

Prova de Carga à Tração em Tubulões Curtos: Caso 01 Tubulão Revestido com Manilha e Caso 02 Tubulão sem Revestimento

João Vitor A. Zambelli
Eng. Civil, Campinas, Brasil, jvzambelli@yahoo.com.br

Marcos Hideki Yaegashi
Eng. Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Brasil, marcos.hideki@gmail.com

Prof. Dr. David de Carvalho
Eng. Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Brasil, d33c@uol.com.br

RESUMO: Algumas obras específicas acarretam nas fundações esforços de tração. Como exemplos dessas obras temos torres de linhas de transmissão, torres de telecomunicações, torres de geração eólica, silos, estruturas *off-shore* e muros de arrimo. O objetivo deste trabalho é apresentar os resultados de provas de carga a tração em dois tubulões curtos, escavados mecanicamente, o primeiro, revestido com manilhas para poço, com 110 cm de diâmetro e 4,0 m de comprimento e parcialmente sob o nível d'água; e o segundo, sem revestimento, com 80 cm de diâmetro e 3,8 m de comprimento, sem a presença do nível d'água. Ambos os elementos de fundação estudados encontram-se instalados em solo arenoso. Foram executadas provas de carga a tração do tipo rápida, seguindo as prescrições da NBR 12.131/2006. Os ensaios atingiram a ruptura geotécnica, sendo possível determinar a resistência por aderência fundação x solo. Os ensaios foram realizados na região Centro-Oeste, Estado de Mato Grosso do Sul, na cidade de Três Lagoas. Os valores de carga de ruptura obtidos através das provas de carga foram comparados com valores teóricos obtidos através de metodologias de cálculo consagradas, e com resultados de fundações tracionadas disponíveis na literatura, realizados em solos semelhantes.

PALAVRAS-CHAVE: Tração, Tubulões, Fundação, Linha de Transmissão.

ABSTRACT: Some structures demand its foundations to undergo uplift strains. Examples of such structures are power transmission towers, communication towers, wind power towers, above-ground storage tanks, offshore structures, retaining walls. The goal of this study is to present the results of static uplift load tests onto two isolated bored foundations (caissons). The first one, due to shallow water level, uses concrete cylindrical sleeves of 110 cm outside diameter and is 4.0 m deep. The second one is directly constructed in a cylindrical excavation of 80 cm diameter and 3.8 m depth. Both foundations are located in granular soil of Brazil Middle-West region, State of Mato Grosso do Sul, municipality of Três Lagoas. The static uplift load tests were performed according to standards of NBR 12.131/2006 for rapid static load tests on foundations. These tests were conducted up to geotechnical failure, enabling the determination of maximum skin friction of foundation-soil interface. This study assumes, otherwise specified, that failure occurs along foundation-soil interface. The results of the tests are compared to theoretical load values determined by calculation methods used by geotechnical engineers to predict ultimate load piles resistance and also to the results of static uplift load tests results available from other studies of similar soils.

KEYWORDS: uplift, bored pile, caisson, foundation, power transmission.

1 Introdução

Fundações submetidas a esforços de tração são comuns a alguns tipos de obras civis. Como exemplos dessas obras temos, torres de linhas de transmissão, torres de telecomunicações, estruturas *off-shore*, muros de arrimo etc.

Tubulões são fundações comumente escavadas em formato cilíndrico e podem apresentar alargamento de base ou não. Para sua execução pode ser necessário ou não o uso do revestimento, dependendo de fatores como coesão do solo e nível de água (Velloso e Lopes, 2010). Existem poucos estudos que demonstram o comportamento de tubulões tracionados em solos arenosos de baixa capacidade de suporte, objetivo principal deste trabalho.

Os tubulões são largamente empregados em fundações de torres de linhas de transmissão, sendo que os tubulões aqui abordados têm por finalidade a análise nesta aplicação.

