

Danos Associados aos Recalque das Fundações

Leandro Inacio da Silva

Ensolo Engenharia e Consultoria de Solos, Recife, Brasil, Leandro.isilva@yahoo.com.br

Monalyssa Caroline Lira da Silva Ramos

Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil, mona.ramoss@hotmail.com

Abner Pedro Queiroz de Souza

Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil, abnerpedro15@hotmail.com

RESUMO: Este trabalho apresenta um estudo de caso de um edifício residencial localizado no bairro de Candeias, município de Jaboatão dos Guararapes/PE, com 25 pavimentos e área projetada de 510 m². O projeto de fundação, com base na sondagem de simples reconhecimento a percussão (SPT) adotou como solução sapata apoiadas no terreno melhorado com colunas de compactação de Areia e Brita. Após a execução do melhoramento foram realizadas novas sondagens do tipo SPT que confirmaram o aumento de até 5 vezes na resistência a penetração do amostrador (N_{SPT}). Com o controle de recalque foi possível verificar que os valores de recalques, após o término da estrutura, da ordem de 80 mm e velocidades perto de 900 µm/dia estavam acima do esperado. Foram realizadas novas sondagens do tipo SPT e Ensaio com Dilatômetro de Marchetti (DMT), constatando a falha na primeira bateria de sondagens que não indicava a presença de argila mole no perfil de solo. Os danos/fissuras observados na estrutura durante o controle de recalque foram comparados com os valores de distorção angular propostos na literatura. Foi observado que as fissuras ficaram restritas ao primeiro pavimento até o término da construção, o que corresponde a 31 leituras de recalque e 595 dias. Os resultados mostram que é de grande importância a leitura de recalque em praticamente todas as obras de engenharia. Os dados associados aos recalques indicados na literatura devem ser utilizados com certa cautela, uma vez que as características da estrutura influenciam de forma significativa no desenvolvimento dos recalques e consequentemente nos danos associados.

PALAVRAS-CHAVE: Recalque, Fundações, Patologia, Investigação Geotécnica, Danos Estruturais.

1 INTRODUÇÃO

Uma rotina básica para realização de um estudo que envolve problemas de fundação seria iniciada pela programação da investigação do subsolo (considerando sua execução e caso necessário uma complementação), análise e interpretação desses resultados, cálculos, estimativa de recalques e por fim, um projeto de fundação. Todavia a realidade é bem diferente. Em várias circunstâncias o engenheiro é levado a tomar decisões baseado em sondagens a

percussão (SPT), as quais foram executadas muitas vezes por firmas desconhecidas e até mesmo de idoneidade duvidosa (Teixeira e Godoy, 1998).

A experiência local e o bom senso do projetista de fundações são balizadores nas tomadas de decisões. Terzaghi dizia que a engenharia de fundações é, também, uma arte, não podendo por isso ser descurada a prática e experiências locais (Gusmão, 1998). Mas a depender da qualidade e veracidade dos dados obtidos nas sondagens, o projetista pode inquirir

em erro e ser surpreendido por um comportamento não desejado do ponto de vista de desempenho das fundações, principalmente na cidade do Recife que tem subsolo conhecidamente complexo.

Considerando as etapas de investigação do subsolo, elaboração do projeto, execução das fundações ou pós-conclusão, Milititsky *et al.* (2008) relata que a causa mais frequente de problemas de fundações está na investigação do subsolo e ainda levanta o problema da falta de relatos dos casos de patologias tanto em obras de grande como de pequeno porte.

Independente da causa do problema, do ponto de vista de fundação, uma ferramentas que possibilita a identificação na falha de desempenho de uma edificação seria o controle de recalque. Útil não só na identificação de que há algum problema, como no entendimento dos mecanismos de interação solo-estrutura e caracterização das possíveis causas do problema. Uma série de informações podem ser obtidas através do controle de recalques, tais como recalque totais, recalque diferenciais, distorções angulares, velocidade de ocorrência, etc., e comparadas com valores “admissíveis” de referência obtidos na literatura ou por experiência do engenheiro na região podem indicar a ocorrência de problema. Esse controle quando acompanhado e bem analisado durante a fase de construção da edificação, e em casos especiais após este período, possibilita quando necessário, uma ação de forma proativa, para evitar maiores danos a estrutura.

