



# Previsão de recalques em fundações: retroanálise de prova de carga estática

Barbara Natalia Rodrigues

Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, Brasil, barbara\_t43@hotmail.com

Luiz Russo Neto

Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, Brasil, luiz.russo@pucpr.br

**RESUMO:** O presente trabalho apresenta a retroanálise de uma prova de carga estática em uma estaca hélice contínua, executada sobre formação Guabirotuba. Os resultados da prova de carga utilizados nesse trabalho, realizada pela Fugro In Situ Geotecnia Ltda, foram fornecidos pela Msc. Laísa Berno Benetti, proveniente do banco de dados de sua dissertação de mestrado. Para a estimativa do recalque no topo da estaca, pelo método de Aoki e Lopes (1975), são consideradas duas parcelas de recalque, o recalque devido à deformação elástica da estaca e o recalque pela deformação do maciço de solo na ponta da estaca (VÉSIC, 1975). Para estimar a deformação que ocorre no fuste da estaca foi utilizado o princípio da lei de Hooke. Os resultados obtidos neste trabalho, do recalque estimado pelo Método de Aoki e Lopes (1945) ao serem comparados com o recalque obtido na prova de carga estática, demonstraram-se satisfatórios.

**PALAVRAS-CHAVE:** Previsão recalque, Estaca hélice contínua, Formação Guabirotuba.

## 1 INTRODUÇÃO

Todas as estruturas apoiam-se direta ou indiretamente em solos, por esta razão, para que as obras de engenharia civil tenham desempenho adequado, devem estar fixadas em fundações, as quais transmitem cargas da obra ao maciço de solo.

Segundo a NBR 6122 (ABNT, 2010), uma fundação deve ser concebida e executada para atender aos estados limite último (ELU – segurança contra a ruptura) e ao estado limite de serviço (ELS – segurança contra deformações excessivas).

As verificações de segurança à ruptura (ELU) são hoje bem conhecidas e fazem parte da rotina de trabalho de um projetista de fundações. Já as condições de verificação de deformações excessivas (ELS), geralmente não são realizadas. O texto normativo é vago, apenas indica que o valor do efeito das ações deve ser menor ou igual ao valor limite de serviço.

O recalque é definido como movimento

vertical descendente de um elemento estrutural. Convenciona-se representar o recalque com sinal positivo (NBR 6122, 2010).

A questão fundamental a ser resolvida, portanto, na análise do estado limite de serviço (ELS), é a determinação dos recalques do solo quando o mesmo é solicitado por carga advindas das obras de engenharia.

Os profissionais da área reconhecem que este problema é bastante complexo, por causa dos motivos referentes ao comportamento do solo com as estruturas, não existindo na verdade solução reconhecida como adequada, nem no plano teórico nem como regra empírica (MILITISKY; CONSOLI; SCHANID, 2015).

Devido o recalque ser impossível de se contornar, mesmo que mínimo, a previsão deles, ainda na fase de projeto, faz com que diversos empecilhos futuros não ocorram.

Este artigo é resultado do trabalho de conclusão de curso apresentada por Rodrigues (2018) à Pontifícia Universidade Católica do Paraná.



## 2 METODOLOGIA

O trabalho apresenta a retroanálise de uma prova de carga, realizada em estaca hélice contínua, na região de formação Guabirota.

Os resultados da prova de carga foram fornecidos pela Msc. Laísa Berno Benetti, proveniente do banco de dados de sua dissertação de mestrado “Estacas hélice contínua executadas em solos da formação Guabirota: estudo do comportamento e reavaliação de métodos semiempíricos de previsão da capacidade de carga” realizadas pela empresa Fugro In Situ Geotecnia Ltda.

Para a estaca analisada são fornecidas suas características geométricas, o resultado da prova de carga estática e duas sondagens SPT executadas próximas ao local do ensaio. A estaca selecionada possui diâmetro de 50 cm e comprimento de 11,0 m. A carga de trabalho da estaca é de 700 kN. A estaca foi submetida à prova de carga estática com carregamento lento, distribuído em 7 estágios de aproximadamente 200 kN até a carga de 1400 kN.

Para a determinação do recalque no topo da estaca com a aplicação de carga normal, são consideradas duas parcelas de recalque, o recalque devido à deformação elástica da estaca e o recalque pela deformação do maciço de solo na ponta da estaca, Vésic (1975).

Para determinar a deformação que ocorre no fuste da estaca foi utilizado o princípio da lei de Hooke, a partir do diagrama de transferência de carga na estaca. E para determinar o recalque que ocorre no maciço de solo, na ponta da estaca, foi utilizado o Programa desenvolvido em 1989, por Nelson Aoki em linguagem basic, ambiente MS-DOS. O programa utiliza a integração numérica da solução de Mindlin e fornece o deslocamento vertical na ponta da estaca.

