



ANORMALIDADES ENCONTRADAS EM ESTACAS ESCAVADAS

CURITIBA
2014



ANA PAULA VICENTE DE CASTRO

PATRÍCIA LACERDA NAZARIO

ANORMALIDADES ENCONTRADAS EM ESTACAS ESCAVADAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Pós Graduação em Patologia das Obras Civas, Pós-Graduação *lato sensu*, do Instituto IDD como requisito parcial para a obtenção do Grau de Especialista em Patologia nas Obras Civas.

Orientador: Kirke Andrew Wrubel Moreira

CURITIBA
2014

AGRADECIMENTOS

Ao engenheiro civil prof. Kirke pela orientação deste trabalho.

A Construtora em questão por auxiliar e fornecer os relatórios que fazem parte deste trabalho.

As nossas famílias que nos compreenderam durante todo o curso e se fizeram presentes nas noites mal dormidas.

FOLHA DE APROVAÇÃO

ANORMALIDADES ENCONTRADAS EM ESTACAS ESCAVADAS

Por

ANA PAULA VICENTE DE CASTRO

PATRÍCIA LACERDA NAZARIO

TRABALHO APROVADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA A OBTENÇÃO
DO TÍTULO DE ESPECIALISTA EM PATOLOGIA NAS OBRAS CIVIS, DO
INSTITUTO IDD, PELA COMISSÃO FORMADA PELOS PROFESSORES A
SEGUIR MENCIONADOS.

Curitiba (PR) ____ de _____ de _____.

Kirke Andrew Wrublel Moreira

RESUMO

O presente trabalho avalia a execução de estacas escavadas na região de São Caetano do Sul – SP. Após ensaios verificou-se que as estacas apresentaram resistências inferiores as estabelecidas em projetos. Para compreender o ocorrido se fez necessário realizar ensaios com o concreto, o fluido estabilizante e verificar a metodologia de execução. Foram extraídos testemunhos em três estacas, duas delas deficientes executadas com lama polimérica e uma executada com lama bentonítica, aparentemente adequada aos limites normativos de recalque. O material extraído das estacas foi submetido a ensaios de resistência à compressão, massa específica, absorção de água e índice de vazios, reconstituição de traço e análise petrográfica. Com o resultado destes ensaios, analisados em conjunto com os documentos de acompanhamento de campo é possível encontrar qual a origem, ou origens, das anomalias encontradas nas estacas.

Palavras chave: fundação, estacas escavadas, concreto, lama polimérica, lama bentonítica, defeito, recalque, corpos de prova.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Sapatas Isoladas	13
Figura 2 - Sapatas Associadas	14
Figura 3 - Sapatas Alavancadas.....	14
Figura 4 - Sapatas Corridas	15
Figura 5 - Fluxograma das Etapas de Projeto e Possíveis Causas de Patologia.....	17
Figura 6 - Esquema de Montagem de Prova de Carga	20
Figura 7 - Ensaio de Integridade e Equipamento PIT	23
Figura 8 - Princípio do Ensaio de Integridade.....	24
Figura 9 - Exemplo de Sinais de Velocidade Obtidos no Ensaio.....	25
Figura 10 - Corpo de Prova Cilíndrico em Ensaio para Determinação da Resistência à Compressão do Concreto	28
Figura 11 - Planta de Localização	31
Figura 12 - Testemunhos de Concreto - Estaca P41 - Utilização de Lama Bentonítica como Fluido Estabilizante.....	32
Figura 13 - Testemunhos de Concreto - Estaca P60 - Utilização de Lama Polimérica como Fluido Estabilizante.....	32
Figura 14 - Testemunhos de Concreto - Estaca P80 - Utilização de Lama Polimérica como Fluido Estabilizante.....	33
Figura 15 - Material Esbranquiçado no Concreto da Estaca P-80	33
Figura 16 - Material Esbranquiçado no Concreto Estaca P-80	34
Figura 17 - Trechos com Vazios Laterais da Estaca P-80.....	34
Figura 18 - Ensaio de Resistência à Compressão	37
Figura 19 - Absorção de Água dos Testemunhos de Concreto	38
Figura 20 - Índice de Vazios dos Testemunhos de Concreto	39
Figura 21 - Resistência à Compressão e Índice de Vazios.....	40
Figura 22 - Reconstituição do Traço e Consumo de Cimento – Trecho Inicial.....	42
Figura 23 - Reconstituição do Traço e Consumo de Cimento - Trecho Final	42

Figura 24 - Resultados de pH	44
Figura 25 - Resumo dos Resultados de Ensaaios - Estaca P41	47
Figura 26 - Resumo dos Resultados de Ensaaios - Estaca P60	48
Figura 27 - Resumo dos Resultados de Ensaaios - Estaca P80	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação dos Concretos de Acordo com a Porosidade e Absorção de Água	36
Tabela 2 - Resultados de Análise por Espectrofotometria no Infravermelho	43
Tabela 3 - Resumo de Operações de Escavação e Concretagem	45
Tabela 4 - Ensaio de Lama - P41 - Lama Bentonítica.....	50
Tabela 5 - Ensaio de Lama - P60 - Lama Polimérica.....	50

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	4
FOLHA DE APROVAÇÃO	5
RESUMO	6
LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	7
1 INTRODUÇÃO	12
1.1 OBJETIVO GERAL	12
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
1.3 JUSTIFICATIVA	12
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1 FUNDAÇÕES	13
2.1.1 Sapatas Isoladas	13
2.1.2 Sapatas Associadas.....	14
2.1.3 Sapatas Alavancadas	14
2.1.4 Sapatas Corridas	14
2.1.5 Estacas Strauss	15
2.1.6 Estacas pré-fabricadas	15
2.1.7 Estacas Raiz	15
2.1.8 Tubulão	15
2.1.9 Estacas Hélice Contínua.....	16
2.1.10 Estacas Escavadas	16
2.2 PATOLOGIAS	17
2.2.1 Patologias ligadas ao solo.....	18
2.2.2 Patologias ligadas a execução	18
2.3 ENSAIOS DE CAPACIDADE DE CARGA.....	19
2.3.1 Prova de Carga Estática.....	19
2.3.2 Ensaio de Integridade	22
2.3.3 Ensaio de Carregamento Dinâmico	26
2.3.4 Ensaio de resistência à compressão	28
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	29
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	30
4.1 SONDA GEM ROTATIVA	30
4.2 ENSAIOS REALIZADOS	35
4.2.1 Concreto – Ensaio s físicos, químicos e mecânicos.....	35