2 CARACTERIZAÇÃO DA OBRA EM ESTUDO

2.1 Localização e Características Estruturais

A edificação estudada está localizada no bairro de Candeias, município de Jaboatão dos Guararapes, que compreende a Região Metropolitana do Recife no estado de Pernambuco. Trata-se de um edifício residencial estruturado em concreto armado com 25 Pavimento, 24 pilares e área 510 m² (Figura 1). O quadro de carga mostra que os esforços atuante nas fundações variaram de 2.720 kN a

8.610 kN e totalizaram uma carga da ordem de 131.300 kN.

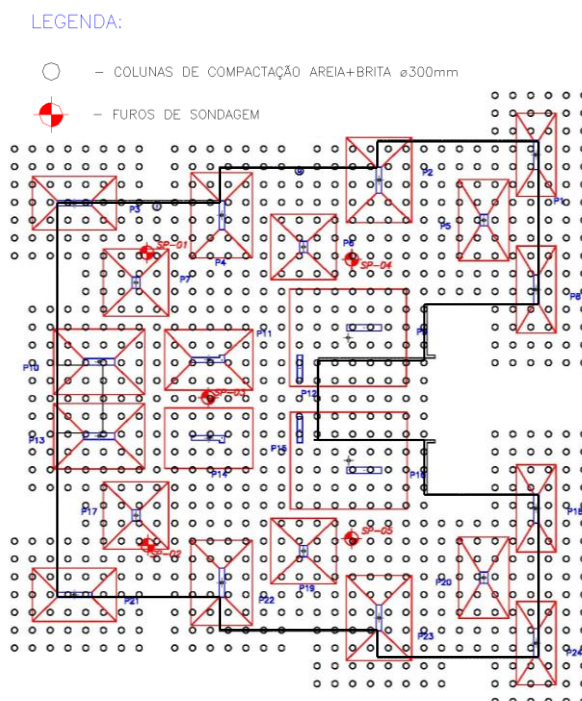


Figura 1 - Fundação da Edificação em Sapata

2.2 Características Geotécnicas e de Fundação

Para caracterização do perfil geotécnico do solo, foram realizados 5 fucos de sondagem a percussão. Na Figura 2 está indicado o perfil característico do terreno com base em dois fucos de sondagem.

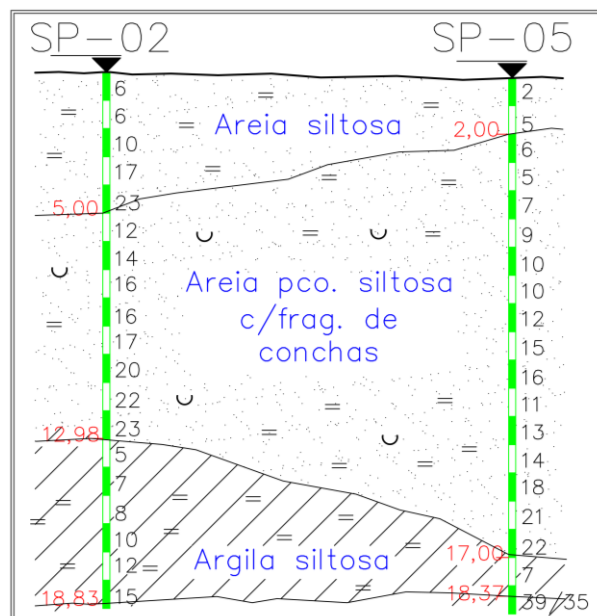


Figura 2 - Perfil Geotécnico Característico

A solução de fundação adotada para a obra em estudo foi em fundação direta, sapatas apoiadas em terreno melhorados com “colunas” de compactação de areia+brita, também conhecidas como estacas de compactação, com comprimento variando de 3,00 m a 6,00 m. As sapatas foram dimensionadas considerando uma tensão admissível do solo de 400 kPa.

2.3 Estacas Areia e Brita – Método Terra-Probe

Tradicionalmente, o melhoramento de camadas superficiais de solo arenosos por meio de estacas de compactação compostas de areia e brita vem sendo utilizada com sucesso em várias cidades do Nordeste e em especial na em Recife desde a década de 70 (Gusmão, 2005). O melhoramento do solo se dá, devido a introdução de colunas de compactação, com procedimento semelhante à estaca tipo FRANKI, de uma mistura de areia e brita, onde o solo é melhorado devido a três efeitos: introdução de material compactado no terreno, deslocamento do material do terreno igual ao volume do tubo introduzido e o efeito de vibração decorrente do processo de cravação dinâmica (Gusmão, 2005).

