

Avaliação do comportamento dos recalques de estacas hélice contínua no ensaio de carregamento dinâmico e no monitoramento de recalques da estrutura

Danielle de Paula Alvim
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET-MG
Belo Horizonte, Brasil
danitsalvim@yahoo.com.br

Flávio Antônio dos Santos
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET-MG
Belo Horizonte, Brasil
flv-santos@uol.com.br

RESUMO: O presente trabalho tem como finalidade avaliar os recalques obtidos com o monitoramento de recalque da estrutura e com o ensaio de carregamento dinâmico (ECD) em uma obra residencial de grande porte cujas fundações são compostas por estacas hélice contínua assentadas em solo silte argilo-arenoso (Solo residual de Gnaiss) situada na cidade de Belo Horizonte - Minas Gerais - Brasil. Através das análises CAPWAP, realizadas para todos os golpes do ensaio de carregamento dinâmico, foi possível obter o recalque apresentado pela estaca para a carga de trabalho no último golpe do ensaio, considerando-se a deformação residual dos golpes anteriores. Conhecendo-se o Mapa de Cargas da estrutura, emitido pelo engenheiro estrutural, que contém a carga final a que estará submetido cada pilar e os percentuais de execução da obra a cada leitura de recalques estimou-se a carga atuante nos pilares a cada leitura e, dividindo-se este resultado pela quantidade de estacas que compõe o bloco de fundações, obteve-se a carga atuante nas estacas. Conhecendo-se os recalques monitorados nos pilares da estrutura a cada leitura de recalques, admitindo-se que todas as estacas se deformarão da mesma maneira já que estão unidas por um bloco rígido e que esta deformação será igual à deformação medida no pilar, definiu-se equação polinomial que descreve relação carga x recalque para as estacas de 80 centímetros de diâmetro da obra. Aplicando-se esta relação definiu-se o recalque esperado para as estacas quando estas estiverem submetidas à carga de trabalho. Finalmente, definiu-se uma relação entre o recalque apresentado pela estaca no ensaio de carregamento dinâmico e pelo grupo de estacas na estrutura real. Observou-se que o recalque apresentado pelo grupo de estacas medido na estrutura chega a ser, em média, 2,5 vezes maior que o recalque apresentado pela estaca no ensaio de carregamento dinâmico. Avaliou-se ainda a parcela do recalque devido ao efeito de grupo. Espera-se com este trabalho contribuir para as estimativas de recalques das fundações.

PALAVRAS-CHAVE: Ensaio de Carregamento Dinâmico, Estaca Hélice Contínua, Monitoramento de Recalques.

1 INTRODUÇÃO

A estimativa dos recalques é ainda um dos cálculos mais complexos no dimensionamento de uma fundação profunda.

São chamados recalques os deslocamentos observados nos diversos pontos das estruturas de fundação (Barros, 2005).

Podem provocar fissuras localizadas na estrutura ou até levar ao colapso de elementos

isolados ou global. No caso de pequenos deslocamentos, com prejuízo apenas à estética da edificação, os danos são de fácil correção. Ocorre, no entanto, que em edifícios de maior complexidade os recalques podem se apresentar com maior valor absoluto gerando danos estruturais mais graves e de maior dificuldade para correção. Além disso, em ambos os casos, a correção das patologias envolvem custos que nem sempre são previstos pelo construtor.

Decorre daí a importância de se estimar os recalques para a estrutura ainda na fase de projeto e execução. A adoção de métodos de cálculo apropriados e, eventualmente, o acompanhamento ao longo do tempo poderão permitir conformidade entre as expectativas de projeto e o comportamento real da edificação.

Este trabalho se propõe a comparar o comportamento dos recalques de uma fundação em estaca hélice contínua através dos recalques medidos durante a construção e dos ECD realizados.

Pretende-se determinar relação carga x recalque para o edifício em estudo com base nas leituras de monitoramento de recalques da estrutura e relação entre o recalque apresentado pela estaca no ECD e pelo grupo de estacas na estrutura real.

