

**PROVAS DE CARGA EM ESTACAS ESCAVADAS COM TRADO MANUAL
PREENCHIDAS COM SOLO-CIMENTO PLÁSTICO**

**Rafael Leite Gonçalves¹, Elian Marcos da Silva Moreira¹, Miriam Gonçalves Miguel¹ e
Antonio Belincanta²**

¹Departamento de Construção Civil/Universidade Estadual de Londrina

²Departamento de Engenharia Civil/Universidade Estadual de Maringá

RESUMO

O solo superficial da região de Londrina/PR se caracteriza por uma argila siltosa de consistência mole a média, laterítica e colapsível. Os solos colapsíveis quando inundados e submetidos a um carregamento, sofrem recalques adicionais que podem levar ao colapso um elemento de fundação. Estacas escavadas com trado manual (brocas), pela sua facilidade de execução em solos porosos são muito usuais em fundações para edificações de pequeno porte na região de Londrina/PR. Essas estacas, por serem geralmente curtas, ficam sujeitas a influência da colapsibilidade do solo desta região. Para o preenchimento das estacas foram utilizados concreto e solo-cimento plástico. O solo-cimento é um material feito com a mistura do próprio solo retirado do furo das estacas, adicionando uma porcentagem em volume de cimento e água. As estacas foram executadas no Campo Experimental de Engenharia Geotécnica (CEEG) da Universidade Estadual de Londrina (UEL). As estacas foram pré-dimensionadas pelo método de Décourt & Quaresma (1978), baseado em ensaio SPT-T realizados no CEEG, sendo a capacidade de carga encontrada de 34,9 KN. As provas de carga estática à compressão realizadas nas estacas seguiram as recomendações do MB 3472 (1991), com duas condições de solo: para solo sem inundação e para solo com inundação. Dessa maneira, foi possível quantificar que a redução da capacidade de carga devido a colapsibilidade do solo foi de 60% para estacas de solo-cimento e 71% para estacas de concreto.

1. INTRODUÇÃO

As estacas tipo “broca” são estacas de pequeno porte, sendo elementos de fundação do tipo profunda, executadas através de trado manual, sem revestimento. Este tipo de fundação é muito utilizado em edificações térreas de pequeno porte e principalmente em “casas populares” que normalmente se designam a moradia de pessoas de baixa renda.

Tendo em vista a utilização desse tipo de fundação por pessoas de baixa renda e que tem como objetivo a redução de custos da obra, este estudo leva em consideração estacas do tipo broca não apenas em concreto como é mais usual, mas também em um outro tipo de material, “solo-cimento”, que é uma mistura do solo retirado do próprio furo e devidamente livre de entulhos com a adição de uma porcentagem de cimento e água. A mistura solo-cimento chega a gerar uma economia de 55% do custo da fundação em estacas tipo broca, em relação a mesma, se executada em concreto (PEDROSO, 1999).

As estacas foram executadas no Campo Experimental de Engenharia Geotécnica (CEEG) da Universidade Estadual de Londrina (Figura 1), onde o solo da região se caracteriza por uma argila siltosa porosa de consistência mole a média, laterítica e colapsível em sua camada superficial. As características geotécnicas deste solo se encontram na Tabela 1 e em Branco *et al* (1998).

Tabela 1. Características geotécnicas do solo utilizado nas provas de carga.

| Massas específicas | | Teor de Umidade | Consistência | | Granulometria | | |
|----------------------|----------------------|-----------------|--------------|-----|---------------|-------|-------|
| $\rho_{sólidos}$ | $\rho_{natural}$ | $W_{médio}$ | LL | LP | Argila | Silte | Areia |
| 3,0g/cm ³ | 1,4g/cm ³ | 35% | 60% | 40% | 89% | 7% | 4% |

Os solos colapsíveis, aumentando sua umidade, sem chegar até a sua inundação, submetidos a um determinado estado de tensões, sofrem uma brusca e acentuada redução de volume fazendo com que apareçam recalques adicionais no solo. Esses recalques adicionais, rompem a interação entre solo e estrutura (fundação), levando a fundação ao colapso.