Na obra em estudo foi utilizado o Método Terra-Probe, onde o melhoramento se dá através da cravação de um tubo metálico vazado com ponta basculante. A cravação é realizada com um vibrador hidráulico, que normalmente é acoplado a uma retro escavadeira. Após a cravação do tubo metálico, o mesmo é preenchido com areia+brita e depois sacado com o mesmo equipamento vibratório (Gusmão *et al*, 2012).

Após a execução do melhoramento foram realizados 24 furos de sondagens a percussão SPT para avaliar o resultado da técnica. A Figura 3, correspondente ao resultado de um dos furos, mostra nitidamente o aumento do valor do N_{SPT} , quando comparados os resultados anteriores.

Considerando o fator de melhoramento K (que corresponde a razão entre o N_{SPT} antes do melhoramento e após o melhoramento) foi observada uma grande dispersão deste em torno da média. Na Tabela 1 está resumida uma

análise estatística descritiva dos fator K . Como os pontos onde o fator K foram inferiores ao desejado estavam em profundidades acima da cota de fundações, o resultado foi considerado satisfatório para o nível de carregamento projetado.

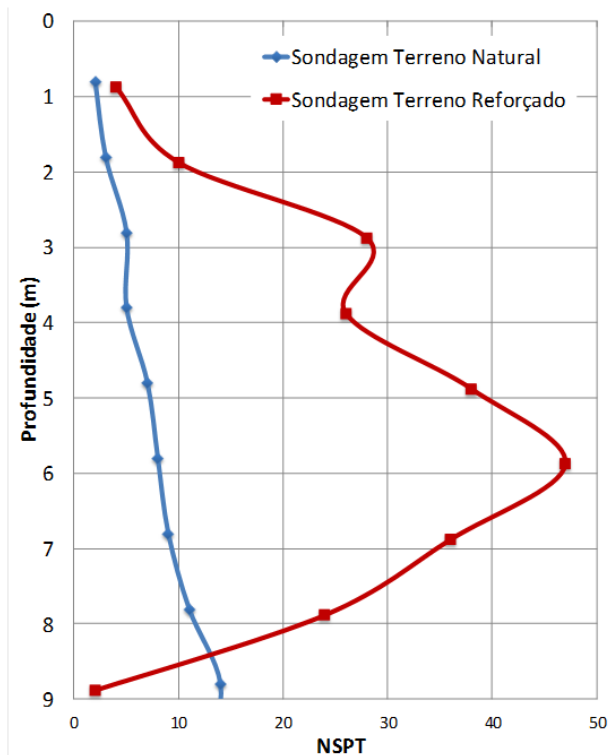


Figura 3 - Resultados do N_{SPT} antes e após melhoramento

Tabela 1 - Análise estatística do Fator K

Parâmetro	Fator K
Mínimo	0,14
Média	2,90
Máximo	7,00
Desvio Padrão	1,54

3 CONTROLE DE RECALQUE

3.1 Metodologia

O controle de Recalque em edificação na cidade do Recife é uma prática já consolidada e adotada por muitas construtoras, independente de dúvidas no comportamento ou tipo das fundações. No caso em estudo, a primeira leitura de recalque foi realizada após a execução da laje do pavimento térreo e primeiro pavimento, o que corresponde a 27 dias após a concretagem dos pilares do pavimento térreo. As leituras seguintes foram efetivadas a cada 3

lajes concretadas até o término da estrutura e nas seguintes os intervalos foram de aproximadamente 15 a 30 dias.

Foi instalado um marco de referência (“bench-mark”) da seguinte forma: pré-furo utilizando trépano de lavagem com circulação de lama betonítica até a profundidade de 28,80m, introdução da haste $\phi 25,4\text{mm}$ até o limite da perfuração (coberta com graxa lubrificante, exceto o trecho de fixação, para evitar o atrito com o revestimento) que servirá de referência para as leituras de recalque, injeção de aproximadamente 40,0 litros de argamassa através da haste de referência para fixação da mesma com o solo entre as profundidades de 25,80 a 28,80 e por fim o revestimento do furo com tubo PVC $\phi 50\text{ mm}$.

Além disso, foram instalados pinos em todos os 24 Pilares da obra, o que possibilitou uma avaliação da distribuição dos recalques e distorções angulares em toda a obra.