2 CARACTERIZAÇÃO DA OBRA EM ESTUDO

O estudo se desenvolveu em um edifício residencial de alto padrão construído no município de Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. A edificação é composta por 31 pavimentos, sendo a altura superior a 90 metros e mais de 25.000 m² de área construída.

A estrutura do edifício é aporticada em concreto armado com lajes planas e vigas e vedações em alvenaria.

As cargas transmitidas às fundações pelos pilares da Torre são da ordem de 28.000 toneladas. As fundações, tanto da torre como da periferia, constituem-se de estacas Hélice Contínua nos diâmetros de 50 a 80 centímetros e profundidade média de 17,00 metros, escavadas em solo residual de Gnaiss. Para execução das estacas hélice contínua utilizou-se

Perfuratriz Hidráulica Autopropelida da fabricante Casagrande modelo B250 com trado de 19,00 metros e torque de 22 tfxm.

A geotecnia local constitui-se de camada superficial de silte argiloso seguido por silte arenoso (solo de alteração da rocha metamórfica de Gnaiss).

A qualidade das fundações foi verificada conforme estabelecido na NBR 6122 (2010) através da realização de dez Ensaios de Carregamento Dinâmico, sendo sete em estacas de diâmetro de 80 centímetros e um ensaio nos diâmetros de 50, 60 e 70 centímetros, e monitoramento de recalques da estrutura durante a construção.

3 MONITORAMENTO DE RECALQUES

O monitoramento dos recalques consiste na instalação de uma referência indeslocável denominada “Benchmarking” e colocação de pinos metálicos nos pilares que se deseja monitorar seguido pela realização de sucessivas leituras altimétricas em cada ponto monitorado tendo como referência o “Benchmarking”.

O “Benchmarking” é definido como um ponto fixo que não está sujeito a recalques, uma vez que sua instalação ocorre em rocha ou solos de elevada resistência.

As leituras altimétricas são realizadas com instrumento óptico de precisão. O recalque total apresentado em cada ponto monitorado é composto pela somatória das deformações obtidas a cada leitura até a estabilização dos deslocamentos.

Foram monitorados os recalques de todos os pilares que compõe a torre do edifício em estudo.

A Tabela 1 a seguir apresenta as datas das leituras realizadas, o intervalo entre leituras e o estágio de execução da obra.

Tabela 1. Datas das leituras e condições de execução.

Leitura	Data	Intervalo entre leituras	Estágio de construção
Inicial	25 e 26/06/2014	-	2ª laje
1ª leitura	27 e 28/08/2014	63 dias	8ª laje/ 1º alvenaria

2ª leitura	9 e 13/10/2014	46 dias	12ª laje/ 6º alvenaria
3ª leitura	24, 25 e 26/11/2014	44 dias	16ª laje/ 9º alvenaria
4ª leitura	11, 12 e 13/02/2015	79 dias	19ª laje/ 13º alvenaria
5ª leitura	4 e 5/05/2015	81 dias	24ª laje/ 17º alvenaria
6ª leitura	19 e 20/08/2015	107 dias	28ª laje/ 22º alvenaria

4 ENSAIO DE CARREGAMENTO DINÂMICO (ECD)

O Ensaio de Carregamento Dinâmico (ECD) é normalizado pela NBR 13208 (2007). Consiste em um ensaio que avalia as cargas mobilizadas na interface solo-estaca, a eficiência do sistema de impacto, as tensões de tração e compressão ao longo da estaca, a integridade estrutural e as características dinâmicas do sistema solo-estaca através da aplicação de golpes de martelo com energia crescente (Andraos, 2009).

O ensaio se baseia na Teoria da Equação de onda unidimensional, com base no modelo idealizado por Smith (1960).

Para realização do ensaio são utilizados analisadores de cravação, como o equipamento PDA – Pile Driving Analyser da PDI (Pile Dynamics, Inc.) e o FPDS – Foundation Pile Diagnostic Systems, da TNO Building and Construction Research Organisation (Andraos, 2009) que armazenam os dados aquisitados pelos transdutores e sensores.