## 3 MÉTODO DE AOKI E LOPES PARA PREVISÃO DE RECALQUE

Segundo Dias (1977), no método de Aoki e Lopes (1975) são calculadas tensões e recalques de pontos no interior do solo por um processo

numérico, onde as cargas que um grupo das estacas transmite ao solo são decompostas em um sistema equivalente de cargas concentradas, cujos efeitos são superpostos no ponto.

Os autores consideram que haja uma distribuição linear de carga ao longo do fuste, impõem, portanto, uma condição de distribuição. A discretização consiste em se ter equações que reduzam a carga transferida a um sistema equivalente de cargas pontuais (DIAS, 1977).

Os efeitos são calculados pela solução de Mindlin (1936), que admite ser o solo homogêneo, isotrópico, semi-infinito e apresenta comportamento elástico linear.

A expressão que fornece o deslocamento vertical ( $w$ ) em um ponto da massa de solo da solução de Mindlin é dada por:

$$w = \frac{P}{16\pi G(1-\nu)} \left[ \frac{3-4\nu}{R_1} + \frac{8(1-\nu^2)-(3-4\nu)}{R_2} + \frac{(z-c)^2}{R_1^3} + \frac{(3-4\nu)(z+c)^2 - 2cz}{R_2^3} + \frac{6cz(z+c)^2}{R_2^3} \right] \quad (1)$$

Onde:

$P$  = carga concentrada vertical aplicada dentro do maciço de solo (ponta da estaca);

$G$  = módulo de elasticidade transversal do solo;

$\nu$  = coeficiente de Poisson do solo;

$z$  = profundidade do ponto em que se deseja calcular o deslocamento;

$c$  = profundidade do ponto de aplicação da carga concentrada ( $P$ ).

$$R_1 = \sqrt{r^2 + (z-c)^2} \quad (2)$$

$$R_2 = \sqrt{r^2 + (z+c)^2} \quad (3)$$

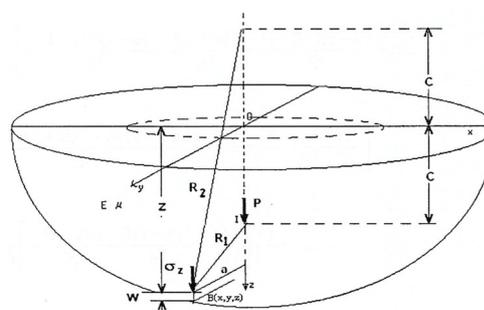


Figura 1. Solução de Mindlin  
 Fonte: Reis, 2000 apud. Neto 2005.



Para o caso de maciços serem heterogêneos e de espessura finita, os autores sugerem adotar o procedimento de Steinbrenner (1934), no qual o recalque pode ser obtido a partir da solução de espessura infinita pela diferença entre o recalque no ponto em estudo e o ponto onde é considerada a superfície indeslocável. A Figura 2 ilustra a aplicação do procedimento de Steinbrenner para o caso de meio heterogêneo.

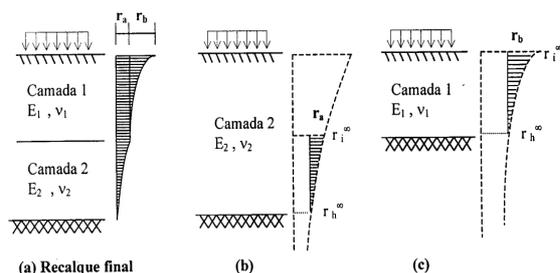


Figura 2. Procedimento de Steinbrenner  
 Fonte: Iwamoto, 2000.

Para o caso da aplicação do método Aoki e Lopes (1975) no cálculo do recalque do topo das estacas, são necessárias duas considerações fundamentais, o levantamento da indeterminação do problema e a proposição de Vésic, explicados nos itens a seguir.

### 3.1 Indeterminação do problema

A distribuição de tensões entre o elemento estrutural de fundação e o maciço de solo envolve um elevado grau de indeterminação ou hiperestaticidade. Segundo Aoki (1989), essa indeterminação pode ser levantada se for conhecido o mecanismo de transferência de carga.

Neste trabalho, as parcelas de resistência de ponta ( $P_p$ ) e de atrito lateral ( $P_L$ ), bem como a distribuição deste ao longo do fuste da estaca foram calculados pelo método de Aoki e Velloso.

### 3.1 Proposição de Vésic

Segundo Vésic (1975), o recalque no topo da estaca é dado por duas parcelas, o deslocamento da ponta da estaca ( $\rho_s$ ) determinado, pela

integração numérica de Mindlin, apresentada por Aoki e Lopes, acrescido do encurtamento elástico da estaca ( $\rho_c$ ), calculado pela lei de Hooke a partir do diagrama de esforço normal na estaca. A seguir são representadas as parcelas do recalque de acordo com a proposição de Vésic (1975).