3.2 Resultados do Controle de Recalque

Com base nos resultados do controle de recalque, foi possível obter os recalques totais, as velocidades de recalque e distorção angular para todos os pilares da obra ao longo do período de construção.

Na Figura 4 e Figura 5 estão representados os resultados de recalque total acumulado e velocidade de recalque entre as leituras, respectivamente. Os dados compreendem um intervalo de 595 dias, onde foram realizadas 31 leituras.

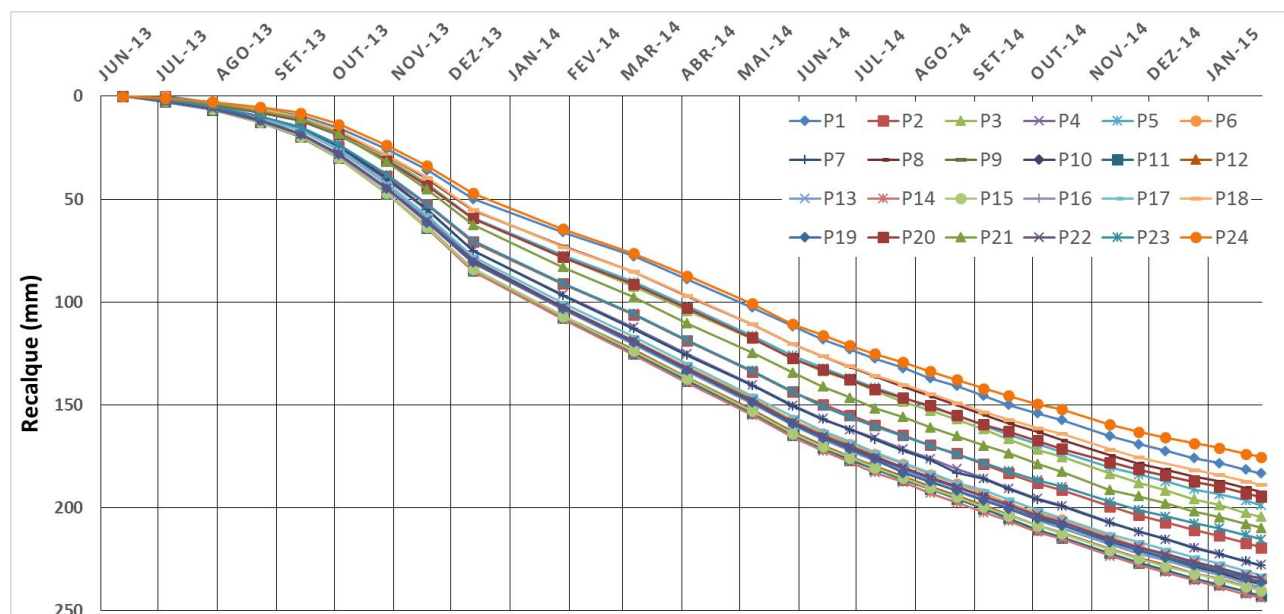


Figura 4 - Gráficos de Recalque Total

Considerando a princípio os valores de velocidade, que atingiram perto de $900\text{ }\mu\text{m}/\text{dia}$ (Figura 5) justamente na leitura antes do término da estrutura, houve um aumento gradativo até este ponto e logo após uma redução significativa, para uma média de $450\text{ }\mu\text{m}/\text{dia}$.

A velocidade de recalque está diretamente relacionada com a velocidade de carregamento e consequentemente com a velocidade de

construção, que neste caso foi em média uma laje por semana. Uma vez terminada a estrutura as velocidades caíram pela metade mas ainda ficaram elevadas, com algumas oscilações e tendência de queda ao longo do tempo.

Milititsky *et al.* (2008) recomenda para edificações em fundações diretas velocidades de até $200\text{ }\mu\text{m}/\text{dia}$. Valor este obtido já na leitura realizada após a 11ª laje concretada.