O sistema PDA realiza o cálculo da capacidade de carga através do método simplificado tipo Case (Case Western Reserve Institute) e uma análise numérica através do método CAPWAP.

O método Case fornece para cada golpe transmitido à estaca informações sobre a carga mobilizada na interface solo-estaca, integridade estrutural, tensões dinâmicas máximas compressivas e de tração, deslocamento máximo e máxima energia transferida.

A análise numérica do tipo CAPWAP (Case Pile Wave Analysis Program) obtém como resultado a previsão da carga mobilizada durante o golpe bem como sua distribuição ao longo da profundidade e as parcelas de carga

relativas ao atrito lateral e ponta da estaca.

Para o caso em estudo serão avaliados 7 ECD realizados em estacas de 80 centímetros de diâmetro. A Tabela 2 a seguir apresenta essas estacas, as cargas mobilizadas e deslocamentos observados a cada golpe de energia crescente através da análise CAPWAP.

Tabela 2. Análise CAPWAP.

Estaca	Golpe	Altura queda (cm)	Atrito kN	Ponta kN	Deslocamento máximo (mm)
P05-C	1	60	6.264	436	6,07
	2	100	8.054	946	7,31
	3	130	8.078	1.170	8,85
	4	160	8.222	1.278	11,58
P21-C	1	40	4.618	1.882	10,29
	2	70	4.974	2.076	13,15
	3	100	5.002	2.248	13,44
P12-B	1	40	6.140	1.110	7,07
	2	70	8.028	1.322	9,98
	3	100	8.073	1.427	12,16
P28-D	1	50	6.254	746	9,67
	2	70	6.684	1.303	12,49
	3	100	6.748	1.597	14,59
P42-B	1	40	4.803	1.197	9,50
	2	70	5.387	1.263	13,08
	3	100	5.663	1.281	15,61
P44-L	1	40	2.992	2.008	9,12
	2	70	3.401	2.299	10,66
	3	100	3.436	2.364	12,75
P47-B	1	40	5.604	1.296	7,11
	2	70	6.268	1.517	11,65
	3	100	6.367	2.133	12,28

Analizando-se a tabela 2 verifica-se que a estaca P42-B não apresentou esgotamento de sua capacidade de carga por atrito, ou seja, se fossem aplicados novos golpes a energias crescentes haveria ganho de carga por atrito nesta estaca.

Em relação à parcela de ponta verificou-se que as estacas P28-D e P47-B não esgotaram sua capacidade de carga na ponta. Em relação à estaca P42-B, como sua parcela de atrito não foi esgotada, verificou-se que a parcela de ponta também não corresponde ao máximo.

5 CARGAS APLICADAS NAS FUNDAÇÕES

A análise dos recalques sofridos por uma estrutura passa pelo conhecimento dos esforços

atuantes na mesma. No caso em estudo não se conhece os esforços atuantes na estrutura na ocasião de cada leitura de recalques, porém, são conhecidos os esforços que atuarão na estrutura quando esta estiver finalizada e habitada (Mapa de cargas dos pilares emitido pelo engenheiro estrutural).

Conhecendo-se o estágio de construção a cada leitura estimou-se percentualmente as cargas atuantes na estrutura a cada leitura. Para esta estimativa considerou-se a construção de cada laje como 1,33% dos esforços totais e cada pavimento de alvenaria e revestimento, 0,96%.

Tabela 3. Percentual de esforços atuantes nas fundações a cada leitura de recalques.

Leitura	% Esforços
1ª leitura	11,6
2ª leitura	21,7
3ª leitura	29,9
4ª leitura	37,7
5ª leitura	48,2
6ª leitura	58,4

6 RELAÇÃO CARGA X RECALQUE

Uma vez estimada a carga atuante nos pilares a cada leitura de recalques a carga nas estacas foi considerada como a carga atuante nos pilares dividida pelo número de estacas que compõe o bloco de fundação. Adotou-se nesta etapa a simplificação que todas as estacas de um mesmo bloco de fundação se deformarão igualmente, já que estão unidas por um bloco de fundação rígido, e esta deformação será igual à deformação medida no pilar ao qual as estacas pertencem.