Especificamente em fundações de linhas de transmissão há esforços de tração em todas as estruturas treliçadas compostas por quatro apoios, sendo esses esforços de tração provenientes dos momentos que tendem a criar um binário de forças nos apoios da estrutura, tracionando ou comprimindo. Os momentos são resultados das ações de vento nos cabos e na própria torre e por esforços longitudinais nos cabos, principalmente quando a estrutura está posicionada em ângulo. Esse tipo de obra civil é largamente utilizada no Brasil devido à grande extensão territorial e à necessidade de transmissão de energia elétrica para várias regiões. A obra de uma torre pode ser considerada uma obra de pequeno porte, porém, a obra toda de uma linha de transmissão, que pode ser composta por centenas de estruturas é considerada uma obra de grande porte. Diante disso, são importantes os estudos que busquem demonstrar metodologias de cálculo que proporcionem não só a segurança do empreendimento, como também otimizem os custos envolvidos para execução das fundações. Tubulões são largamente empregados devido à facilidade de execução e custos envolvidos.

O presente trabalho originou-se da execução de duas provas de carga à tração do tipo rápida, em fundações do tipo tubulão com e sem revestimento, seguindo as prescrições da NBR 12.131/2006 – Estacas-Provas de Carga Estática – Método de Ensaio. Esses ensaios foram realizados na região Centro-Oeste, estado de Mato Grosso do Sul, na cidade de Três Lagoas, em dois tubulões curtos, sendo o primeiro revestido com manilhas para poço, com 110 cm de diâmetro e 4,0 m de comprimento e parcialmente sob o nível d'água; e o segundo, sem revestimento, com 80 cm de diâmetro e 3,8 m de comprimento, sem a presença do nível d'água. Ambos os elementos de fundação estudados encontram-se instalados em solo arenoso.

O local dos ensaios é caracterizado pela presença de solos superficiais de alta porosidade, comumente chamados de “solos porosos”, podendo ser colapsíveis e lateríticos, os quais recobrem grandes extensões de área do Centro-Sul do Brasil.

2 Objetivos

Através da execução das provas de carga à tração do tipo rápida, seguindo as prescrições da NBR 12.131/2006, procurando-se atingir a ruptura geotécnica, objetivou-se:

- Determinar a resistência por aderência fundação x solo para ambos os tipos de fundação: com revestimento por manilhas e sem revestimento;
- Comparar os resultados das provas de carga com os de métodos de previsão de carga, quais sejam, método teórico da Universidade de Grenoble (BIAREZ e BARRAUD, 1968), método semiempírico de Décourt (1996) para capacidade de carga por atrito lateral, método semiempírico de Aoki & Velloso (1975) para capacidade de carga por atrito lateral. Considerou-se nestes métodos que a ruptura dos tubulões ocorreu na ligação fundação x solo.

- Realizar comparações com outros resultados de provas de carga em tubulões em solos porosos do interior de São Paulo.

3 Características e Execução dos Tubulões

A escolha do local das provas de carga se baseou na proximidade dos pontos de sondagem previamente executados. As escavações foram realizadas com trado mecânico, sendo que no tubulão de diâmetro de 80 cm a execução se deu diretamente contra o terreno conforme Foto 1 e Foto 2.

No tubulão com diâmetro de 110 cm devido à presença de água na cota -1,04 m utilizou-se revestimento de concreto, tipo manilhas para poço sem bolsa com diâmetro externo de 110 cm. Vale ressaltar que para a instalação das manilhas houve pressão da mesma contra a cava, através de escavadeira hidráulica, conforme Foto 3 e Foto 4.

Tabela 1. Dimensões das Fundações.

Tubulão	ϕ (m)	L (m)
Sem revestimento	0,80	3,80
Com revestimento	1,10	4,00



Foto 1. Escavação – Fundação sem revestimento.



Foto 2. Escavação finalizada – Fundação sem revestimento.



Foto 3. Escavação – Fundação com revestimento.



Foto 4. Instalação das Manilhas – Fundação com revestimento.