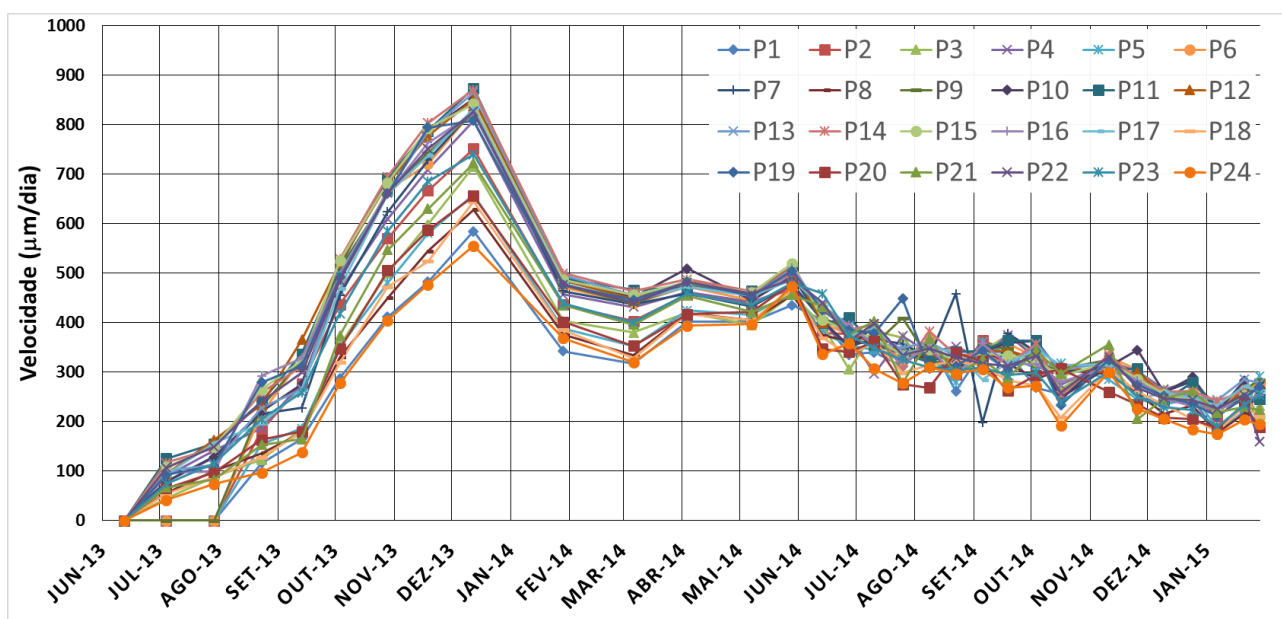


Figura 5 - Gráficos de Velocidade de Recalque

Os recalques totais atingiram valores de até 125 mm após o término da estrutura. A Figura 6a indica a distribuição dos recalques nesse instante por meio das curvas de iso-recalque graduadas por cor, onde observa-se que os maiores recalques ocorrem no centro da estrutura (pilares P11, P12, P14 e P15), região onde há maior concentração de carga. Esta mesma distribuição dos recalques manteve-se até a última leitura de recalque (L31), como pode ser observado na Figura 6b, com recalques totais atingindo perto de 250 mm.

Considerando os dados de recalque, foi possível calcular as distorções angulares que corresponde a razão entre o recalque diferencial entre dois pilares e o vão entre os mesmos. As maiores distorções foram obtidas entre os pilares no bordo e centrais da edificação (setas indicativas na Figura 6a). Na Tabela 2 estão resumidos os 10 maiores valores de distorções angular tanto na situação após o término da estrutura (leitura L11) como após na última leitura (L31).