Traçou-se curva carga x recalque para blocos de estacas de diâmetro de 80 centímetros em todas as leituras de recalque (figura 1).

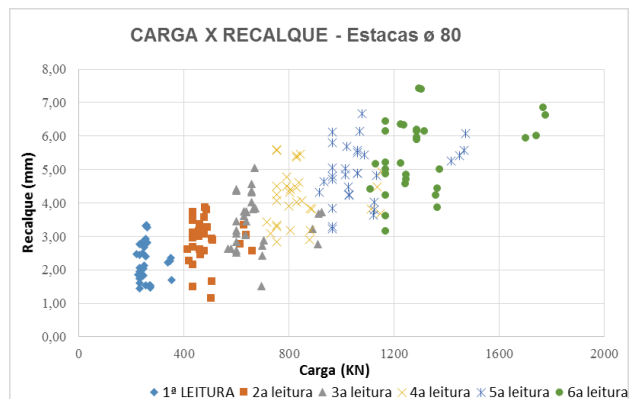


Figura 1. Carga x recalque.

Analizando-se o gráfico da figura 1 verifica-se dispersão nas cargas e recalques a cada leitura, ou seja, em uma mesma leitura há variações na carga a que as estacas estão submetidas e também no recalque apresentado por elas. Verifica-se ainda estacas submetidas à mesma carga que apresentam recalques diferentes.

Conclui-se que o comportamento carga x recalque das estacas não pode ser sintetizado por apenas uma equação. A seguir plotou-se graficamente os limites inferior (valores mínimos de recalque) e superior (valores máximos de recalque) e definiu-se a relação polinomial que melhor define o comportamento desses limites (figura 2).

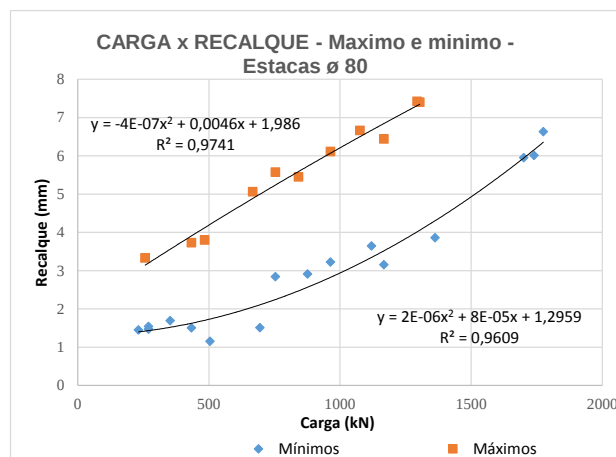


Figura 2. Limites superior e inferior para a relação carga x recalque – estacas Ø 80 cm.

7 RECALQUE REAL X RECALQUE ECD

Sabe-se que o comportamento das estacas quando estão em grupo se difere do comportamento de uma estaca isolada.

Comparou-se então o recalque apresentado pelo grupo de estacas obtido através das leituras de monitoramento de recalques à deformação sofrida pela estaca isoladamente no ECD.

Como a deformação final do grupo de estacas na estrutura não é conhecida uma vez que os pilares ainda apresentam acréscimos de deslocamento e não estão submetidos ao carregamento total, aplicou-se as relações de máximo e mínimo da figura 2 para as estacas submetidas à ECD a fim de se obter os deslocamentos para a carga de trabalho da estaca, ou seja, quando a estrutura estiver submetida aos esforços totais.