4.2.2	<i>Reconstituição de traço das amostras</i>	41
4.2.3	<i>Análise Petrográfica</i>	43
4.2.4	<i>Lama Polimérica</i>	43
4.2.4.1	<i>Identificação dos compostos</i>	43
4.2.5	<i>Determinação do ph da Lama Polimérica</i>	44
4.3	OPERAÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONCRETAGEM.....	44
4.4	CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO.....	46
4.4.1	<i>Controle Tecnológico do Fluido Estabilizante</i>	50
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	50
5.1	CONCRETO	51
5.2	LAMA BENTONÍTICA E LAMA POLIMÉRICA	51
5.3	EXECUÇÃO DAS ESCAVAÇÕES.....	52
6	CONCLUSÃO	53
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55

1 INTRODUÇÃO

As estacas escavadas executadas em uma obra localizada na região de São Caetano do Sul – SP apresentaram anormalidades nos ensaios de verificação realizados para conferência das mesmas. Através de ensaios não destrutivos (PIT – Pile Integrity Test) notou-se que os tubulões apresentaram problemas após a construção. No ensaio de corpos de prova, as resistências apresentadas foram inferiores as esperadas. Além disto, os ensaios de cargas estáticas e dinâmica indicaram recalques superiores aos admissíveis.

1.1 Objetivo Geral

Esclarecer a origem das anormalidades encontradas em estacas escavadas com a utilização de lama polimérica como fluido estabilizante numa obra na região de São Caetano do Sul – São Paulo.

1.2 Objetivos Específicos

Analisar documentos de controle de campo referente ao histórico de execução das estacas. Encaminhar material para ensaios e compilar os resultados destes ensaios com outras informações adquiridas. Verificar a eficiência dos materiais utilizados (concreto e material polimérico).

1.3 Justificativa

Averiguar as causas que levaram aos resultados não admissíveis dos ensaios de verificação das estacas, a fim de impedir a sua recorrência em outras obras.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Fundações

Fundação é toda estrutura designada a transmitir os esforços solicitantes da superestrutura ao solo. A sua função é transmitir essas cargas sem que haja rompimento ou recalque do mesmo. As fundações são classificadas em rasas e profundas, conforme sua profundidade. (ABEF, 1998).

As fundações superficiais tem profundidade máxima de dois metros, e os esforços da construção são transmitidos ao solo diretamente pela base da fundação. São exemplos de fundações superficiais as sapatas isoladas, sapatas associadas, sapatas alavancadas, sapatas corridas, radiers e os alicerces. (Rebello, 2008).

Segundo Rebello (2008), para profundidades maiores de dois metros são utilizadas estacas, e a fundação se classifica como profunda. As estacas são classificadas quanto ao seu método de execução, cravadas ou escavadas. Alguns exemplos são: estacas Strauss, Franki, Hélice Contínua, Ômega, Raiz, Pré-Moldada e Tubulões.

2.1.1 Sapatas Isoladas

Segundo a Téchne (2004) as sapatas isoladas recebem cargas de apenas um pilar, sendo assim a solução mais econômica pelo fato de consumirem menos concreto. As sapatas podem ter vários formatos, sendo o mais comum o cônico retangular, por sua facilidade na hora da execução. A sapata deve ter seu centro de gravidade coincidindo com o centro de carga do pilar.

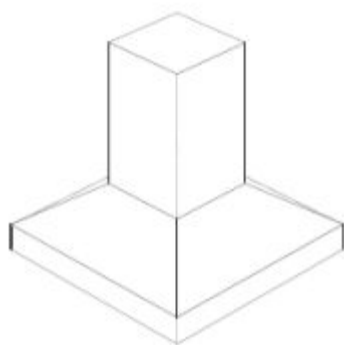


Figura 1 - Sapatas Isoladas (Téchne, 2004)

2.1.2 Sapatas Associadas

Utilizadas quando as sapatas isoladas se sobrepõem devido à proximidade de pilares ou quando as cargas estruturais forem grandes. O posicionamento da peça de fundação deve respeitar o centro de carga dos pilares (Téchne, 2004)

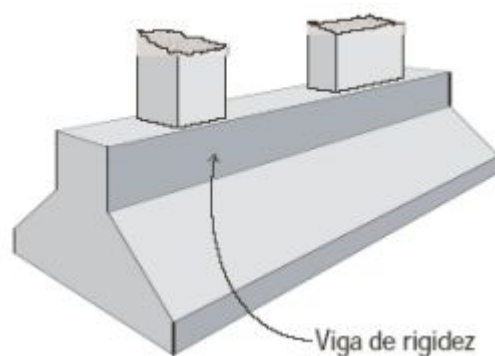


Figura 2 - Sapatas Associadas (Téchne, 2004)

2.1.3 Sapatas Alavancadas

Utilizada caso o centro de gravidade das sapatas e o centro de carga dos pilares não coincidam. Para compensar essa excentricidade de cargas é necessário transferir parte dos esforços para uma sapata próxima por meio de uma viga alavancada (Téchne, 2004).

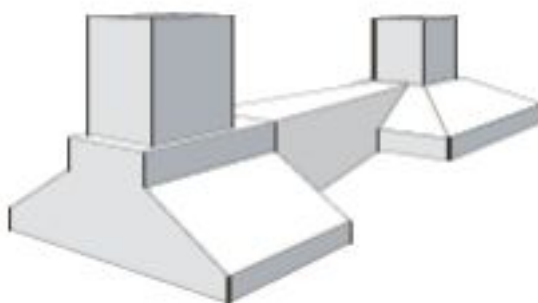


Figura 3 - Sapatas Alavancadas (Téchne, 2004)

2.1.4 Sapatas Corridas

As sapatas corridas recebem as cargas direto das paredes e a transferência de carga é feita linearmente. Utilizada para paredes mais carregadas ou solos menos resistentes (Téchne, 2004)

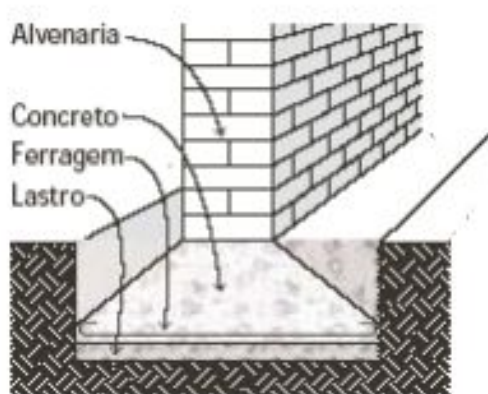


Figura 4 - Sapatas Corridas (Téchne, 2004)

2.1.5 Estacas Strauss

Fundação em concreto simples ou armado, executada com revestimento metálico recuperável. O processo inicia-se com a abertura de um furo no terreno com umsoquete para colocação da coroa. Esse tipo de fundação é indicada para locais confinados, terrenos acidentados e locais com restrições a vibrações (Téchne, 2004).