4 Características Geotécnicas da Região

Os solos da região se caracterizam pela alta porosidade, comumente chamados de “solos porosos”, superficialmente podendo ser colapsíveis e lateríticos, os quais recobrem grandes extensões de área do Centro-Sul do Brasil. Segundo Peixoto (2001), os solos da cidade de Ilha Solteira-SP, próxima à cidade de Três Lagoas-MS apresentam porosidade da ordem de 50%, composição granulométrica com mais de 50% de areia, limites de consistência LP médio de 27% e LL médio de 16% e SPT em sua grande parte menores que 3. Na Figura 1 são apresentadas regiões do Brasil com potencial de ocorrência de solos semelhantes.

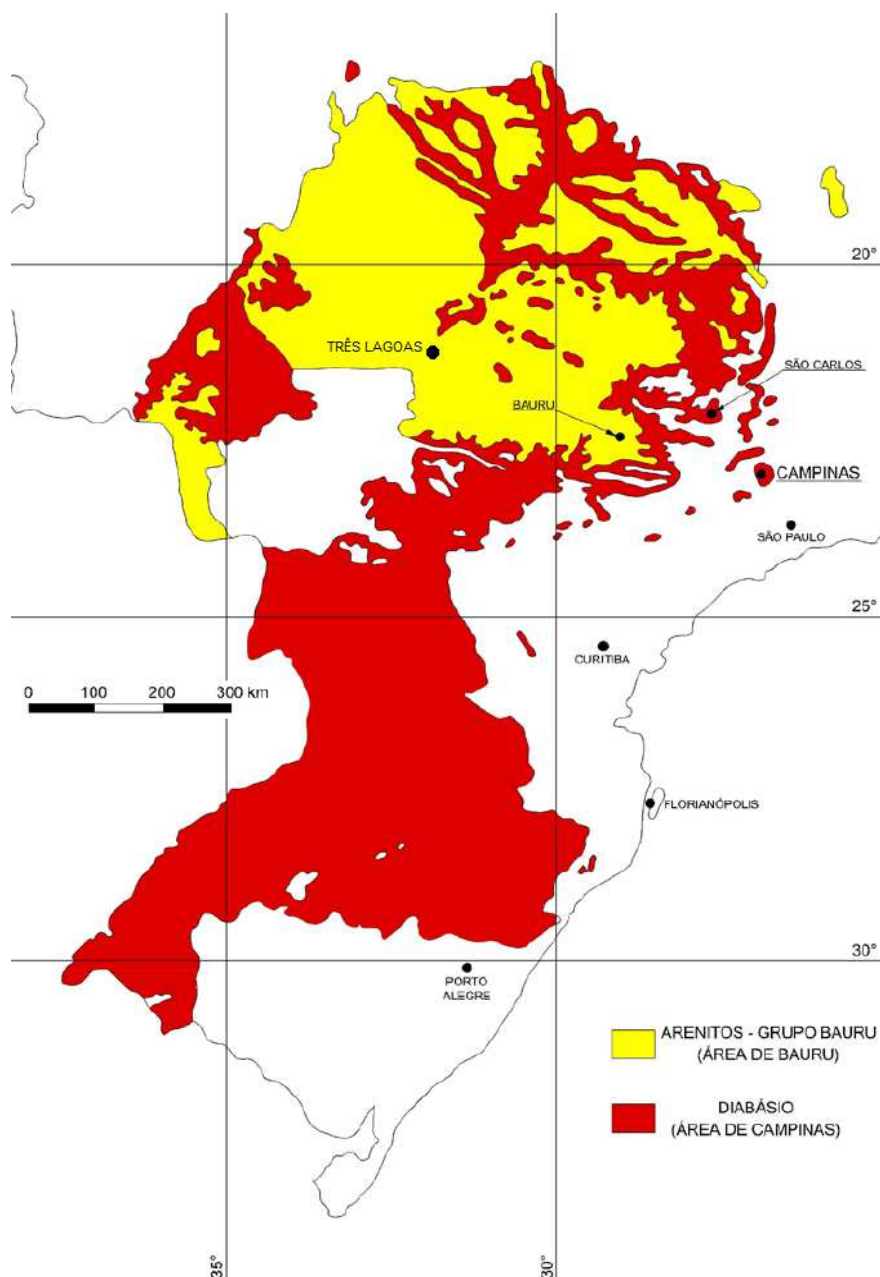
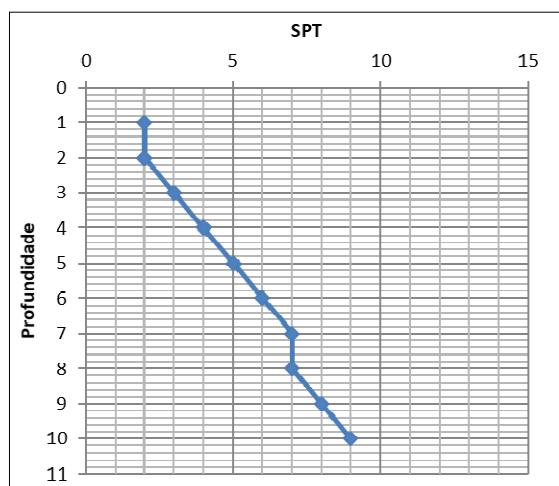