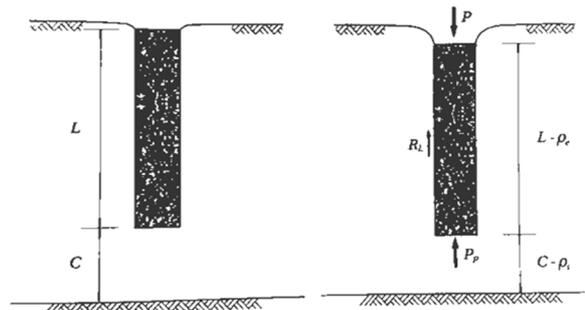


Figura 3. Parcelas do recalque da estaca  
 Fonte: Cinta e Aoki, 2010.

Para o cálculo do recalque total no topo da estaca, foram realizadas três combinações com o módulo de deformação do solo e o módulo de elasticidade do concreto:

- Módulo de deformação do solo e módulo de elasticidade do concreto lineares;
- Módulo de deformação do solo linear e módulo de elasticidade do concreto não linear;
- Módulo de deformação do solo e módulo de elasticidade do concreto não lineares.

Como a estaca analisada possui duas sondagens próximas, as três combinações de módulo de elasticidade foram consideradas para as duas sondagens, portanto, ao final do trabalho são apresentados seis gráficos de carga versus recalque. Os resultados das estimativas do recalque são comparados à prova de carga realizada.

### 3.2 Recalque pela deformação no solo abaixo da ponta da estaca

Para determinar o recalque que ocorre no solo, foi utilizado o Programa desenvolvido em 1989, por Nelson Aoki em linguagem basic, ambiente MS-DOS. O programa utiliza a integração numérica da solução de Mindlin e fornece o



deslocamento vertical na ponta da estaca.

A definição dos módulos de deformabilidade do solo são questões fundamentais para a determinação do recalque na estaca, a seguir é explicado como foram calculados os módulos de deformabilidade do solo.

### 3.2.1 Módulo de deformabilidade do solo

O módulo de deformabilidade linear do solo ( $E_s$ ) foi determinado conforme a correlação semi-empírica a partir do  $N_{SPT}$  com a fórmula mostrada a seguir. Para a sondagem SPT-01 foi usado  $\eta$  igual a 2 e para SPT-02 foi usado  $\eta$  igual a 4.

$$E_s = \eta \times q_c \cong \eta \times k \times N_{SPT} \quad (4)$$

Para a estimativa do recalque, é relevante definir a deformabilidade do solo abaixo da ponta da estaca até o indeslocável. Como a estaca ensaiada estava com sua ponta no limite da sondagem, foi necessário extrapolar o valor do módulo de deformabilidade e arbitrar uma espessura de solo até o indeslocável.

Dessa maneira, foi realizada uma correlação linear para os últimos três metros do trecho que possui sondagem. Com o gráfico da profundidade versus módulo de deformabilidade, foi admitido o módulo de deformabilidade do solo continuar linear até cinco metros abaixo da estaca. Os valores do módulo de deformabilidade linear calculados para as camadas abaixo da estaca, podem ser vistos na Tabela 1.

Tabela 1. Módulo de deformabilidade do solo extrapolado linear

Prof (m)	$E_s$ (kPa)	
	SPT-1	SPT-2
11	49000	55067
12	82600	77467
13	116200	99867
14	149800	122267
15	183400	144667

Para o cálculo do módulo de deformabilidade não linear do solo, foi utilizada a metodologia de Aoki (1984), que determina o acréscimo de tensões em uma determinada camada pelas fórmulas a seguir.

Propagação de tensão devido à reação de ponta:

$$\Delta_{\sigma p} = \frac{4 P_p}{\pi \left( D+h+\frac{H}{2} \right)^2} \quad (5)$$

Propagação de tensão devido às cargas laterais:

$$\Delta_{\sigma i} = \frac{4 R_{Li}}{\pi \left( D+h+\frac{H}{2} \right)^2} \quad (6)$$

Assim, levando em conta todas as parcelas, o acréscimo total de tensões é dado por:

$$\Delta_{\sigma} = \Delta_{\sigma p} + \sum \Delta_{\sigma i} \quad (7)$$

Onde o módulo de deformabilidade do solo pode ser obtido pela equação a seguir, adaptada de Jambu (1963) apud Cintra e Aoki (2010).

$$E_s = E_0 \left( \frac{\sigma_0 + \Delta_{\sigma}}{\sigma_0} \right)^n \quad (8)$$

Onde:

$E_0 = 4 \times K \times N_{SPT}$  para estacas hélice contínua (Aoki, 1984);

$\sigma_0$  = Tensão geostática no centro da camada;

$n$  = expoente que depende da natureza do solo, neste trabalho foi utilizado  $n = -0,5$ .

