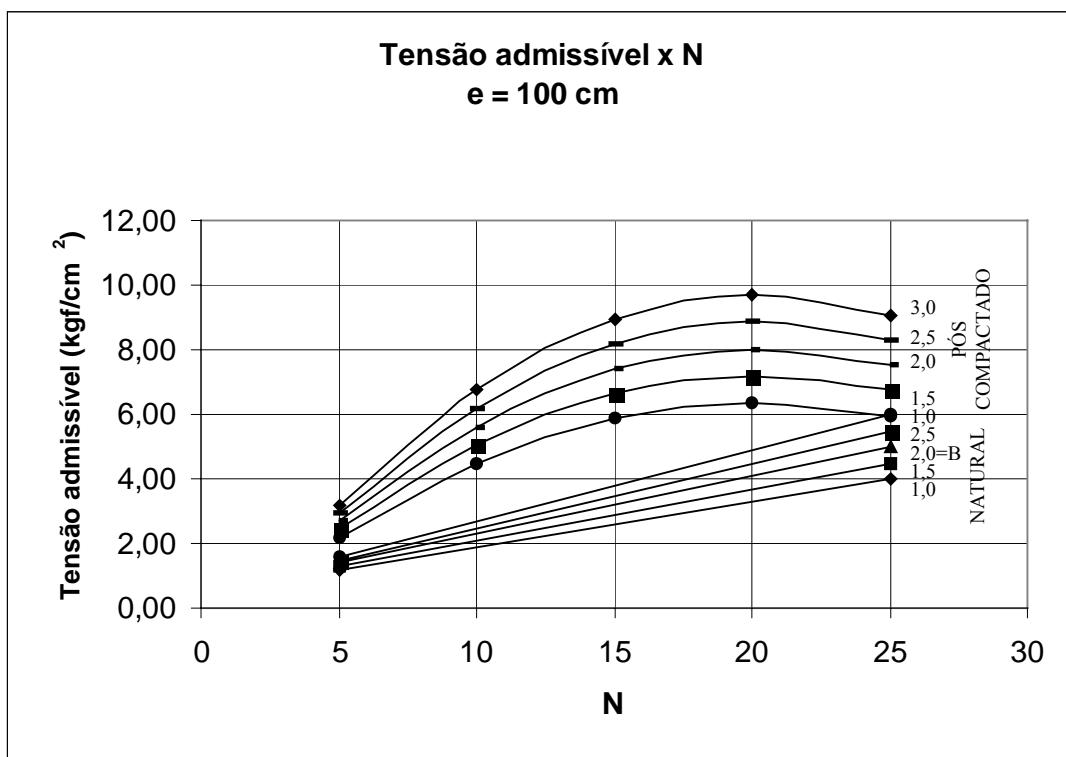


FIG.: 07

Para a sapata (2, x 2,0), obtém-se

Tensão admissível x N
B = 2,0 m - Sapata (2,0X2,0)m

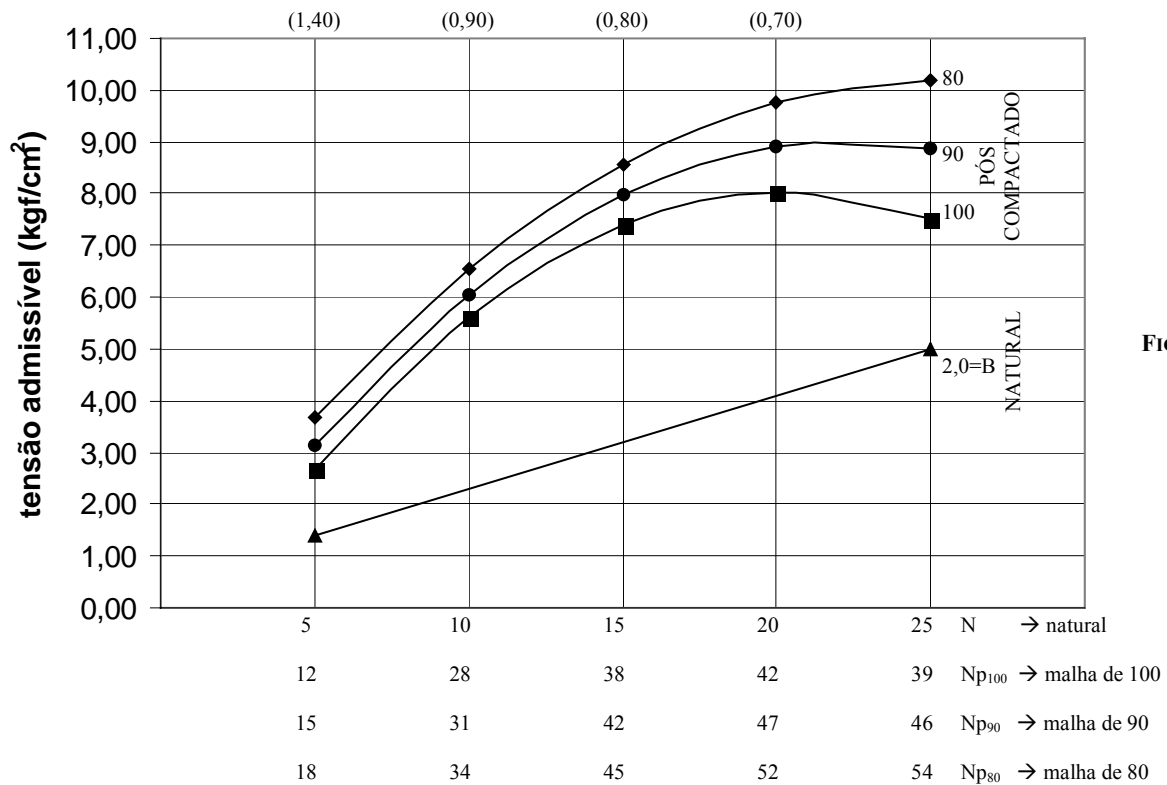


FIG.: 08

OBSERVAÇÕES E CONCLUSÕES:

Observa-se que a relação N_p/N é maior para valores menores de N, ou seja,:

Para $5 < N < 10$, $N_p/N \cong 3,0$

Para $11 < N < 18$, $N_p/N \cong 2,7$

Para $19 < N < 25$, $N_p/N \cong 2,1$

Mostra que as areias menos compactas, são mais suscetíveis ao efeito da compactação, e para as areias mais compactas ($N > 20$) o efeito do melhoramento é menos significativo⁽⁴⁾.

As curvas $\sigma_{ad} \times N$ que são oriundas da função linear $\sigma_{ad} = 0,5 + 0,18N$, apresentam curvaturas, ou seja, segmentos de retas com declividades diferentes. Isso se explica pelo fato de $N_p = a + bN + cN^2$ e ao explicitar-se N_p em função de N, a relação não é uma constante, é variável, daí provocar declividades diferentes para segmentos de retas infinitesimais no limite, quando ΔN tende a zero.

EXEMPLO PARA ESTIMAR-SE A TENSÃO ADMISSÍVEL DO SOLO MELHORADO, USANDO-SE A (Figura 8):

- a) Com as sondagens S.P.T. do solo natural, encontra-se o N na profundidade de 1,5m.