As estacas são elementos de fundação, do tipo profunda e indireta, no entanto, estacas do tipo broca, são em geral estacas curtas, sendo que se encontram embutidas totalmente no solo superficial, e portanto, estão sujeitas a colapsibilidade do solo superficial da região de Londrina. Estacas de pequeno porte, tendem a sofrer uma perda da capacidade de carga em torno de 50% em relação a sua capacidade de carga quando não submetida a solos colapsíveis (CINTRA, 1998).

Os valores de recalques podem ser obtidos através de provas de carga, ou por métodos já consagrados que levam em consideração características do solo que são obtidas através de ensaios de campo e laboratório. Também, através destes métodos consagrados ou das provas de carga, é possível definir parâmetros de resistência estimados para a fundação, sendo estes parâmetros descritos a seguir.

A capacidade de carga de uma fundação é a carga que provoca a ruptura desse sistema, e cujo valor é limitado pela resistência do elemento estrutural.

A carga admissível de uma fundação é a força aplicada sobre a fundação, provocando apenas recalques que a construção pode suportar sem inconvenientes e oferecendo, simultaneamente, segurança satisfatória contra a ruptura ou o escoamento do solo ou do elemento estrutural da fundação. Os recalques admissíveis são recalques sofridos pela fundação quando submetida a carga admissível, sendo que não provocam danos a estabilidade da estrutura.

Para o pré-dimensionamento das estacas foi utilizado o método de Décourt & Quaresma (1978). Na utilização do Método de Décourt & Quaresma (1978), foram desconsiderados os fatores de correção das resistências de ponta e lateral, no cálculo da capacidade de carga das estacas. O pré-dimensionamento das estacas se baseou nos valores de N_{spt} , obtidos pelo furo nº 5 de sondagem SPT-T, que se localizava mais próximo das estacas, apresentado na Figura 1. Os resultados do pré-dimensionamento estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Valores de capacidades de carga estimadas. Décourt & Quaresma (1978)

| Estacas | P_u (kN) | P_{adm} (kN) |
|---|------------|----------------|
| Escavadas com trado manual (L = 3 metros) | 34,9 | 17,5 |

2. METODOLOGIA

Foi feita a limpeza do local onde seriam executadas as estacas para as provas de carga. Após a limpeza do local, foram executadas 6 estacas do tipo broca, escavadas com trado manual de 20 cm de diâmetro até a profundidade de 3,0m. Foram colocadas 3 barras de aço de bitola de 8,0 mm como armadura de espera. Três furos foram preenchidos com solo-cimento e 3 com concreto. A mistura de solo-cimento foi executada com o solo retirado do furo, devidamente seco ao ar livre e peneirado, com adição de cimento, com traço de 1:18, em volume. O concreto utilizado foi concreto usinado de resistência média de 15 MPa.

As estacas de reação foram escavadas com o auxílio de um trado mecânico, de 25 cm de diâmetro e 8 m de comprimento, ao longo de todo o furo. Foram colocadas 3 barras de bitola de 8,0 mm que foram soldadas a uma barra de 32mm (barra Dywidag), de 1,0m de comprimento (exposta cerca de 15 cm acima da cabeça da estaca), os furos foram preenchidos por concreto usinado de f_{ck} de 15 MPa e *Slump* 15 cm.

Após o preenchimento dos furos das estacas foram executados os blocos de coroamento com armadura em forma de estribos horizontais e verticais de bitola de 6,3mm, e concretados com concreto usinado de f_{ck} de 15 MPa e *Slump* 15 cm.