Na Tabela 2 são apresentados os acréscimos de tensões devido à propagação de tensões e os módulos de deformabilidade do solo para os 5 metros abaixo da ponta da estaca.

Tabela 2. Módulo de deformabilidade do solo não linear

Prof (m)	$\sigma'_0$ (kPa)	$\Sigma \Delta_{\sigma}$ (kPa)		$E_s$ (kPa)	
		SPT-01	SPT-02	SPT-01	SPT-02
12	116	473,63	469,86	36637	17235
13	124	180,19	179,42	74190	31921
14	132	96,10	95,95	113956	46521
15	140	60,28	60,30	153335	60473
16	148	41,60	41,66	191723	73791



Além da utilização do Programa desenvolvido por Aoki, o recalque que ocorre no solo ( $\rho_s$ ) pode ser determinado, pela teoria da elasticidade linear ou método do ângulo de espraiamento, conforme a equação a seguir.

$$\rho_s = \sum \left( \frac{\Delta\sigma}{E_s} H \right) \quad (9)$$

### 3.4 Recalque pela deformação da estaca

O procedimento para determinação da deformação da estaca consiste em se obter a força axial em cada metro da estaca e, em seguida, calcular separadamente o encurtamento de cada parte. A soma algébrica dessas variações de comprimento dará a deformação total da estaca. Assim, a deformação total ( $\rho_c$ ), pode ser obtida pela equação:

$$\rho_c = \sum_{i=1}^n \frac{P_i \times L_i}{E_i \times A_i} \quad (10)$$

Para a determinação do módulo de elasticidade não linear do concreto, é utilizado o diagrama parábola – retângulo (Figura 4), conforme NBR 6118 (2014).

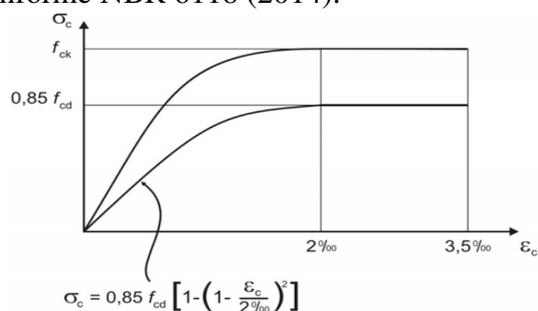


Figura 4. Diagrama tensão-deformação  
 Fonte: NBR 6118, 2014.

A partir da fórmula da tensão no concreto ( $\sigma_c$ ), é possível determinar a deformação específica ( $\epsilon_c$ ).

$$\epsilon_c = 0,002 * \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{\sigma_c}{f_{ck}}} \right) \quad (11)$$

Com a deformação específica ( $\epsilon_c$ ) e a tensão normal ( $\sigma$ ) de cada camada, pode ser calculado o módulo de elasticidade não linear do concreto com o princípio da lei de Hooke.

$$E_c = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (12)$$

## 4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A seguir são apresentados as tabelas e gráficos dos recalques para a estaca, estimados a partir do método de Aoki e Lopes comparando-os com o valor de recalque obtido nos ensaios de prova de carga. O recalque obtido no topo da estaca, segundo a proposição de Vésic (1975), é a soma da deformação do solo com a deformação no concreto. Como citado anteriormente, foram realizadas três combinações com o módulo de deformação do solo e o módulo de elasticidade do concreto.

### 4.1 Módulo de deformação do solo e o módulo de elasticidade do concreto lineares

Nas Tabelas a seguir, são apresentados os estágios de aplicação de carga, a carga e os recalques obtidos durante o ensaio de prova de carga, bem como as deformações no concreto, no solo e o recalque obtido pela soma dessas duas parcelas de deformação para módulo de deformação do solo e o módulo de elasticidade do concreto lineares.

Tabela 3. Recalques –  $E_{\text{solo}}$  linear  $E_{\text{conc}}$  linear – SPT-01

Estágio	Carga (kN)	Recalque (mm)			
		PCE	Concreto	Solo	AOKI-LOPES
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
1	209	0,23	0,11	0,03	0,14
2	410	0,51	0,40	0,07	0,46
3	612	1,00	0,84	0,20	1,04
4	804	2,26	1,35	0,82	2,16
5	1004	9,06	1,90	2,91	4,82
6	1201	13,90	2,46	5,05	7,50
7	1401	21,87	3,02	7,21	10,23



Tabela 4. Recalques –  $E_{\text{solo}}$  linear  $E_{\text{conc}}$  linear – SPT-02

Estágio	Carga (kN)	Recalque (mm)			
		PCE	Concreto	Solo	AOKI-LOPES
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
1	209	0,23	0,13	0,03	0,16
2	410	0,51	0,43	0,08	0,52
3	612	1,00	0,87	0,23	1,10
4	804	2,26	1,38	1,35	2,73
5	1004	9,06	1,95	3,69	5,63
6	1201	13,90	2,50	5,99	8,49
7	1401	21,87	3,06	8,33	11,39

Nos gráficos a seguir, são apresentados os resultados da prova de carga e o recalque obtido pelo método de Aoki e Lopes.