2.1.6 Estacas pré-fabricadas

As estacas pré-fabricadas são produzidas fora da obra e chegam praticamente prontas ao canteiro de obras para serem cravadas. Para cravação uma massa erguida por um guindaste em um cabo de aço aplica uma série de golpes de martelo até que a estaca penetre no terreno. Esse tipo de processo apresenta como desvantagem alto nível de vibração (Téchne, 2004).

2.1.7 Estacas Raiz

As estacas raiz são moldadas *in loco*, executadas através de perfuratrizes. Após a perfuração a estaca é armada e preenchida com argamassa fluida. Esse tipo de fundação é indicado para reforço de fundações, obras para contenção de taludes e locais com restrições a vibrações (Joppert Junior, 2007).

2.1.8 Tubulão

De acordo com Joppert Junior (2007) os tubulões são executados com a abertura de um poço até que seja atingido um solo com boa qualidade. Após a abertura é feito

um alargamento da base, para que as cargas sejam distribuídas uniformemente no terreno. Esse tipo de fundação destaca-se pelo seu baixo custo. A mão de obra de escavação é barata e o poço é preenchido com concreto simples e baixo teor de cimento.

2.1.9 Estacas Hélice Contínua

Conforme a NBR 6122 (2010, pág. 77): É uma estaca de deslocamento, de concreto moldado *in loco*, mediante a introdução no terreno, por rotação, de um trado com características tais que ocasionem um deslocamento do solo junto ao fuste e à ponta, não havendo retirada de solo. A injeção de concreto é feita pelo interior do tubo central.

A execução da Estaca Hélice Contínua se divide em três fases: perfuração, concretagem simultânea à extração do trado do terreno e colocação da armação (Neto, 2002).

2.1.10 Estacas Escavadas

As estacas escavadas são aquelas onde é necessário remover o solo através de perfuração e preencher o vazio formado com argamassa ou concreto. Dependendo da estabilidade do solo podem ser executadas com ou sem fluido estabilizante (MAIA et al., 1998).

Esse tipo de estaca necessita de um maior controle executivo, devido ao fato de serem executadas em profundidade e não ser possível a análise visual de sua constituição física. Alguns controles pós-executivos são necessários para assegurar a integridade e bom desempenho das estacas (MAIA et al., 1998).

As estacas escavadas mecanicamente são executadas por meio de um equipamento denominado perfuratriz rotativa, que pode ser acoplada a caminhões garantindo grande mobilidade no canteiro de obras. O trado helicoidal da perfuratriz perfura o solo com diâmetros que variam entre 0,20 a 1,70 metros, chegando até cerca de 27 metros de profundidade e (FALCONI et al., 1998).

Após o nivelamento e a locação do equipamento inicia-se a perfuração do terreno, de acordo com os autores Falconi et al. (1998). A cada 2 metros perfurados a haste da perfuratriz é girada no sentido contrário para que o solo seja retirado, com cuidado, de modo que não entre novamente no furo. Quando a profundidade necessária é atingida

compacta-se o fundo da escavação com soquete. A armação da fundação é posicionada logo após o apiloamento do fundo. O concreto é lançado através de tubo tremonha, com no mínimo 2,5 metros de comprimento para evitar o contato do concreto com as laterais da escavação durante seu lançamento.

2.2 Patologias

Entre as prováveis causas de patologias destacam-se a ausência, insuficiência ou má qualidade das investigações geotécnicas, avaliação errada dos esforços provenientes da estrutura, adoção inadequada da tensão admissível do solo, erros de cálculo, má execução, má qualidade dos materiais aplicados e modificação do carregamento (SOARES; BRUM; do CARMO, 2003).

Na Figura 05 abaixo é apresentado um fluxograma que faz relação entre as etapas de projeto de uma fundação e as possíveis causas de patologias.

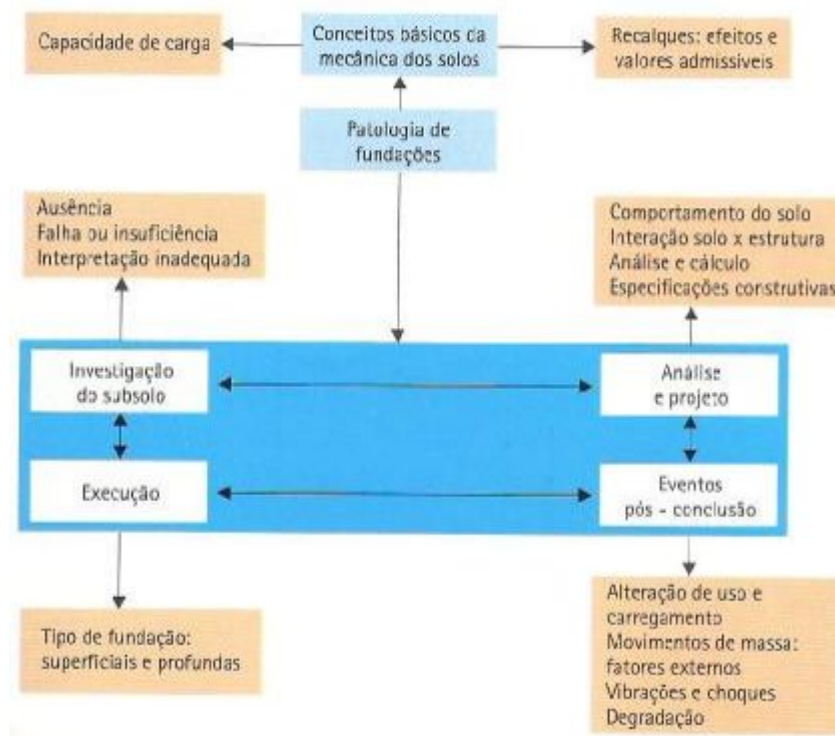


Figura 5 - Fluxograma das Etapas de Projeto e Possíveis Causas de Patologia (Milititsky, Consoli, Schnaid, 2005)

2.2.1 *Patologias ligadas ao solo*

Uma das principais causas de problemas que comprometem a fundação é a ausência de investigação do solo, esta ausência está ligada a falta de conhecimento da importância dessa investigação. Número insuficiente de sondagens, falha do Projetista ao analisar laudos de campo, falha em equipamentos de medição, fraudes em apresentação de resultados, falha de equipamentos de medição e adoção de procedimentos inadequados, também estão diretamente ligados ao aparecimento de patologias (MILITITSKY, CONSOLI, SCHNAID, 2005)