Figura 1. Regiões do Brasil com potencial de ocorrência de solos porosos (GIACHETI, 1991, apud CURY FILHO, 2016).

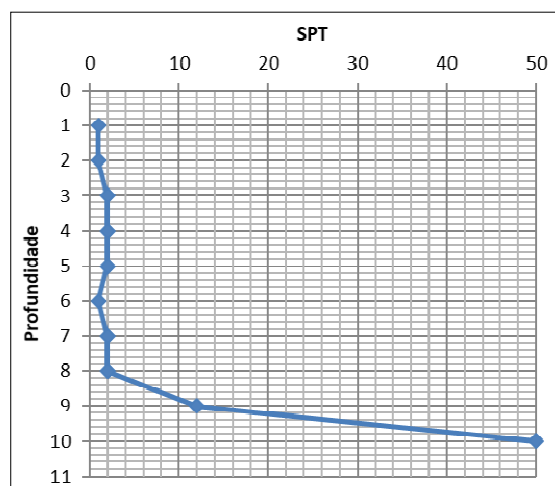
Os SPTs realizados na região dos ensaios são apresentados na Tabela 2 e Figura 2. As sondagens foram realizadas a 5,0 m do tubulão sem revestimento e a 5,0 m do tubulão com revestimento.

Tabela 2. Relação de Sondagens – SPT.

Profundidade (m)	SPT (tubulão sem revestimento)	SPT (tubulão com revestimento)
1	2	1
2	2	1
3	3	2
4	4	2
5	5	2
6	6	1
7	7	2
8	7	2
9	8	12
10	9	50/10



(a)



(b)

Figura 2. Sondagem SPT – (a) Fundação sem revestimento, (b) com revestimento.

5 Resultados das Análises

Apresentam-se a seguir:

- Curvas Carga x Deslocamento obtidas através das provas de carga, Figura 3;
- Previsão de Ruptura por Van der Veen modificado por (Aoki, 1976), Figura 3;
- Curva que determina a ruptura de acordo com a NBR 6122:2010, considerando-se módulo de elasticidade do material da estaca para a situação de tração equivalente a 2,0 GPa, Figura 3;
- Previsão de Ruptura pelo Método de Rigidez (Décourt, 1996), Figura 4;
- Mobilização do Atrito Lateral x Deslocamento, admitindo-se ruptura na ligação estaca-solo, Figura 5.

Para as análises convencionou-se adotar a carga de ruptura obtida através do Método de Rigidez (Décourt, 1996); conforme Figura 4. Justifica-se essa escolha, pois, estacas tracionadas apresentam somente resistência por atrito lateral, sendo que a reta dos pontos finais do gráfico de rigidez apontam claramente para uma carga de ruptura (carga para rigidez nula). Observa-se que essas cargas de ruptura são semelhantes às obtidas por Van der Veen modificado por Aoki (1976).