Gráfico 1. Recalque PCE x Aoki-Lopes –  $E_{\text{solo}}$  linear  $E_{\text{conc}}$  linear - SPT-01

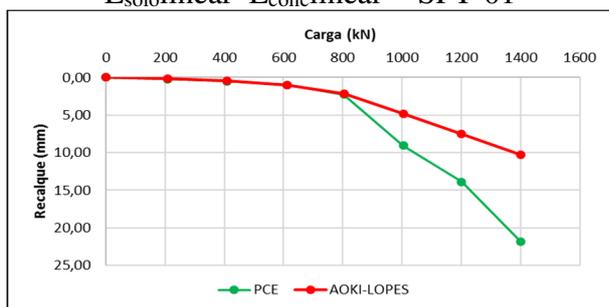
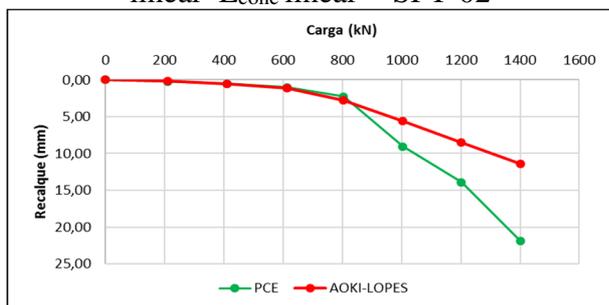


Gráfico 2. Recalque PCE x Aoki-Lopes –  $E_{\text{solo}}$  linear  $E_{\text{conc}}$  linear - SPT-02



#### 4.2 Módulo de deformação do solo linear e módulo de elasticidade do concreto não linear

Nas tabelas a seguir, são apresentados os estágios de aplicação de carga, a carga e os recalques obtidos durante o ensaio de prova de carga, bem como as deformações no concreto, no

solo e o recalque obtido pela soma dessas duas parcelas de deformação para o módulo de deformação do solo linear e módulo de elasticidade do concreto não linear.

Tabela 5. Recalques –  $E_{\text{solo}}$  linear  $E_{\text{conc}}$  não linear – SPT-01

Estágio	Carga (kN)	Recalque (mm)			
		PCE	Concreto	Solo	AOKI-LOPES
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
1	209	0,23	0,11	0,03	0,14
2	410	0,51	0,40	0,07	0,47
3	612	1,00	0,86	0,20	1,07
4	804	2,26	1,40	0,82	2,21
5	1004	9,06	2,01	2,91	4,92
6	1201	13,90	2,62	5,05	7,67
7	1401	21,87	3,27	7,21	10,49

Tabela 6. Recalques -  $E_{\text{solo}}$  linear  $E_{\text{conc}}$  não linear – SPT-02

Estágio	Carga (kN)	Recalque (mm)			
		PCE	Concreto	Solo	AOKI-LOPES
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
1	209	0,23	0,13	0,03	0,16
2	410	0,51	0,44	0,08	0,52
3	612	1,00	0,90	0,23	1,13
4	804	2,26	1,44	1,35	2,79
5	1004	9,06	2,05	3,69	5,74
6	1201	13,90	2,67	5,99	8,66
7	1401	21,87	3,32	8,33	11,65

Nos gráficos a seguir, são apresentados os resultados da prova de carga e o recalque obtido pelo método de Aoki e Lopes.

Gráfico 3. Recalque PCE x Aoki-Lopes -  $E_{\text{solo}}$  linear  $E_{\text{conc}}$  não linear - SPT-01

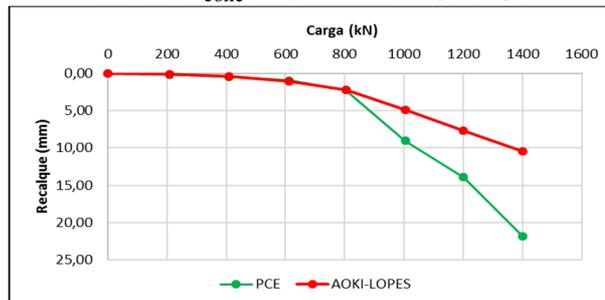
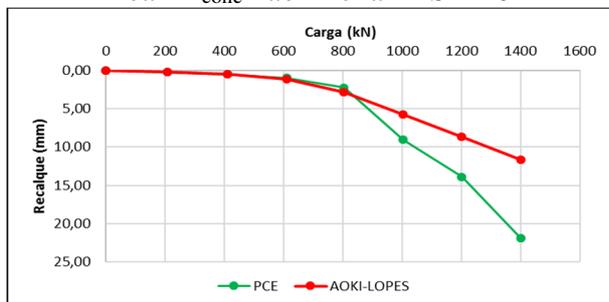