O solo pode sofrer modificações caso haja vegetações próximas a edificação. As raízes extraem água para seu crescimento, modificando assim o teor de umidade do solo. Em solos argilosos isto pode causar variações volumétricas e edificações construídas nessa área apresentarão movimento e provavelmente patologias devido à recalque localizado. (MILITITSKY, CONSOLI, SCHNAID, 2005)

2.2.2 *Patologias ligadas a execução*

Na execução das fundações deve-se seguir fielmente o projeto, e esse deve estar verificado e correto. Inicialmente deve-se dar ênfase a escavação, a profundidade deve estar dentro da tolerância especificada. Uma fundação mais rasa que o recomendável certamente irá fazer com que a construção não fique em nível. Em contrapartida fundações mais profundas que o correto podem encontrar solos com propriedades diferentes das encontradas em ensaios (MILITITSKY, CONSOLI, SCHNAID, 2005).

Na hora da escavação é necessário atentar-se a materiais que podem estar no fundo da vala e irão comprometer o concreto. A água é um exemplo que pode afetar a durabilidade do concreto. Além disso, é necessário verificar se o concreto se acomodou por completo na vala, porções de solo mal removidas ou bolhas de ar no seu interior podem ocasionar patologias (MILITITSKY, CONSOLI, SCHNAID, 2005).

Quando há um mal desempenho de uma fundação, aparecem manifestações que podem ser verificadas nas próprias peças da fundação, pela deterioração do material que as compõem, ou na estrutura da edificação. Outra forma de manifestação é notada por recalques e desaprumos (SOARES; BRUM, do CARMO, 2003)

2.3 Ensaios de capacidade de carga

O controle de campo da capacidade de carga pode ser realizado através de provas de carga estáticas e por métodos dinâmicos, que compreendem o controle pela nega e repique e o ensaio de carregamento dinâmico (Alonso, 1991; Niyama et al., 1998).

De acordo com Kormann (2002), para a avaliação da integridade estrutural de fundações profundas, vem sendo desenvolvidos métodos indiretos e não destrutivos que se baseiam em fundamentos de emissão e recepção de ondas. São exemplos dessas técnicas o Ensaio de Integridade de Estacas e a Tomografia de Estacas. A monitoração de qualquer empreendimento compreende as etapas de inspeção visual, utilização de métodos topográficos, registro e análise de dados advindos de uma instrumentação.

A inspeção visual é limitada em obras de fundação. De acordo com a ABNT 6122:1996, a inspeção de estacas moldadas in loco deve ser realizada. O terreno ao redor das estacas deve ser escavado, abaixo da cota de arrasamento e, se possível, até o nível d'água, para verificação da integridade. Segundo Kormann (2002), ao contrário das peças que compõem a superestrutura, passíveis de inspeção visual direta, as fundações são acessíveis apenas ao longo de extensões limitadas.

Os métodos topográficos são utilizados no controle do recalque, que se constitui na avaliação do desempenho global da fundação. O controle de recalques permite avaliar a evolução dos mesmos ao longo do tempo, verificar se ocorrem recalques diferenciais que possam comprometer a estrutura, bem como orientar trabalhos de eventuais reforços (Niyama et al., 1998).

2.3.1 Prova de Carga Estática

Uma prova de carga consiste em aplicar esforços estáticos crescentes à estaca e registrar os deslocamentos correspondentes. Os esforços aplicados podem ser axiais, de tração ou de compressão, ou transversais (ABNT NBR 12131, 2006).

O dispositivo de aplicação de carga é constituído por macaco hidráulico alimentado por bombas, atuando contra um sistema de reação (ABNT NBR 12131, 2006).

Diversas montagens para o sistema de reação são possíveis. Geralmente, é constituído de uma viga metálica de reação fixada ao solo por meio de tirantes (Niyama et al., 1998). O esquema usual de montagem pode ser visualizado na Figura 6. Esse sistema deve ser projetado, montado e utilizado de forma que a carga aplicada atue na direção desejada, sem produzir choques ou vibrações.

Na prova de carga são medidas as cargas aplicadas (por meio de células de carga ou de manômetro calibrados), os deslocamentos axiais (ensaio com carregamento axial) ou transversais (ensaios com carregamento transversal) do topo da estaca, e, o tempo da realização de cada medida (ABNT NBR 12131, 2006).

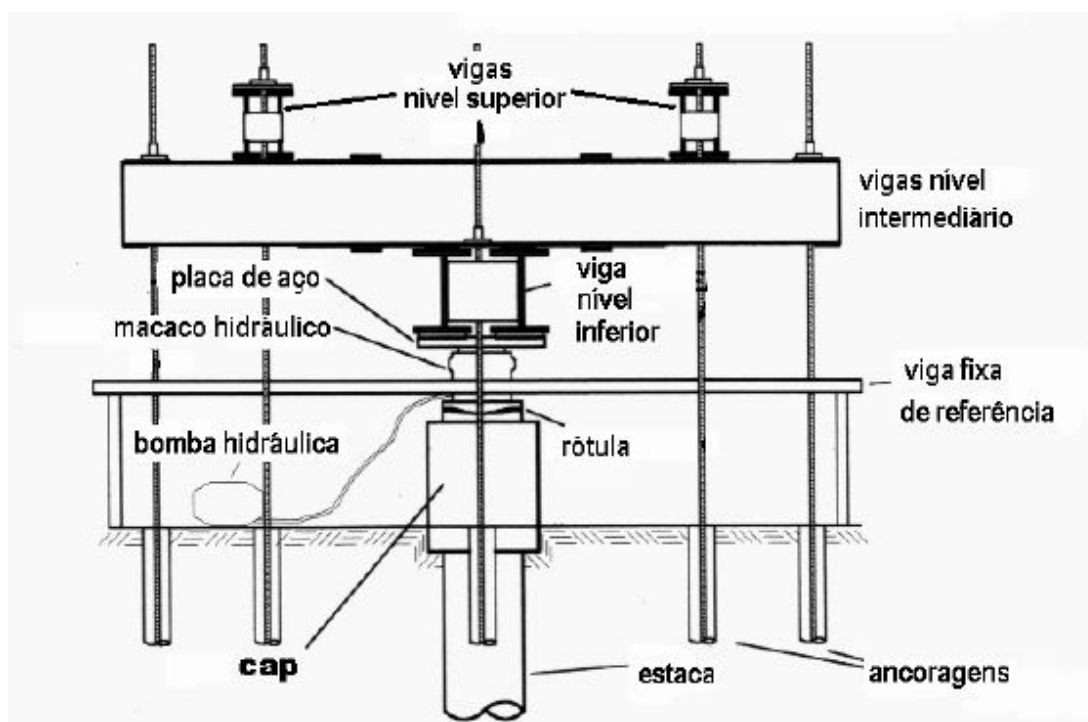


Figura 6 - Esquema de Montagem de Prova de Carga (Dyminski, 2000)

Os deslocamentos verticais do topo da estaca são medidos simultaneamente através de quatro deflectômetros mecânicos instalados em dois eixos ortogonais. Os deflectômetros ficam apoiados ou fixados em uma viga de referencia (ABNT NBR 12131, 2006).