Os materiais utilizados para as provas de carga foram: macaco hidráulico para aplicar o carregamento; célula de carga para transmitir o valor do carregamento para o indutor de deformações; indutor de deformações para converter o esforço para a unidade de leitura em kN; extensômetros mecânicos com precisão de 0,01mm para medir o recalque da estaca ensaiada durante a aplicação do carregamento; bases magnéticas para fixar os extensômetros nas vigas de referência; vigas de referência para servir de apoio para as bases magnéticas sem interferência de fatores externos e viga metálica de reação.

As provas de carga foram do tipo mistas (Alonso, 1997), iniciando com carregamento lento até a carga admissível e, após, ensaio rápido até a ruptura física e descarregamento. As recomendações do MB3471/1991 foram utilizadas:

Estágio lento: no início do carregamento de cada estaca foi aplicado 20% da carga admissível estimada por Décourt & Quaresma (1978), e foram feitas leituras imediatamente após a aplicação da carga inicial e nos tempos 1,2,4,8,15 e 30 minutos. Caso não haja deslocamentos maiores que 5% durante este estágio é aplicado o 2º carregamento lento, caso contrário é necessário que sejam aguardados mais 30 minutos corridos e assim sucessivamente até completar o 5º carregamento (valor de carga admissível).

Estágio rápido: após o término do estágio lento, iniciou-se o estágio rápido, que consiste na aplicação inicial de 10% da capacidade de carga da estaca, com leituras após a aplicação da carga e nos tempos 0,1,2 e 5 minutos. Aplicou-se, logo em seguida, o próximo carregamento e assim sucessivamente até que fosse atingido o limite de leitura do extensômetro.

Descarregamento: foi feito retirando-se o carregamento do último estágio rápido em duas etapas, ou seja, 50% da carga final do estágio rápido, com as leituras logo após o descarregamento e nos tempos 1, 2 e 5 minutos, em seguida retirou-se toda a carga e repetiram-se as leituras no tempos 0, 1, 2 e 5 minutos.

3. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

As curvas carga *versus* recalque para as estacas de solo-cimento e concreto nas condições do solo sem e com inundação estão apresentadas a seguir nas Figuras 2, 3, 4 e 5. Os valores das cargas de ruptura (P_u), cargas admissíveis (P_{adm}) e recalques admissíveis (r_{adm}), obtidos através de extrapolação pelo método de Van der Veen (1953), para o solo sem inundação e os valores das cargas de colapso (P_c), carga admissíveis para o colapso ($P_{c,adm}$), e recalques admissíveis ($r_{c,adm}$), obtidos através dos gráficos, para o solo com inundação, se encontram na Tabela 3. Com base nos resultados, é possível criar uma relação da influência da

colapsibilidade nos resultados das provas de carga das estacas, estes valores se encontram também na Tabela 3.