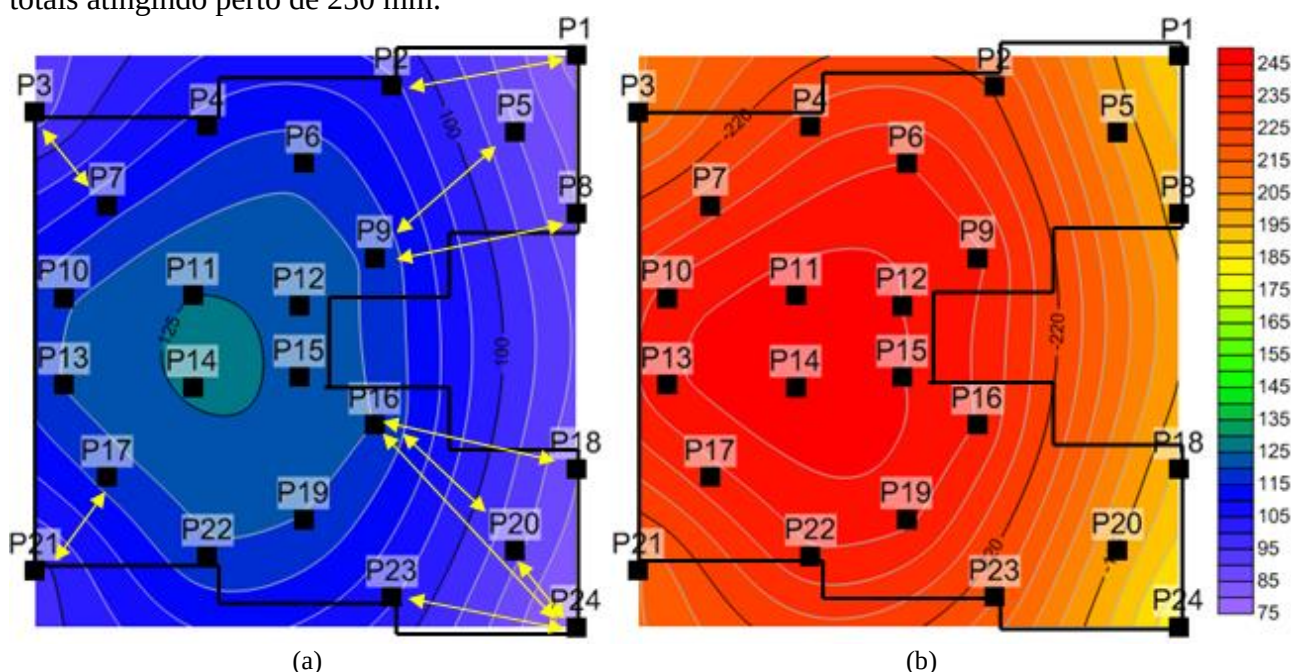


Figura 6 - Curvas de Iso-Recalque: (a) Após o Término da Estrutura – L11 e (b) Última Leitura – L31. Escala em mm.

Vargas e Silva (1973) complementaram os valores de distorção angular e seus danos associados proposto inicialmente propostos por Bjerrum (1963). Considerando esses valores e que as distorções angulares foram da ordem de 1/200, já seriam esperados fissuras nas alvenarias, inclinação notável e necessidade de reforço.

Tabela 2 – Maiores valores de Distorção Angular

Pilares de Referência	Distorção Angular	
	L11	L31
P3-P7	1/248	1/194
P16-P18	1/258	1/202
P17-P21	1/264	1/203
P8-P9	1/265	1/203
P23-P24	1/274	1/207
P20-P24	1/281	1/208
P16-P24	1/283	1/214
P1-P2	1/283	1/217
P5-P9	1/284	1/218
P16-P20	1/285	1/219

A premissa de que a distribuição dos recalque é diretamente influenciada pela interação solo-estrutura, e quanto maior a rigidez da estrutura menor os recalque diferenciais foi confirmada nas medições de recalque, uma vez que houve pouca variação na forma das curvas de iso-recalque após o término da estrutura, apesar do aumento dos recalques totais.

Uma visita técnica foi realizada na obra após o término da estrutura (L11) para verificação dos danos sofridos pela mesma. Nesta ocasião foi observado que as fissuras ficaram restritas ao primeiro pavimento e justamente nas regiões onde ocorreram as maiores distorções angulares já citadas, não ocorrendo assim fissuras na área central da edificação mas sim nas alvenarias no bordo (Figuras 7 a 10). As fissuras foram na maioria dos casos inclinadas com ângulo aproximado de 45° quando localizadas nos cantos das esquadrias (Figura 7 e 8) ou vigas (Figura 9). Já nos encontros entre alvenarias, foram observadas fissuras verticais com ramificações inclinadas (Figura 10).

Gusmão (1998) afirma que os danos ocasionados na estrutura ocasionados pelos recalque ficam normalmente restritos aos cinco primeiros pavimento. Esse fato foi observado em partes na prática, uma vez que todos os 25

pavimentos foram inspecionados mas as fissuras ficaram restritas ao 1º pavimento. Não havia alvenaria no pavimento térreo, mas foram vistoriados nesse pavimento os “pescoços” ou “colarinhos” das sapatas, vigas de fundação, vigas de apoio da 1º laje, pilares e lajes mas não foram percebidas nenhuma fissura significativa.