- b) Com o valor de N, encontra-se três σ_{ad} do solo melhorado, respectivamente para as malhas de (100 x 100), (90x0) e (80x80)cm.;
- c) Em função do porte da obra e da σ_{ad} requerida, escolhe-se o espaçamento da malha, e conseqüentemente uma σ_{ad} ;
- d) Como a execução das estacas de areia deste trabalho teve um acompanhamento bastante rigoroso, pois faz parte da Tese de Mestrado citada, a compactação obtida, provavelmente representa o máximo de resistência e índices S.P.T. que podem ser obtidos, inclusive com penetração total do tubo. Assim sendo, para evitar que nas

⁴ Gusmão Filho J. A. (1988) Fundações: Do conhecimento geológico à prática da engenharia – Recife, Editora Universitária, UFPE

obras corriqueiras, estime-se uma σ_{ad} e que depois do solo melhorado essa σ_{ad} não seja alcançada, introduziu-se redutores, denominados de índice de ajuste (Iaj);

- e) A tensão admissível estimada final, será $\sigma_{adf} = \sigma_{ad} \cdot I_{aj}$, sendo:
 σ_{adf} = tensão admissível estimada final para ser usada na elaboração do projeto de fundações;
 σ_{ad} = tensão admissível encontrada na figura (8) a partir de N (N/30 natural)
 I_{aj} = Índice de ajuste encontrado na parte superior da fig. (8) e na mesma coluna de N.