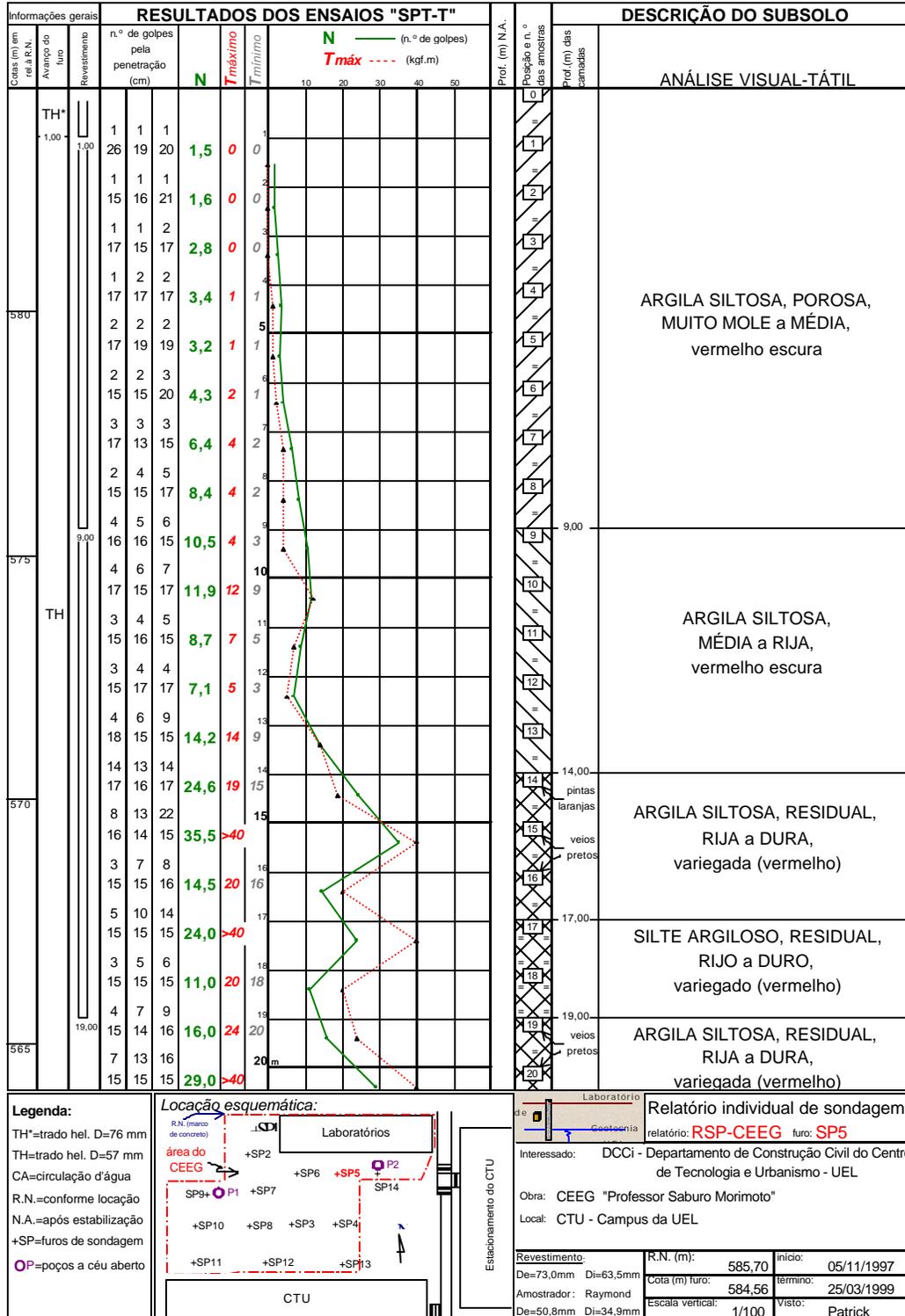


Figura 1. Furo de sondagem SPT-T7

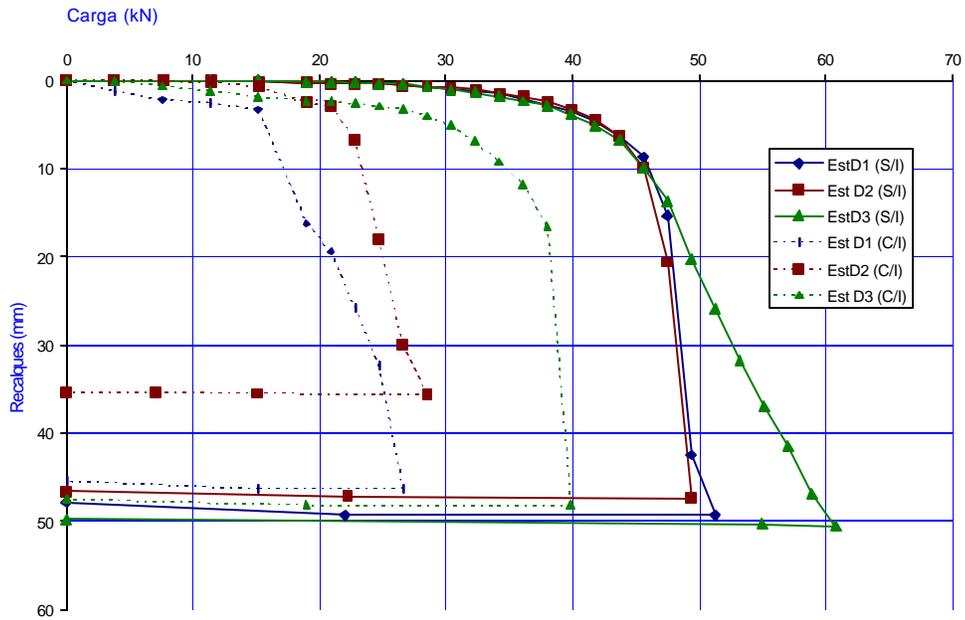


Figura 2. Curvas carga *versus* recalque de estacas de solo-cimento. Ensaio sem inundação (S/I) e reensaio com inundação (C/I).

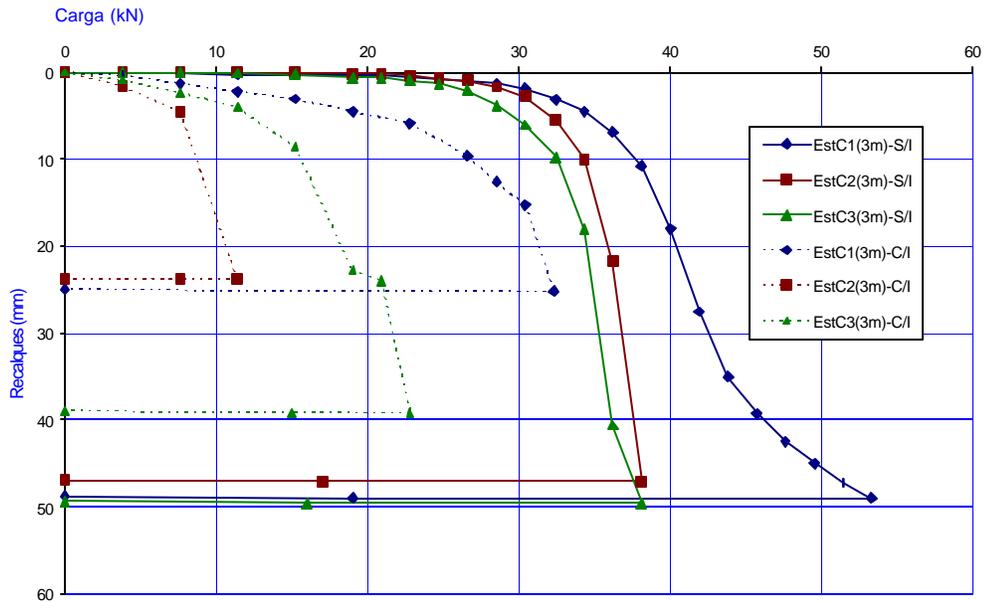


Figura 3. Curvas carga *versus* recalque de estacas de solo-cimento. Ensaio sem inundação e reensaio com inundação (C/I).