Na execução da prova de carga a estaca é carregada até a carga definida pelo projetista, atendendo aos requisitos de segurança da ABNT NBR 6122:1996.

Os ensaios podem ser do tipo lento; a velocidade de recalque constante; rápido em estágios; em ciclos de carga e descarga; e, cíclicos (Niyama et al., 1998).

Para ensaios lentos, segundo Niyama et al., (1998), procedimentos mais antigo e convencional no Brasil, o carregamento é executado em estágios iguais e sucessivos. Em cada estágio, a carga mantida até a estabilização dos deslocamentos ou, no mínimo, por 30 minutos. Os deslocamentos são lidos imediatamente após a aplicação de carga correspondente, seguindo-se leituras sucessivas até se atingir a estabilização.

A estabilização dos deslocamentos ocorre quando em duas leituras consecutivas o recalque não exceder 5% do recalque total observado no mesmo estágio de carregamento (ABNT NBR 12131, 2006).

Segundo a ABNT NBR 6122:1996, a capacidade de carga do elemento de prova deve ser considerada definida quando ocorrer ruptura nítida. Porém, o carregamento da estaca de prova pode não indicar uma carga de ruptura clara. Isto ocorre quando não se pretende levar fundação à ruptura ou a estaca tem capacidade de resistir a uma carga maior do que aquela que se pode aplicar na prova (por limitação de reação), ou quando a estaca é carregada até apresentar um recalque considerável, mas a curva carga-recalque não indica uma carga de ruptura, mas um crescimento contínuo do recalque com a carga.

O descarregamento, sempre que o ensaio não atinge a ruptura, é iniciado após decorridas 12 horas de manutenção da carga máxima aplicada. A ABNT NBR 12131:2006 recomenda que sejam realizados pelo menos quatro estágios de descarregamento.

O prazo mínimo para realização do ensaio é de aproximadamente 18 horas, prolongando-se muitas vezes a 24 horas ou mais (Niyama et al., 1998).

A curva carga x recalque resultante das leituras inicial e final de cada estágio trata-se de uma curva escalonada. A curva de pontos estabilizados deve passar o mais próximo possível do ponto representativo do final de cada estágio (Niyama et al., 1998).

Os resultados devem ser desenhados, segundo a ABNT NBR 12131:2006, em escala tal que a reta ligando a origem e o ponto de curva correspondente à carga emitida de trabalho resulte numa inclinação de 20° ($\pm 5^\circ$) com o eixo das cargas. Esta reta correspondente à deformação elástica do elemento (Niyama et al., 1998).

Os resultados constam de relatórios contendo a descrição geral do ensaio, tipo e características da estaca ensaiada, dados de instalação da estaca, referencia aos dispositivos de aplicação de carga e de medição dos deslocamentos, ocorrências excepcionais durante o ensaio, tabelas das leituras tempo-recalque e carga-recalque de todos os estágios, curva x deslocamento salientado os tempos de início e do fim de cada estágio (ABNT NBR 12131, 2006).

Segundo a ABNT NBR 6122:1996, para a verificação da capacidade de carga, as provas de carga estática devem ser executadas em número de 1% do conjunto de estacas de mesmas características na obra, respeitando-se o mínimo de uma prova de carga. Caso sejam verificadas as capacidades de carga em 1% das estacas, em uma etapa preliminar, pode-se reduzir o fator de segurança para 1,6.

2.3.2 Ensaio de Integridade

O ensaio de integridade visa determinar a variação das características do concreto ao longo da profundidade da estaca. A forma usual do ensaio consiste na fixação de um acelerômetro de alta sensibilidade no topo da estaca, por meio de um material viscoso, geralmente cera de petróleo, e na aplicação de sucessivos golpes com um martelo de mão, como pode ser visualizado na Figura 7 (PDI, 2014).



Figura 7 - Ensaio de Integridade e Equipamento PIT (Hussein e Likins, 2005)

O sinal obtido pelo acelerômetro é digitalizado através de um microcomputador e posteriormente integrado para a obtenção da velocidade (Gonçalves et al., 2000).

O ensaio é realizado com auxílio de equipamentos específicos, tais como o PIT (Pile Integrity Tester), produzido pela PDI (Pile Dynamics, Inc.), o PET (Pile Echo Tester) da Pile Test e o SIT (Sonic Integrity Testing), produzido pela Profound BV.

Segundo Kormann (2002), os golpes geram uma onda de tensão, que trafega ao longo da estaca. Quando a onda alcança a ponta do elemento, uma reflexão é gerada, a qual faz então o caminho de volta, se deslocando para o topo. A onda sofre reflexões ao encontrar qualquer variação nas características do material (área de seção, peso específico ou módulo de elasticidade) ou defeito (Figura 8).

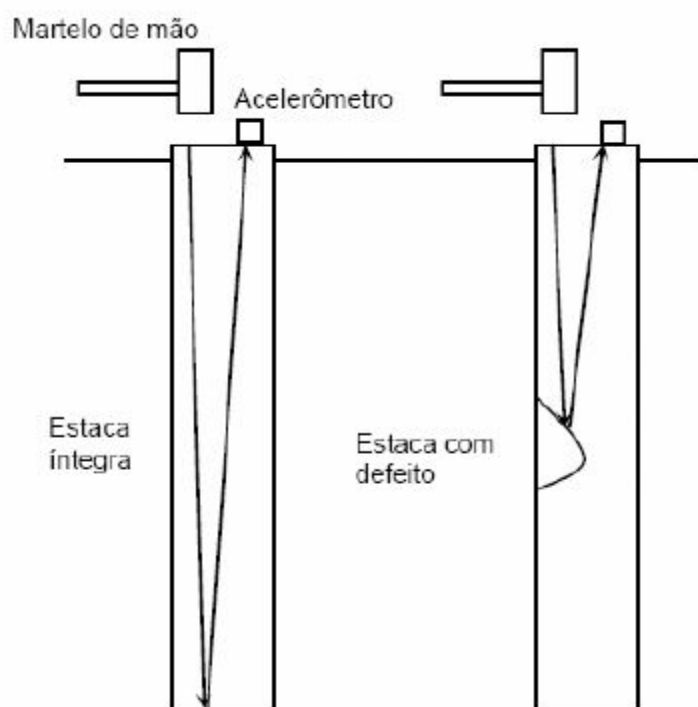


Figura 8 - Princípio do Ensaio de Integridade (Kormann, 2002)