A tabela 4 apresenta os recalques máximos e mínimos projetados para as estacas que foram submetidas ao ECD para a carga de trabalho e o recalque apresentado pelas estacas no ensaio também para a carga de trabalho. Para verificação da deformação da estaca no ensaio para a carga de trabalho foi adotado o último golpe, porém, considerou-se as deformações permanentes geradas pelos golpes anteriores. A seguir, avalia-se o percentual de deformações apresentado pela estrutura em relação ao ensaio excluindo-se desta análise a estaca P42 porque esta estaca apresentou baixas deformações no ensaio já que sua capacidade de carga por atrito não foi completamente mobilizada.

Observa-se que as estacas de diâmetro de 80 cm na estrutura real sofrem deformações da ordem de 1,96 a 2,5 vezes, em média, a deformação verificada nos ECD.

Tabela 4. Comparativo entre os recalques apresentados pelas fundações nos ECD e no monitoramento de recalques.

Estaca	Recalque (mm)			%	%
	Mín.	Máx.	ECD		Médio
P12	10,99	14,00	4,38	251,1	319,8
P21	10,99	14,00	7,23	152,0	193,6
P28	10,99	14,00	5,62	195,3	248,8
P47	10,99	14,00	5,41	203,1	258,8
P44	10,99	14,00	7,37	149,0	189,9
P42	10,99	14,00	2,14	513,4	654,0
P05	10,99	14,00	4,86	226,0	287,9

Os recalques de uma estrutura real se processam através de duas parcelas. A primeira parcela se trata do recalque imediato e a segunda ocorre ao longo do tempo e se deve ao adensamento do solo. Nos ECD são observados

apenas os recalques imediatos, que se processam imediatamente após a aplicação do carregamento.

Além disso, as estacas se deformam mais quando estão em grupo do que isoladamente, como ocorre nos ensaios.

Utilizando-se o método de Broms (1964) avaliou-se ainda a relação entre o recalque da estaca isolada e em grupo, conforme a tabela 5. Verifica-se que as estacas em estudo recalcam em média 1,2 vezes o que recalca a estaca isolada.

Tabela 5. Recalque do grupo de estacas em relação à estaca isolada.

Estaca	Φ (cm)	Prof. (m)	N. Esp.	Esp. (m)	Recalque grupo
P12	80	17,50	1	2,00	1,11
P21	80	15,80	2	2,00	1,25
P28	80	16,50	2	2,00	1,24
P47	80	18,00	1	2,00	1,11
P44	80	16,00	3	2,00	1,37
P42	80	16,00	2	1,80	1,22
P05	80	16,00	1	2,00	1,12

8 CONCLUSÕES

Tendo em vista as análises realizadas, conclui-se que:

- A relação carga x recalque não pode ser sintetizada por uma única equação, porém foram definidos os horizontes máximo e mínimo de deformações;
- A relação carga x recalque (máximos e mínimos) pode ser aproximada por uma equação polinomial;
- Estacas de diâmetro de 80 centímetros apresentam recalques na estrutura real superiores em até 2,5 vezes, em média, aos recalques apresentados no ensaio de carregamento dinâmico;
- O efeito de grupo, nas estacas em estudo, provocam recalques de 1,2 vezes, em média, o recalque da estaca isolada;

REFERÊNCIAS

Andraos, N.C. *Ensaio de Carregamento Dinâmico em estacas moldadas in loco: contribuições para a*

seleção do sistema de impacto e amortecimento a partir de retro-análise. 2009. 223p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

Barros, R.A. *Avaliação do comportamento de fundações em estaca hélice através de medidas de recalques*. 2005. 141p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes.

Broms, B. (1964). *Lateral resistance of piles in cohesionless soils*. Journal of the soil mechanics and foundation division , 90 (3), 123-156.

NBR 6122: *Projeto e execução de Fundações*. Rio de Janeiro, 2010.

NBR 13.208: *Estacas – Ensaio de Carregamento Dinâmico*. Rio de Janeiro, 2007.

Smith, E.A.L. *Pile Driving Analysis by the Wave Equation*. Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE, N.SM4, august – Vol. 86, p35-61, 1960.