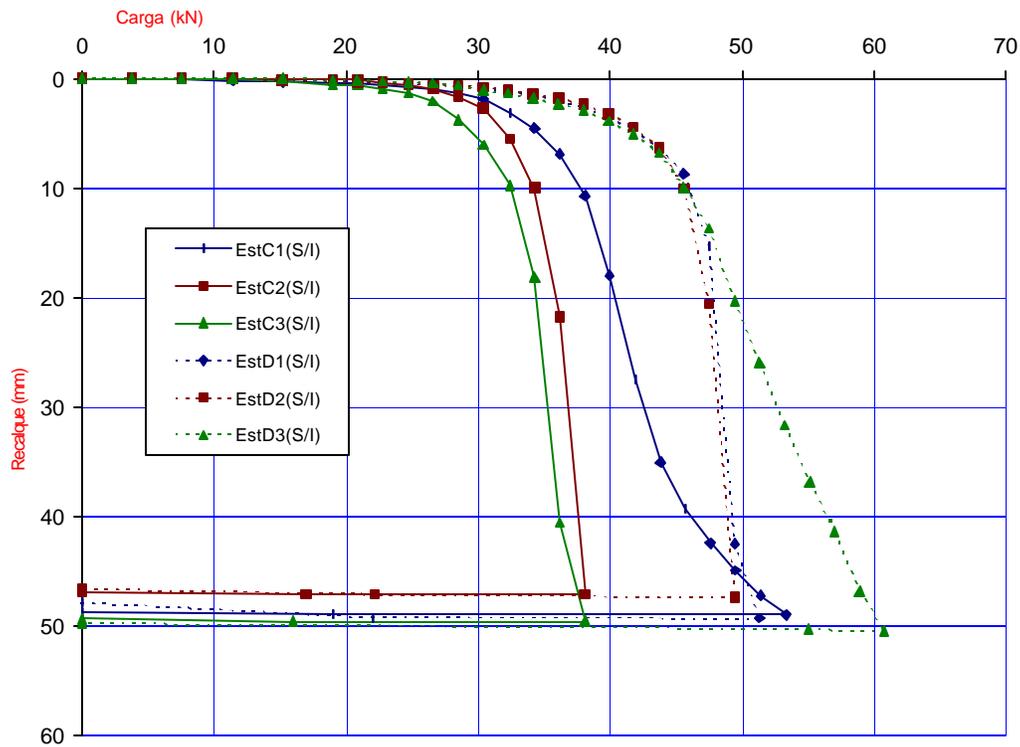


Figura 4. Curvas carga *versus* recalque para as estacas de comprimentos de solo-cimento e de concreto. Ensaio sem inundação (S/I).

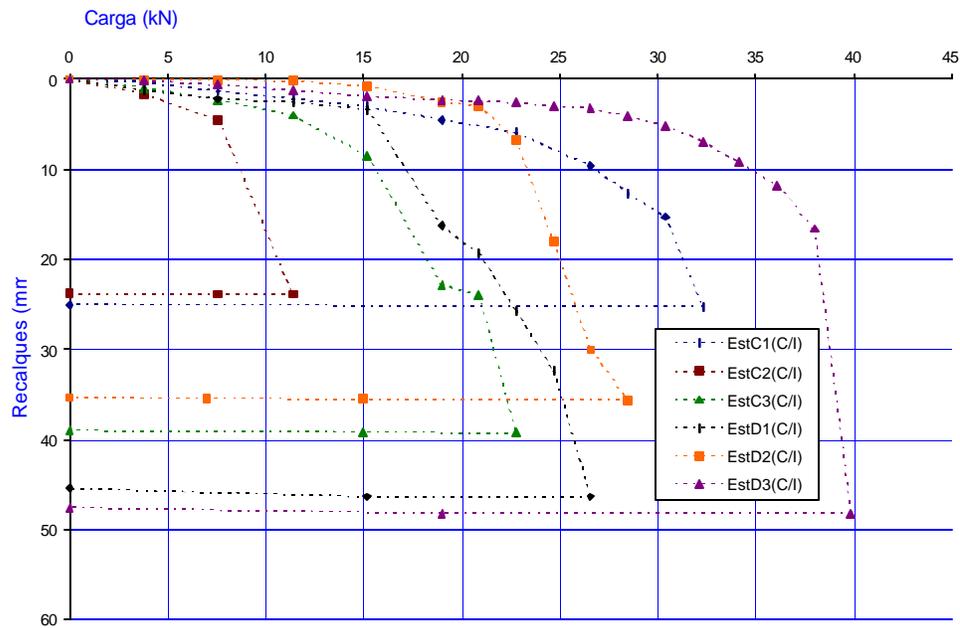


Figura 5. Curvas carga *versus* recalque para as estacas de comprimentos de solo-cimento e de concreto. Reensaio com inundação (C/I).