Figura 7 - Fissura Próxima a Janela no Emboço



Figura 8 - Fissuras Próximas a Janela no Gesso



Figura 9 - Fissuras no Revestimento em Gesso da Viga

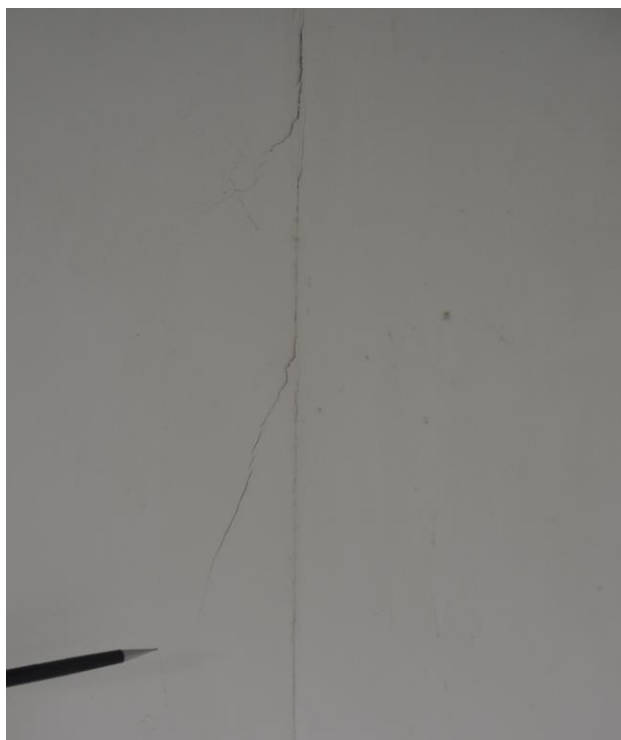


Figura 10 - Fissuras no Encontro Entre Alvenarias

Esses resultados até aqui apresentados, levaram a realização de novas investigações geotécnicas para identificar as possíveis causas dos elevados recalques ocorridos na obra.

4 NOVAS INVESTIGAÇÕES DE CAMPO

Uma nova campanha de investigação geotécnica foi realizada por outra empresa, compreendendo 12 furos de sondagem a percussão SPT e 3 ensaios do tipo DMT – Dilatômetro de Marchetti. Esses resultados mostraram uma falha na primeira bateria de sondagem a

percussão (item 2.2).

Foi constatada nas novas sondagens SPT a presença de uma camada entre as profundidades aproximadas de 8,0 m e 11,0 m de baixa capacidade de carga. Em alguns dos resultados essa camada é classificada como areia com matéria orgânica fofa e noutros como argila orgânica siltosa muito mole. Os resultados do DMT confirmaram essa informação, com baixo módulo edométrico (M) neste trecho (Figura 11).

Outra falha observada na primeira bateria de sondagem foi o valor do N_{SPT} nas camadas do solo argiloso que se iniciam por volta de 14,0 m de profundidade. Nas sondagens iniciais essa camada foi indicado como Argila Siltosa média, rija ou dura (com N_{SPT} acima de 7 golpes em praticamente todo trecho). Já nas novas sondagens a camada foi identificada, de uma maneira geral, como argila orgânica muito mole ou mole, com espessura variando de 3,00 m a 9,00 m (com N_{SPT} abaixo de 2 golpes).

Esses resultados explicam os elevados valores medidos de recalques e velocidades durante esse o período.