Gráfico 4. Recalque PCE x Aoki-Lopes -  $E_{\text{solo}}$  linear  $E_{\text{conc}}$  não linear - SPT-02



#### 4.3 Módulo de deformação do solo e módulo de elasticidade do concreto não lineares

Para o módulo de deformação do solo e módulo de elasticidade do concreto não lineares, são apresentados na Tabela 7 e na Tabela 8, os estágios de aplicação de carga, a carga e os recalques obtidos durante o ensaio de prova de carga, bem como as deformações no concreto, no solo (com a utilização do programa e pelo método do espriamento) e o recalque obtido pela soma dessas duas parcelas de deformação.

Tabela 7. Recalques -  $E_{\text{solo}}$  não linear  $E_{\text{conc}}$  não linear – SPT-01

Estg.	Carga (kN)	Recalque (mm)					
		PCE	Conc.	Solo	Solo ESPR.	AOKI-LOPES	AOKI-LOPES ESPR.
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	209	0,23	0,11	0,03	0,08	0,14	0,19
2	410	0,51	0,40	0,07	0,27	0,47	0,67
3	612	1,00	0,86	0,23	0,91	1,09	1,77
4	804	2,26	1,40	1,13	3,50	2,53	4,90
5	1004	9,06	2,01	4,93	7,27	6,94	9,27
6	1201	13,90	2,62	9,76	11,69	12,38	14,32
7	1401	21,87	3,27	15,50	16,81	18,77	20,08

Tabela 8. Recalques -  $E_{\text{solo}}$  não linear  $E_{\text{conc}}$  não linear – SPT-02

Estg.	Carga (kN)	Recalque (mm)					
		PCE	Conc.	Solo	Solo ESPR.	AOKI-LOPES	AOKI-LOPES ESPR.
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	209	0,23	0,13	0,03	0,10	0,16	0,23
2	410	0,51	0,44	0,09	0,34	0,53	0,78
3	612	1,00	0,90	0,25	1,03	1,15	1,93
4	804	2,26	1,44	1,88	3,78	3,32	5,22
5	1004	9,06	2,05	6,21	7,87	8,26	9,92
6	1201	13,90	2,67	11,51	12,69	14,18	15,36
7	1401	21,87	3,32	17,79	18,25	21,11	21,57

Nos gráficos a seguir, da curva de carga versus recalque, é apresentado, em verde, o resultado da prova de carga e, em vermelho, o recalque obtido pelo método de Aoki e Lopes. O recalque estimado pelo método de Aoki e Lopes considerando o módulo de deformação do solo não linear é muito próximo ao obtido na prova de carga.

Gráfico 5. Recalque PCE x Aoki-Lopes -  $E_{\text{solo}}$  não linear  $E_{\text{conc}}$  não linear - SPT-01

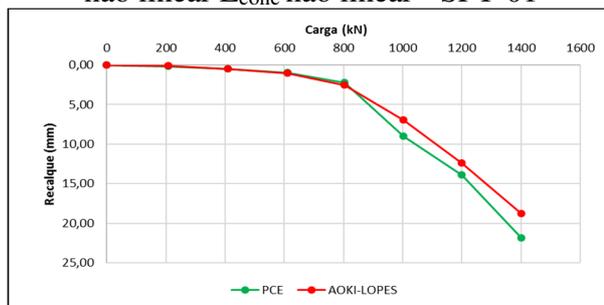
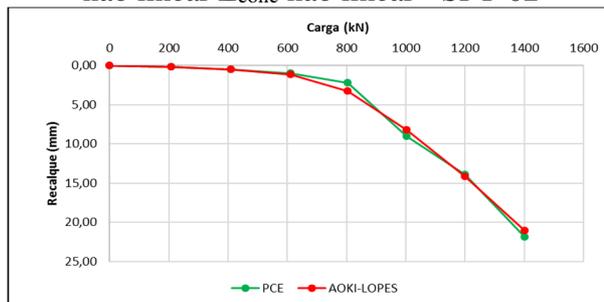


Gráfico 6. Recalque PCE x Aoki-Lopes -  $E_{\text{solo}}$  não linear  $E_{\text{conc}}$  não linear - SPT-02





Nos gráficos a seguir, são apresentados de maneira individual, os recalques calculados para o solo e para o concreto da estaca, também é apresentada, em vermelho, a curva resultante da soma dessas duas parcelas de recalque. Fica claro, portando, que a parcela de recalque do solo, para a estaca analisada, é a mais representativa na previsão do recalque pelo método de Aoki e Lopes.