De acordo com Gonçalves, et al. (2000), a verificação da integridade da estaca é efetuada através da análise do formato do sinal de velocidade medido resultado típico do ensaio. Variações de impedância podem ser detectadas pela variação do sinal de velocidade (Figura 9). Para facilitar a localização das variações de impedância ao longo da estaca, convertem-se os tempos em uma escala de comprimentos.

É usual a aplicação de vários golpes sequenciais, para que seja realizada uma média de sinais correspondentes. Isso permite a filtragem de interferências randômicas, sobressaindo no sinal apenas variações causadas pelas reflexões da onda (PDI, 2014).

Conhecendo-se a velocidade de propagação da onda e o tempo transcorrido entre a aplicação do golpe e a chegada da reflexão correspondente à variação de característica pode-se determinar a exata localização dessa variação.

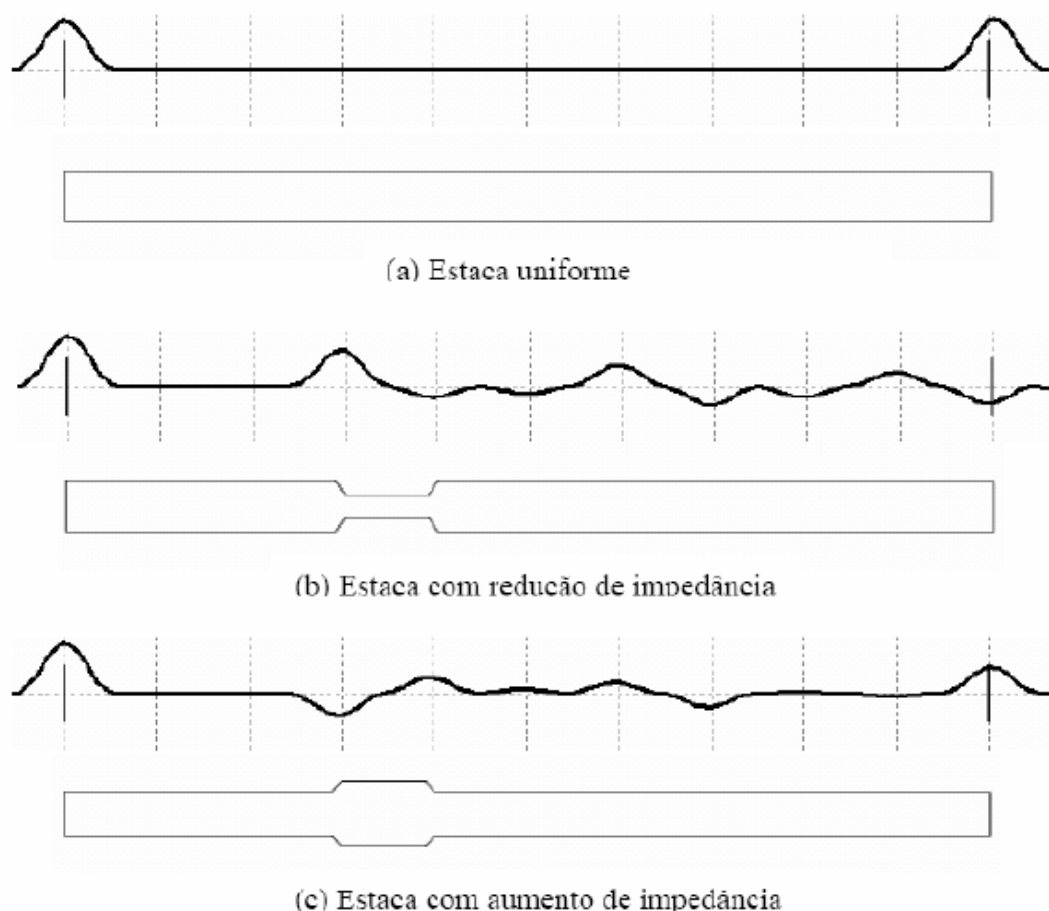


Figura 9 - Exemplo de Sinais de Velocidade Obtidos no Ensaio (Kormann, 2002)

A onda se propaga ao longo do fuste com uma velocidade que é função exclusivamente das características do material da estaca (PDI, 2014).

O uso mais comum do ensaio é a detecção de falhas na concretagem de estacas moldadas in loco. No entanto, o ensaio pode também ser usado para determinar ou confirmar o comprimento de estacas de concreto. Para que o ensaio possa ser realizado, é necessário que a estaca tenha uma área de seção que permita a colocação do sensor, a aplicação dos golpes e a propagação da onda. Isso dificulta a aplicação deste método em estacas metálicas (PDI, 2014).

É necessário um preparo prévio da estaca. Todo o concreto de má qualidade existente no topo deve ser eliminado, É preciso criar uma superfície plana e lisa com uma lixadeira. O topo da estaca deverá estar acessível e seco (PDI, 2014). A presença de água não inviabiliza a execução do ensaio, desde que os pontos em que o acelerômetro será posicionado estejam secos (Kormann, 2002).

Não se pode utilizar argamassa ou qualquer outro material no topo da estacas, a fim de regularizá-lo. O acelerômetro e os golpes têm que ser aplicados em material idêntico ao do restante da estaca (PDI, 2014).

Segundo Kormann (2002), variações de atrito lateral também produzem reflexões, sendo importante comparar a tendência dos sinais monitorados com o perfil geotécnico da obra.

Apesar de sua simplicidade operacional, a interpretação dos sinais pode se tornar bastante complexa. O ensaio identifica variações de impedância, porém, não é possível diferenciar se eventuais danos diagnosticados constituem-se em reduções de seção transversal ou em alterações nas propriedades do concreto. Além disso, os sinais monitorados podem indicar danos que, na realidade, não comprometem a utilização da estaca (Kormann, 2002).