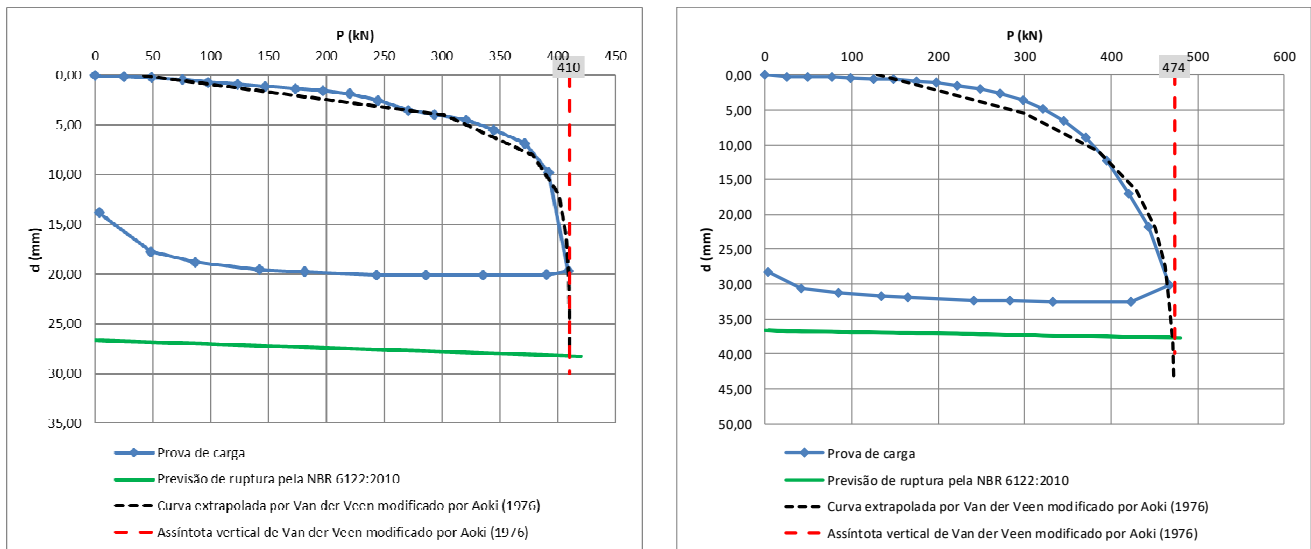


Figura 3. Prova de Carga – (a) Fundação sem revestimento, (b) com revestimento.