Gráfico 7. Recalque - Aoki-Lopes -  $E_{\text{solo}}$  não linear  $E_{\text{conc}}$  não linear - SPT-01

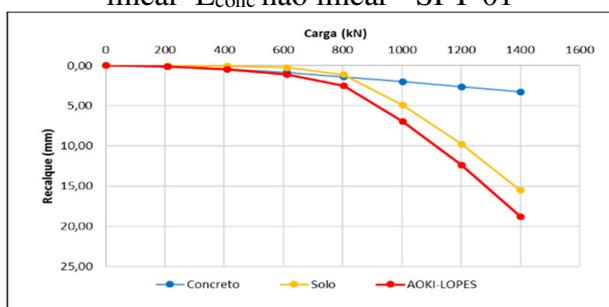
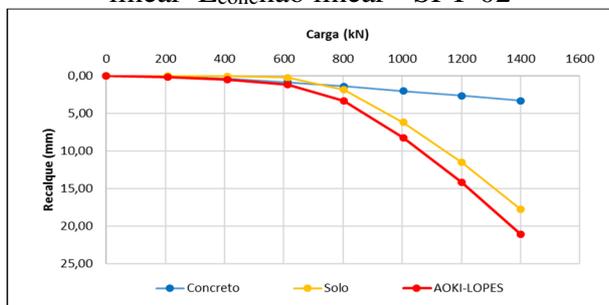


Gráfico 8. Recalque - Aoki-Lopes -  $E_{\text{solo}}$  não linear  $E_{\text{conc}}$  não linear - SPT-02



Nos gráficos a seguir, da curva de carga versus recalque, é apresentado o resultado da prova de carga e o recalque obtido pelo método de Aoki e Lopes, com a parcela do recalque do solo calculado pelo método do ângulo de espraimento. O recalque estimado pelo método de Aoki e Lopes considerando o módulo de deformação do solo não linear é muito próximo ao obtido na prova de carga.

Gráfico 9. Recalque Aoki-Lopes Espraimento -  $E_{\text{solo}}$  não linear  $E_{\text{conc}}$  não linear - SPT-01

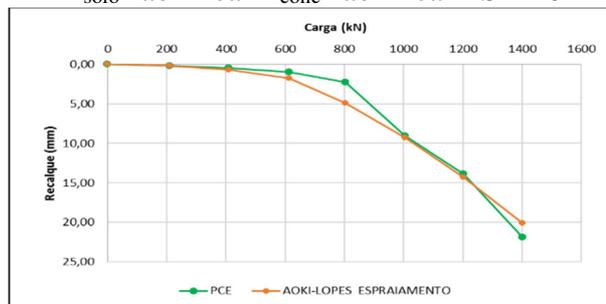
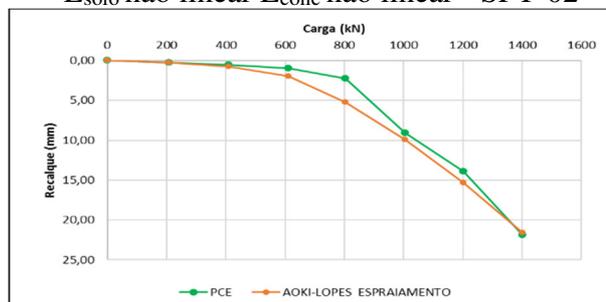


Gráfico 10. Recalque Aoki-Lopes Espraimento -  $E_{\text{solo}}$  não linear  $E_{\text{conc}}$  não linear - SPT-02



Nos gráficos a seguir, são apresentados de maneira individual, os recalques calculados para o solo, pelo método do ângulo de espraimento e o recalque calculado pela deformação do concreto da estaca. Também é apresentada, em vermelho, a curva resultante da soma dessas duas parcelas de recalque.

Gráfico 11. Recalque - Aoki-Lopes Espraimento -  $E_{\text{solo}}$  não linear  $E_{\text{conc}}$  não linear - SPT-01

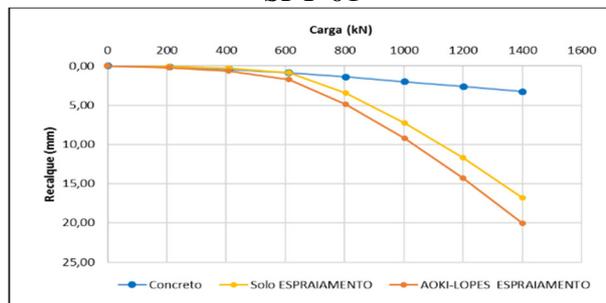
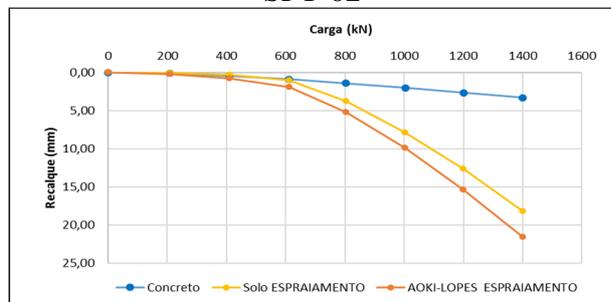