Tabela 3. Valores médios obtidos nas provas de carga.

| Ensaio com o solo sem inundação | | | |
|---|------------------|------------------|------------------|
| Estacas | P_u (kN) | P_{adm} (kN) | r_{adm} (mm) |
| Concreto (L = 3 metros) | 44,5 | 22,2 | 0,35 |
| Solo-Cimento (L = 3 metros) | 54,4 | 27,2 | 0,7 |
| Ensaio com o solo pré-inundado por 48 horas | | | |
| Estacas | P_c (kN) | $P_{c,adm}$ (kN) | $r_{c,adm}$ (mm) |
| Concreto (L = 3 metros) | 12,7 | 5,1 | 1,27 |
| Solo-Cimento (L = 3 metros) | 20,9 | 10,4 | 0,8 |
| Estacas | Redução de P_u | | |
| Concreto (L = 3 metros) | 71 % | | |
| Solo-Cimento (L = 3 metros) | 60 % | | |

Os Fatores de Segurança (FS) utilizados para determinação das capacidades de carga admissíveis foram 2,0 (dois) para ambas as estacas na condição de solo não inundada. Esses valores foram utilizados com base nos valores de recalques que mobilizam o fuste das estacas, determinados pelo Método de Décourt (1995) apud Hachich (1996), sendo 0,32 mm para as estacas de concreto e 1,0 mm para as estacas de solo-cimento. Na condição de solo com inundação dos valores dos Fatores de Segurança foram 2,0 (dois) para as estacas de solo-cimento e 2,5 (dois e meio) para as estacas de concreto.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A estaca de solo-cimento EstD1 apresentou valores muito diferentes aos das demais estaca EstD2 e EstD3 com inundação, sendo que seus resultados foram descartados nas análises a seguir.

Não foi possível utilizar o método de extrapolação da curva carga *versus* recalque Van der Veen (1953) para determinar a carga de ruptura da EstC1, na condição sem inundação, pois a curva não se assemelhou a uma parábola, acarretando um valor muito alto de capacidade de carga. Dessa maneira, os resultados dessa estaca foram desconsiderados na análise.

Analisando a Tabela 3 foi possível observar que a influência da colapsibilidade do solo em fundações por estacas escavadas com trado manual com 3 m de comprimento em solo-cimento, proporciona em média 60 % de redução de capacidade de carga da fundação e em estacas de mesmas dimensões em concreto, a redução foi de 71 %.

Para confirmação da inundação do solo, foram retiradas amostras de solo a cada metro de profundidade, através de trado manual, e calculou-se o Grau de Saturação (S_r) nessas profundidades, sendo o resultado apresentado na Tabela 4.

Tabela 4. Grau de Saturação do solo a cada metro de profundidade

| Profundidade (m) | S_r (estacas de solo-cimento) | S_r (estacas de concreto) |
|------------------|---------------------------------|-----------------------------|
| 1,0 | 63,3 % | 67,1 % |
| 2,0 | 63,6 % | 68,2 % |
| 3,0 | 70,0 % | 76,0 % |
| 4,0 | 73,7 % | 77,6 % |

O solo não precisa estar 100% saturado para que ocorra a influência da colapsibilidade, sendo que com os graus de saturação apresentados na Tabela 4, já pode ocorrer grande influência da colapsibilidade nos resultados da capacidade de carga da fundação do tipo broca de 3m de comprimento.

5. CONCLUSÃO

As estacas do tipo broca de solo-cimento de diâmetro 20 cm e 3 m de comprimento, executadas no solo de Londrina sem inundação, apresentaram capacidade de carga média de 54,4 kN, enquanto as de concreto apresentaram capacidade de carga de 44,5 kN.