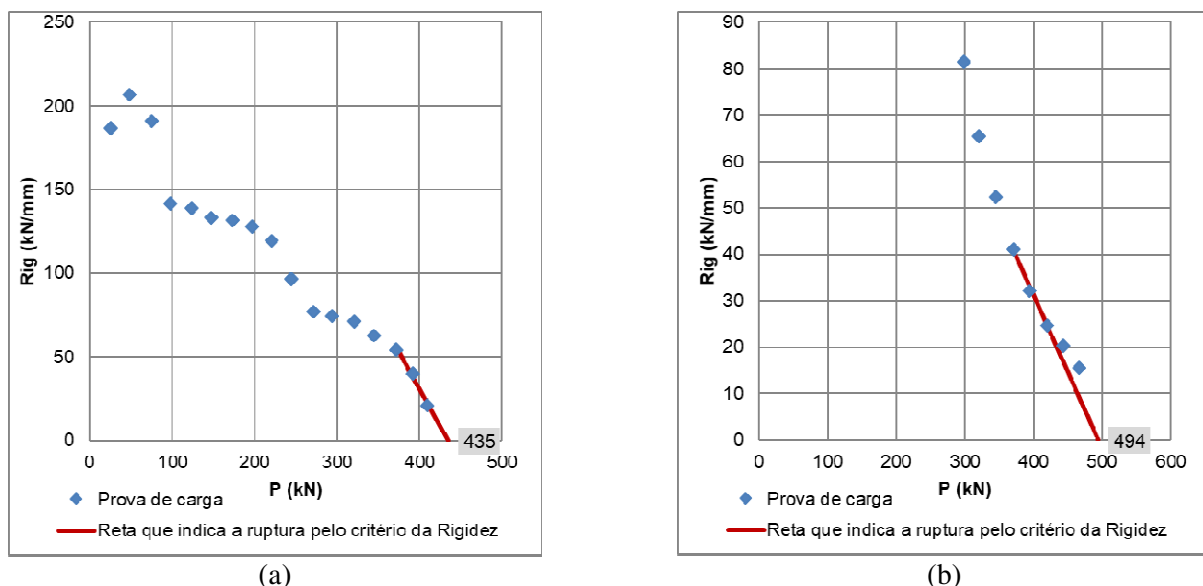


Figura 4. Gráfico de Rigidez – Determinação da Carga de Ruptura – (a) Fundação sem revestimento, (b) com revestimento.

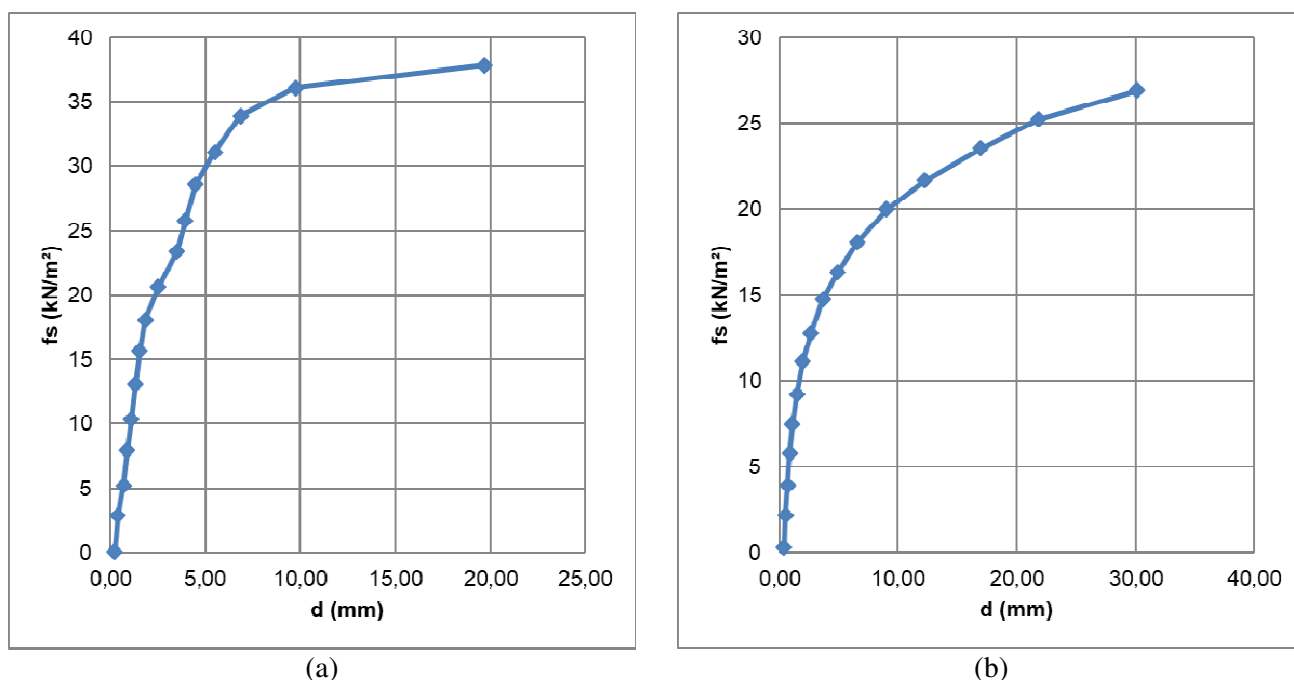


Figura 5. Gráfico Atrito x Deslocamento – (a) Fundação sem revestimento, (b) com revestimento.