Gráfico 12. Recalque - Aoki-Lopes  
Espriamento -  $E_{\text{solo}}$  não linear  $E_{\text{conc}}$  não linear -  
SPT-02



## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos neste trabalho, do recalque estimado pelo Método de Aoki e Lopes (1945) ao serem comparados com o recalque obtido na prova de carga estática, realizada em estaca hélice contínua, sobre formação Guabirotuba, demonstraram-se satisfatórios.

Para a combinação que utilizou o módulo de deformabilidade do solo não linear, os recalques estimados e os obtidos, na prova de carga, ficaram muito próximos para todas as cargas do ensaio. A relação entre o recalque obtido na prova de carga e os recalques calculados para a carga de ensaio variaram de 101% a 116%. Já para as combinações que usaram o módulo de deformabilidade do solo linear, os recalques obtidos ficaram próximos aos obtidos na prova de carga, apenas para a carga de trabalho e a relação entre o recalque obtido na prova de carga e os recalques calculados para a carga de trabalho variaram de 89% a 96%.

Os resultados obtidos neste trabalho, apresentaram variações que podem ser atribuídas ao fato de que os parâmetros empregados para a previsão dos recalques, foram obtidos por correlações em função dos resultados do ensaio SPT. Portanto, fica clara a importância de uma boa sondagem SPT, para que por correlações semiempíricas sejam obtidos parâmetros coerentes e representativos do solo em estudo.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Professor Luiz Russo Neto por ser um excelente professor, pela disponibilidade, interesse e dedicação na orientação deste trabalho.

Agradeço a Laísa Berno Benetti por disponibilizar os dados para a realização desta pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- ALONSO, U. R. *Previsão e Controle das Fundações*. 2ª Edição. São Paulo: Edgard Blucher Ltda., p. 108-109, 1998.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6122: Projeto e execução de fundações*. Rio de Janeiro, 2010, 91p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto*. Rio de Janeiro, 2014, 238p.
- AOKI, N.; LOPES, F. R. *Estimating stresses and settlements due to deep foundations by the Theory of Elasticity*, Proceedings, 5th. Pan American CSMFE, Buenos Aires, vol. 1, 1975. 377-386 p.
- AOKI, N. *Discussion to Session 14*, Proceedings, 12th. ICSMFE, Rio de Janeiro, vol. 5, 1989. 2963-2966 p.
- AOKI, N.; VELLOSO, D. A. *An approximate method to estimate the Bearing capacity of piles*, Proceedings, 5th. Pan American CSMFE, Buenos Aires, vol. 1, 1975. 367-376p.
- BENETTI, L. B. *Estacas Hélice Contínua Executadas em Solos da Formação Guabirotuba: Estudo do comportamento e Reavaliação de Métodos semiempíricos de Previsão da Capacidade de Carga*. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Paraná, 2016.
- CINTRA, J. C. A; AOKI, N. *Fundações por estacas: projeto geotécnico*, 1. ed, São Paulo, Oficina de textos, 2010, 96p.
- DIAS. C.R. *Recalques de fundações em estacas*. Dissertação (Mestrado em Ciências), Programas de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal Do Rio De Janeiro, 1977.
- IWAMOTO, R. K. *Alguns aspectos dos efeitos da interação solo estrutura em edifícios de múltiplos andares com fundação profunda*. 140p. Dissertação (Mestrado em estruturas), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2000.
- MINDLIN, R. D. *Force at a point in the interior of a Semi-Infinite Solid*: Physics 7, 1936. 195p.
- NETO, L. R. *Interpretação de Deformação e Recalque na fase de Montagem de Estrutura de Concreto com*



*Fundação em Estaca Cravada*. Tese (Doutorado em Geotecnia), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 2005.

POULOS, H. G.; DAVIES, E. H. *Pile foundations analysis and design*. New York, John Wiley and Sons, 1980. 397p.

STEINBRENNER, W. *Tafeln sur Setzungberechnung: Die Strasse*, vol. 1, 1934. 121p.

VÉSIC, A. S. *Principles of pile foundation design*: Lecture 2, Boston Society of Civil Engineers Sections, ASCE, March – April, 1975, 46p.

VÉSIC, A.S. *Problems of development of a mathematical model to predict performance of a pile group*. Working paper prepared for the Federal Highway Administration, Research Review Conference, 1977. 19p