Outra limitação do ensaio diz respeito ao comprimento da estaca. A energia do golpe do martelo tende a se dissipar gradualmente, em função de efeitos de amortecimento que ocorrem no próprio material da estaca e devido à ação do atrito lateral. Recomenda-se a execução em estacas cuja relação entre o comprimento e o diâmetro seja inferior a 30 (Gonçalves et al., 2000; Kormann, 2002).

O ensaio de integridade não possui norma específica no Brasil, no entanto tem sido largamente utilizado, notavelmente em estacas escavadas para verificação do comprimento efetivo e da existência de danos (Gonçalves et al., 2000).

2.3.3 Ensaio de Carregamento Dinâmico

O ensaio de carregamento dinâmico (ECD), segundo a ABNT NBR 13208:2007, tem como objetivo avaliar as cargas mobilizadas na interface solo-estaca, a eficiência do sistema de impacto, as tensões de compressão e de tração ao longo da estaca, a integridade estrutural e as características dinâmicas do sistema solo-estaca.

O ensaio consiste na aplicação de um carregamento dinâmico axial à estaca para a estimativa da capacidade de carga, além de outras informações, através da Teoria da Equação de Onda aplicada à estaca, com base no modelo idealizado por Smith (1960).

Em uma visão holística do ensaio diversos métodos de cálculo e procedimentos computacionais estão envolvidos.

O ensaio é baseado na aquisição de dados de força e velocidade da onda de tensão provocada por um golpe. Os sinais, advindos de instrumentação, são captados e armazenados através de um analisador de cravação, como o equipamento PDA – Pile Driving Analyzer, da PDI (Pile Dynamics, Inc.) e o FPDS – Foundation Pile Diagnostic Systems, da TNO Building and Construction Research Organisation.

Quando uma estaca é solicitada pelo impacto de um martelo uma zona do material é comprimida. Essa compressão causa uma tensão que será transmitida para camadas subsequentes. O processo contínuo de compressão desenvolve uma onda de tensão que se propaga ao longo da estaca (Bernardes, 1989).

A onda descendente inicial gerada pelo impacto do martelo é formada por forças compressivas. Esta onda se propaga ao longo do fuste e quando encontra a ponta da estaca é refletida (Gonçalves et al., 2000).

Segundo a ABNT NBR 13208:2007, durante a execução do ECD, dispositivos de amortecimento devem ser empregados entre o topo da estaca e o sistema de aplicação do impacto, visando à integridade estrutural da estaca a ser ensaiada.

No Brasil frequentemente são utilizados martelos de queda livre. Segundo a ABNT NBR 6122:1996, deve ser posicionado de forma a garantir a aplicação de impacto centrado e axial em relação ao topo da estaca.

A eficiência do martelo é variável que traduz as perdas de energia que ocorrem em função de atritos internos ao equipamento. Dentre os parâmetros do sistema de aplicação de impacto, é o que mais afeta os resultados, tendo grande efeito na intensidade das ondas geradas na estaca em decorrência do impacto pilão (Kormann, 1993).

A monitoração dinâmica de estacas é efetuada utilizando-se um conjunto básico de instrumentos e equipamentos para a aquisição e tratamento dos dados, constituído pelo sistema de impacto, instrumentação e equipamento para aquisição dos dados (Gonçalves et al., 2000).

A técnica de monitoração consiste no registro dos sinais de força e aceleração no topo da estaca, que são gravados em arquivos eletrônicos, podendo ser processados *on line* no momento da cravação, através de um analisador de cravação (Niyama et al.,

1982). O analisador efetua uma série de cálculos, dentre eles o da capacidade de carga e das tensões de cravação, que podem ser refinados por uma análise numérica.

2.3.4 Ensaio de resistência à compressão

No Brasil, a resistência à compressão dos concretos é avaliada por meio de corpos-de-prova cilíndricos com dimensões de 15cm de diâmetro por 30cm de altura, moldados conforme a NBR 5738/03.

O ensaio para determinar a resistência à compressão é feito numa prensa na idade de 28 dias a partir da moldagem, conforme NBR 5739/07 (Figura 10). A resistência em outras idades diferentes de 28 dias pode também ser requerida.

A estimativa de resistência à compressão média, correspondente a uma resistência especificada, deve ser feita como indicada na NBR 12655/96.



Figura 10 - Corpo de Prova Cilíndrico em Ensaio para Determinação da Resistência à Compressão do Concreto (Notas de aula Fundamentos do Concreto Armado – Prof Dr Paulo Sergio do Santos Bastos UNESP, 2011)

A norma 5739/07 orienta como deve-se proceder nas etapas do ensaio. O corpo-de-prova é submetido ao carregamento propriamente dito, com velocidade que deve estar dentro do intervalo (0,45 +/- 0,15) MPa/s. A norma também indica as tolerâncias da idade de ensaio permitidas de acordo com a idade do testemunho.

Dentre todos os cuidados e procedimentos indicados pela Norma, esta a preparação das bases. É por elas que o corpo-de-prova recebe as tensões exercidas pela máquina no ensaio.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O estudo em questão é direcionado a fundação de uma obra localizada na cidade de São Caetano do Sul, São Paulo, com duração de agosto até novembro de 2014.

A obra é composta por duas torres de salas comerciais de 15 andares tipo e 4 subsolos em cada. O sistema construtivo é composto por estrutura de concreto armado moldado in loco e fechamento com blocos de concreto e fachadas em vidro. O tipo de fundação escolhido foi o de estacas escavadas com uso de material estabilizante.

Com o objetivo de esclarecer a origem das anomalias, se faz necessário analisar uma série de fatores, estudar os documentos disponíveis referentes ao histórico da execução das estacas e realizar ensaios que identifiquem a real situação das mesmas.

A obtenção de documentos e informações sobre a execução das estacas se realizará no próprio canteiro de obras, a equipe de obra que acompanhou a execução fornecerá os documentos de controle e acompanhamento que foram preenchidos no decorrer do processo. Os documentos a serem analisados são: plantas de localização dos pilares e estacas, perfil de sondagem, esquema de concretagem das estacas, dosagens empregadas, notas fiscais de entrega do concreto, registros de fornecimento de concreto contendo volumes fornecidos, datas, horários, resultados de ensaios de resistência à compressão e abatimento do tronco de cone, notas de campo comparando volumes teóricos e reais.

O primeiro passo a ser realizado em prol dos ensaios é a extração de testemunho através de sondagem rotativa. Será realizado uma análise visual do concreto antes de encaminhar os testemunhos para que sejam realizados os ensaios físicos, mecânicos e

mineralógicos. Esta extração ocorrerá em três estacas, duas delas em estacas deficientes executadas com lama polimérica e uma delas executada com lama bentonítica, que se mostrou adequada aos limites normativos de recalque.