Para as análises admite-se ruptura na ligação fundação-solo e obtém-se o atrito lateral, f_s , para fundação sem revestimento e para fundação com revestimento, conforme apresentado na Tabela 3.

Observa-se uma melhor ligação fundação-solo para tubulões sem revestimento, conforme esperado, pois, nesse caso o concreto é lançado diretamente na escavação, conduzindo a uma melhor aderência ao solo. No caso de tubulões com revestimento a aderência do elemento pré-fabricado com o solo depende da forma de instalação do mesmo, ou seja, se desconfinado a aderência é nula.

Na Tabela 3 são apresentados os valores de atrito lateral dos elementos de fundação objetos deste estudo e os obtidos por Orlando (1985) para 03 tubulões sem abertura de base, sem revestimento e instalados na região de Bauru-SP. Observa-se que os valores obtidos são próximos entre si, com média de 31 kN/m² e coeficiente de variação de 22%.

Tabela 3. Atrito Lateral, f_s .
 \emptyset = diâmetro da fundação. H=profundidade da fundação.

Dimensões		At.Lat (f_s)	Revestimento	Origem
\emptyset	H			
(m)	(m)	(kN/m²)		
0,80	3,80	41,0	Não	(Estudo)
1,10	4,00	29,0	Sim	(Estudo)
0,50	6,00	24,0	Não	(Orlando, 1985)
1,20	6,00	26,5	Não	(Orlando, 1985)
0,75	8,00	34,5	Não	(Orlando, 1985)

Os resultados de previsão de capacidade de carga obtidos para essas fundações através das formulas teórica de Grenoble (BIAREZ e BARRAUD, 1968) e semi-empíricas de Aoki (1975) e Décourt (1996) são comparados com as capacidades de carga determinadas pelas provas de carga. Os resultados dessas comparações são apresentados nas Tabela 4 e Tabela 5, em termos da razão: resultado do método / resultado da prova de carga.

Para a aplicação do Método de Grenoble (BIAREZ e BARRAUD, 1968) os valores de ângulo de atrito, $\phi=20^\circ$, peso específico natural $=15\text{kN/m}^3$ e coesão, $c=10\text{ kPa}$, foram obtidos por correlações empíricas, conforme sugerido por Godoy (1983) e Teixeira (1996).

Para os métodos de Aoki (1976) e Décourt (1996) os valores de previsão de capacidade de carga mostram-se conservadores com relação as capacidades de carga obtidas pelas provas de carga. Isto se justifica pelos baixos valores de SPT, para os quais as fórmulas não apresentam precisão. Observa-se também que estas fórmulas foram desenvolvidas para estacas submetidas a esforços de compressão, podendo haver certa diferença entre o atrito lateral à compressão, quando comparando com o atrito lateral à tração.

Observa-se na Figura 5 a tendência a uma assíntota horizontal indicando o esgotamento do atrito lateral à medida que se desloca o elemento de fundação e que para até 20 mm de deslocamento ocorre a mobilização da maior parte do atrito lateral disponível.

Tabela 4. Cargas de Ruptura.

PrPCT = carga de ruptura para a prova de carga à tração. Pvdv = carga de ruptura para estacas tracionadas através do método de Van der Veen modificado por Aoki (1976) de extrapolação. PrG0 = cargas de ruptura estimadas pelo método da Universidade de Grenoble (BIAREZ e BARRAUD, 1968) com $\lambda=0$. PrAVspt = cargas de ruptura estimadas pelo método de Aoki & Velloso - SPT (1975). PrDC = carga de ruptura pelo método de previsão de Décourt (1996).