Para as mesmas estacas de solo-cimento, de diâmetro 20 cm de 3 m de comprimento, executadas no solo superficial de Londrina porém com inundação prévia do solo, a capacidade de carga média foi de 20,9 kN, e as de concreto, apresentaram uma capacidade de carga de 12,7 kN.

A redução de capacidade de carga sofrida pelas estacas tipo broca de solo-cimento de 20cm de diâmetro e 3m de comprimento, devido a colapsibilidade do solo superficial da região de Londrina foi em média de 60%, e para estacas de concreto foi de 71%.

A carga de ruptura média para estacas do tipo broca de solo-cimento de diâmetro 20 cm e 3 m de comprimento, obtida através das provas de carga realizadas no CEEG para o solo sem inundação, foi de 54,4 kN, e para estacas de concreto foi de 44,5 kN, sendo que a estimada por Décourt & Quaresma (1978), foi de 34,9 kN, apresentando-se conservador o método em relação ao solo superficial de Londrina.

Os recalques admissíveis obtidos pelas fundações em estacas de solo-cimento foram bastante próximos para ambas as condições do solo, sem inundação e com inundação, verificando a pouco influência da colapsibilidade para esses recalques. Porém, para as estacas em concreto, esta influência é bastante expressiva, visto que os recalques na condição inundada do solo, apesar do Fator de Segurança 2,5 (dois e meio), apresentam-se superiores aos valores de recalques que mobilizam o fuste das estacas.

O uso do solo-cimento para estacas de pequeno porte no solo colapsível de Londrina, se mostra mais viável econômica e tecnicamente que as mesmas estacas se executadas em concreto, tendo em vista que esta fundação se torna cerca de 55% mais econômica e possui capacidade de carga maior que as executadas em concreto, além de sofrerem uma menor redução de capacidade de carga sob a influência da colapsibilidade do solo de Londrina.

AGRADECIMENTOS

Ao técnico Pedro Cândido de Souza de laboratório de Mecânica dos Solos da UEL, à Prefeitura do Campus Universitário da UEL, ao Laboratório de Topografia do Departamento de Geociências da UEL, à Universidade Estadual de Maringá, à Universidade de São Paulo/Campus São Carlos, à Construtora Construblok Ltda, à Monfer Ferramentas, à Protendidos Dywidag, à Montasa e à Basestac.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT (1991) “Estacas – Prova de Carga Estática”. MB – 3472, Rio de Janeiro – RJ, 4p.

ABNT (1996) “Projeto de Fundações”. NBR-6122, Rio de Janeiro – RJ.

ALONSO, Urbano R. (1997) “Prova de Carga Estática em Estacas (Uma Proposta para Revisão da Norma NBR 12.131)”. *Solos e Rochas*, São Paulo, n. 20.

BRANCO, C. J. M da C.; MIGUEL, M. G.; PINESE, P. P. e TEIXEIRA, R. S. (1998) “Implantação do Campo Experimental de Engenharia Geotécnica no Campus da UEL”. Anais: XI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, v. II, 06 a 10 de novembro, Brasília/DF.

CINTRA, J. C. A. (1998) “Fundações em Solos Colapsíveis”. São Carlos: Serviço Gráfico da EESC/USP, São Carlos/SP, 116p.

DÉCOURT, L. & QUARESMA, A. R. (1978) “Capacidade de Carga de Estacas a partir de Valores de SPT”. *Anais do VI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações*. Rio de Janeiro, volume 1, p.45-54.

HACHICH, W. (1996) *Fundações: Teoria e Prática*. Editora Pini. 1996.

PEDROSO, N. F. Estudo da viabilidade do uso do solo-cimento plástico em estacas brocas na camada porosa do solo da região de Londrina. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Londrina, 1999.

VAN DER VEEN, C. (1953) “The Bearing Capacity of a Pile”. *Proc.: Third International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Zurich, v. 2, p. 84-90.