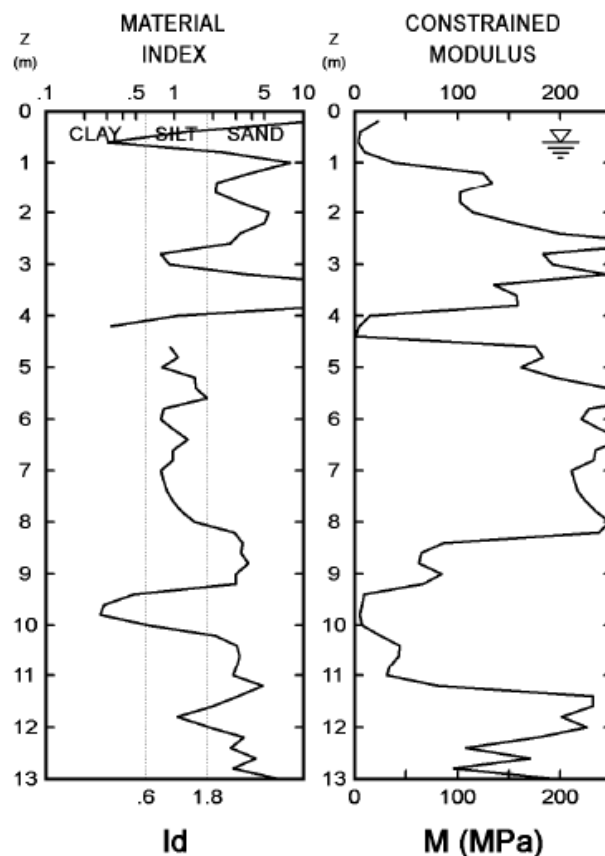


Figura 11 - Resultado do Ensaio DMT

5 CONCLUSÕES E COMENTÁRIOS

O método Terra-Probe de melhoramento de solos granulares se mostrou eficiente para este perfil de solo, onde o fator de melhoramento K do N_{SPT} foi na média de 2,90, chegando ao máximo de 7,00. Nas camadas mais superficiais (primeiros 2,0 m) a eficiência foi reduzida.

As velocidades de recalque atingiram o maior valor (próximo de 900 $\mu\text{m}/\text{dia}$) após o término da estrutura em concreto armado, logo após houve uma redução de aproximadamente 50% nesses valores.

Não houve aumento significativo nas distorções angulares após o término de toda estrutura em concreto armado. Considerando ainda as distorções angulares, observa-se que os maiores valores ficaram na interface dos pilares centrais (maiores recalque) com os pilares no bordo (menores recalques).

As fissuras observadas ficaram restritas ao primeiro pavimento, com maior incidência nas alvenarias. Não houve trinca no pavimento térreo, em que pese não haver alvenaria nesse pavimento.

Os resultados mostram que é de grande importância a leitura de recalque em praticamente todas as obras de engenharia. Mesmo quando são conhecidas as características geológicas e geotécnicas da área em estudo, uma vez que as informações obtidas em investigações geotécnicas podem não representar de forma satisfatória a natureza do solo, seja por insuficiência ou por falhas na execução.

A sondagem a percussão deve ser utilizada com muito critério, realizada com empresas de confiança e sempre com fiscalização pela empresa que contrata o serviço.

Dada a importância dessas informações do solo, seria de grande importância a participação de técnicos e engenheiros com capacidade de fiscalização acompanhar todos os serviços de investigação geotécnica.

Os dados associados aos recalques indicados na literatura devem ser utilizados com certa cautela, uma vez que as características da estrutura influenciam de forma significativa no desenvolvimento dos recalques e consequentemente nos danos associados.

O fato é que na prática, muitas vezes os serviços de investigação geotécnica é contratado por funcionário que não tem capacidade de avaliar a qualidade deste serviço e finda por optar pela empresa que oferece o menor preço. O preço do serviço de sondagem SPT da empresa que fez a primeira bateria de sondagens (com falhas nas informações) é 20% menor que a segunda etapa de sondagens. Fazendo uma comparação sucinta de custos, para execução e projeto do reforço de fundação desta obra foi gasto o equivalente ao preço de venda de 5 apartamentos. Já o valor que foi “economizado” contratando uma empresa de sondagem mais barata em 20% equivale a menos de 2% do valor de um apartamento.

REFERÊNCIAS

- Gusmão, J.A.F. (1998) *Fundações: do conhecimento geológico à prática da engenharia*, Universitária da UFPE, Recife, p. 237 e 261.
- Gusmão, A. D. (2005), *Melhoramento de Terrenos Arenosos*. Em Gusmão, A. D., Gusmão Filho, J. A., Oliveira, J. T. R. E Maia, G. B. (Org.) *Geotecnia no Nordeste*. Editora Universitária da UFPE, Recife, p. 332.
- Gusmão, A.D. Coutinho, R.Q, Maia, G.M., Oliveira, P.E, Amorim, M.D., Silva, L.I., Rolim, M., Barbosa, V., Pezo, O.B. (2012) *Estudo Comparativo de Métodos de Melhoramento de Solos no Recife*, Anais do VII Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia, São Paulo.
- Milititsky, J.; Consoli, N. C.; Schnaid, F. (2008) *Patologia das fundações*, Oficina de Textos, São Paulo, p.27 e 182.
- Teixeira, A.H. e Godoy, N.S. (1998). *Análise, Projeto e Execução de Fundações Rasas*. In: Hachich Et Al. *Fundações Teoria e Prática*, São Paulo, Pini, p.233.