Método	Prova de Carga	Van der Veen (modif. Aoki. 1976)	Grenoble	Aoki (SPT)	Décourt
Carga de ruptura	PrPCT (kN)	Pvdv (kN)	PrG0 (kN)	PrAVspt (kN)	PrDC (kN)
Tubulão sem revestimento	435	410	205	88	143
Tubulão com revestimento	494	474	330	113	233

Tabela 5. Carga de ruptura do método / carga de ruptura da prova de carga.

Método	Prova de Carga	Van der Veen (modif. Aoki. 1976)	Grenoble	Aoki (SPT)	Décourt
Tubulão sem revestimento	1,00	0,94	0,47	0,20	0,33
Tubulão com revestimento	1,00	0,96	0,67	0,23	0,47

6 Conclusões

Os resultados mostram que valores baixos de SPT dificultam a aplicação das fórmulas de previsão estudadas, sendo necessário a realização de provas de carga para se obter uma maior confiabilidade no projeto de fundações nessas condições.

A consideração de atrito lateral em tubulões revestidos se aplica desde que os revestimentos sejam instalados bem justos a cava.

Os resultados de aderência considerando a ruptura na ligação concreto-solo foram, para tubulão sem revestimento, $41,0\text{ kN/m}^2$ e, com revestimento, $29,0\text{ kN/m}^2$, compatíveis com o esperado para solos de alta porosidade. Esses valores corroboram com os resultados de outros estudos.

Há poucas provas de carga a tração em tubulões e a continuidade da realização desses ensaios, em fundações desse tipo, contribuirá para uma evolução do que já se conhece sobre este tema.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade Estadual de Campinas pelo apoio dado durante o desenvolvimento deste trabalho

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2006). NBR 12131. *Estacas- Prova de carga estática: método de ensaio*. Rio de Janeiro.
- Aoki, N.; Velloso, D. A. (1975). *An approximate method to estimate the bearing capacity of piles*. In: *Panamerican Conf. on Soil Mech. And Found. Engng*, 5., Buenos Aires. V.1 p.367- 376.
- Aoki, N. (1976). *Considerações sobre a capacidade de carga de estacas isoladas*. Curso de Extensão Universitária em Engenharia de Fundações, Universidade Gama Filho, Rio de Janeiro, 44p.
- Biarez, J.; Barraud, Y. (1968) *Adaption des foundations de pholes au terrain par les méthodes de la mecanique des sols*. In: *Conference Internationale des Grands Reseaux Electriques*. Paris. Compte Rendu.
- Cury Filho, D. (2016). *Previsão da Carga de Ruptura de Estacas Metálicas Submetidas a Esforços de Compressão em Solo de Diabásio da Região de Campinas/SP*. 223p. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas.
- Décourt, L. (1996). *Capacidade de carga de estacas a partir de valores SPT*. In: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, 4., Rio de Janeiro. Anais v. 1, p.45-54.
- Giacheti, H.L. (1991). *Estudo experimental de parâmetros dinâmicos de alguns solos tropicais do Estado de São Paulo*. 232p. Tese. Doutorado em Geotecnia. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos.
- Godoy, N. S. (1983) *Estimativa da capacidade de carga de estacas a partir de resultados de penetrômetro estático*. Palestra, Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, SP.
- Orlando, C. (1985). *Fundações submetidas a esforços verticais axiais de tração. Análise de provas de carga de tubulões em areias porosas*. São Paulo. 235p. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- Peixoto, A. S. P. (2001). *Estudo do Ensaio SPT-T e sua aplicação na prática da Engenharia de Fundações*. 359p. Tese (Doutorado) – Universidade de Campinas, FEAGRI, Campinas.
- Teixeira, A. H. (1996) *Projeto e execução de fundações*, In: Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia, 3, São Paulo, Anais, São Paulo, v. 1. P. 33-50.
- Velloso, D.A.; Lopes, F.R. (2010). *Fundações: critérios de projeto, investigação do subsolo, fundações superficiais, fundações profundas*. São Paulo, Oficina de Textos.