Elaborado o projeto e depois de concluído o melhoramento é imprescindível que se faça pelo menos dois furos de sondagens S.P.T. para verificação dos resultados.

Finalmente a σ_{ad} do solo depois de melhorado será:

$\sigma_{ad} = 0,5 + 0,18 N_p$, Isto para $H = 1,5m$; $\gamma = 1,8 T_f/m^3$ e a sapata quadrada (2,0 x 2,0)m e N_p é o N/30 depois da compactação na profundidade de 1,5m.

Considerando-se os valores obtidos pelos ensaios de provas de cargas sobre a placa, na profundidade de 1,5m, têm-se:

N/30	Terzaghi (Kgf/cm ²)	Prova de carga solo natural (Kgf/cm ²)	Prova de carga e =100 (Kgf/cm ²)	Prova de carga e =90 (Kgf/cm ²)	Prova de carga e =80 (Kgf/cm ²)
15/30	3,2	8,0	-	-	-
38/30	7,3	-	14,0	-	-
42/30	8,1	-	-	18,0	-
45/30	8,6	-	-	-	18,0

Observa-se que as tensões admissíveis oriundas de $\sigma_{ad} = 0,5 + 0,18N$, (Terzaghi) apresentam valores bastantes conservadores, quando comparados com os resultados das provas de cargas.

$$\frac{3,2}{8,0} = 0,40 = 40\%, \quad \frac{7,3}{14,0} = 0,52 = 52\%, \quad \frac{8,1}{18,0} = 0,45 = 45\%, \quad \frac{8,6}{18,0} = 0,48 = 48\%$$

Note-se que as comparações foram entre σ_{ad} com σ_{ad} por métodos diferentes e que mesmo considerando-se as diferenças entre as dimensões da placa da prova de carga e as dimensões de uma sapata quadrada (2,0 x 2,0)m, os valores obtidos por (Terzaghi), são bastante conservadores, sugerindo-se que se façam pequenas reduções no coeficiente de segurança (3,0), aplicado sobre a capacidade de carga das areias. Assim sendo, sugere-se para determinados intervalos de N, os seguintes fatores de correção ao usar-se a expressão: $\sigma_{ad} = 0,5 + 0,18 N_p$.

$$\begin{aligned} \sigma_{ad} &= 1,00 \cdot \sigma_{ad} \quad \text{para } 5 < N < 11 \\ \sigma_{ad} &= 1,34 \cdot \sigma_{ad} \quad \text{para } 12 < N < 21 \\ \sigma_{ad} &= 1,25 \cdot \sigma_{ad} \quad \text{para } 22 < N < 32 \\ \sigma_{ad} &= 1,20 \cdot \sigma_{ad} \quad \text{para } 33 < N < 44 \end{aligned}$$

E finalmente essa σ_{ad} deverá ser \geq a tensão admissível estimada no projeto.

REFERÊNCIAS

- (1) TERZAGHI - SEFE III Vol. 1 São Paulo (1996) – Página 34
- (2) VARGAS - SEFE III Vol. 1 São Paulo (1996) – Página 35
- (3) TEIXEIRA - SEFE III Vol. 1 São Paulo (1996) – Página 34 e 35
- (4) GUSMÃO FILHO J.A (1988) Fundações: Do conhecimento geológico à prática da engenharia – Recife, Editora Universitária, UFPE

- Acervo técnico das empresas:

Concresolo - Consultoria em Concerto e Solos Ltda.
Copesolo - Estacas e Fundações Ltda.