O material da sondagem será encaminhado para o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) de São Paulo, aonde passará por ensaios para atestar a qualidade dos concretos aplicados, além de verificar a eficiência do material polimérico utilizado. O concreto será submetido a ensaios de resistência à compressão, massa específica, absorção de água e índice de vazios, reconstituição de traço e análise petrográfica.

Uma hipótese sugerida é a de que o material polimérico empregado na contenção dos furos pudesse ter-se misturado ao concreto fresco quando de sua colocação, outra suposição indicava a possibilidade da origem do problema estar ligada ao concreto fornecido e/ou as operações de transporte e lançamento do material. Com o resultado destes ensaios, analisados em conjunto com os documentos de acompanhamento de campo espera-se encontrar qual a origem, ou origens, das anomalias encontradas nas estacas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Sondagem Rotativa

A partir do problema identificado foram realizadas extrações através de sondagem rotativa em três estacas distintas. Duas dessas extrações foram realizadas em estacas executadas com lama polimérica (estacas P60 e P80) e uma extração em estaca onde se utilizou lama bentonítica (estaca P41). Essa metodologia foi adotada pois as estacas executadas com lama polimérica apresentaram recalques superiores ao admissível, e as com lama bentonítica apresentaram resultados adequados. Foram extraídos corpos de prova com diâmetro de 6 cm e comprimento variável do centro da estaca com diâmetro de um metro.

A planta de localização das estacas pode ser visualizada pela Figura 11 abaixo.

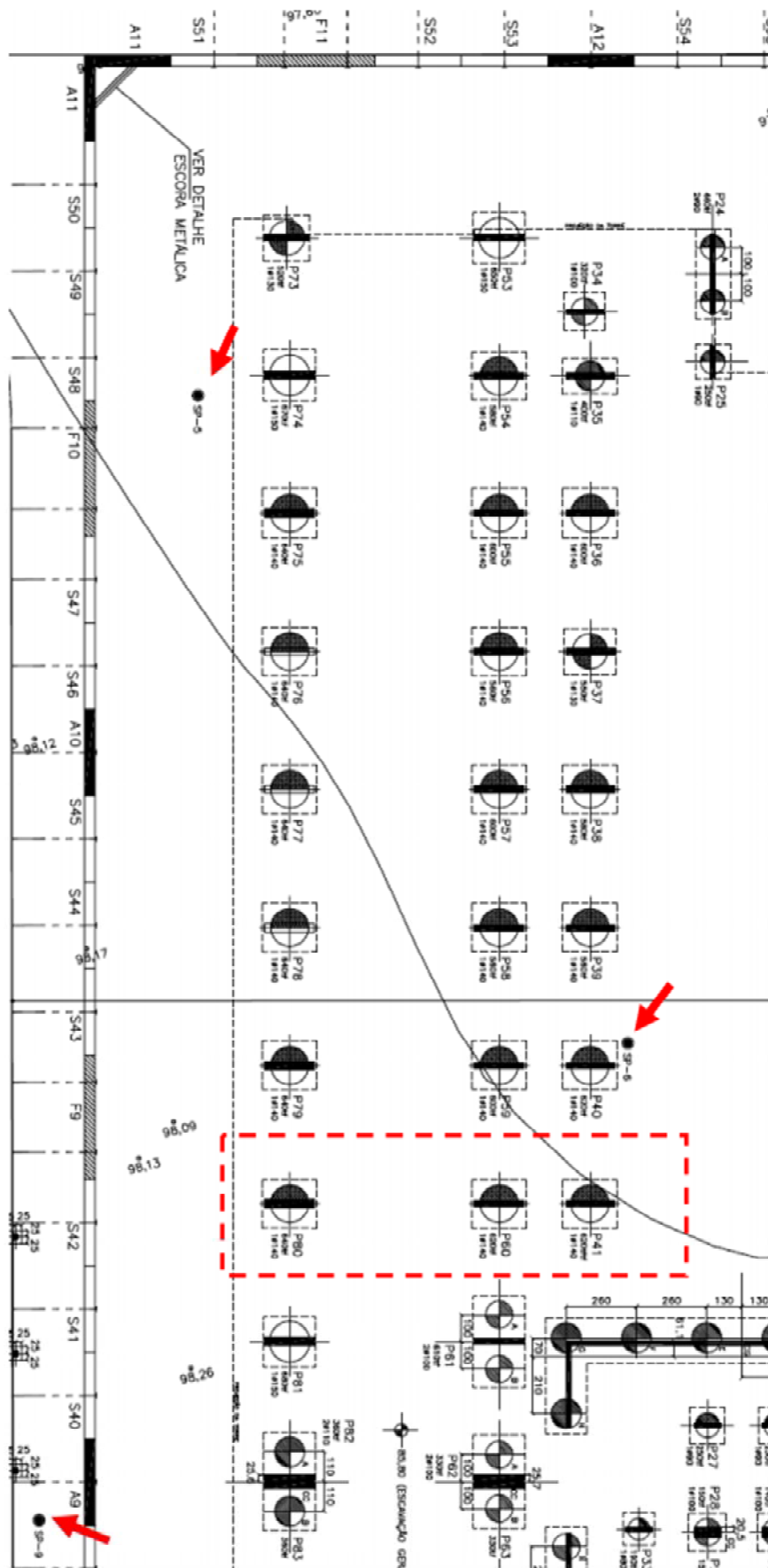


Figura 11 - Planta de Localização

As Figuras de 12 a 14 mostra os testemunhos de concreto extraídos das estacas P41, P60 e P80, respectivamente, através da sondagem rotativa realizada pela empresa Damasco Penna.



Figura 12 - Testemunhos de Concreto - Estaca P41 - Utilização de Lama Bentonítica como Fluido Estabilizante



Figura 13 - Testemunhos de Concreto - Estaca P60 - Utilização de Lama Polimérica como Fluido Estabilizante



Figura 14 - Testemunhos de Concreto - Estaca P80 - Utilização de Lama Polimérica como Fluido Estabilizante

Notou-se, a partir de inspeção visual, um material “esbranquiçado” e material arenoso misturado ao concreto próximo ao final das estacas em que foi utilizada a lama polimérica como fluido estabilizante, como mostram Figuras 15 e 16. Admite-se como possibilidade para esse fato a utilização de concreto vencido, a utilização de concretos com resistências diferentes ou ainda erros na execução. Para análise os corpos de prova foram encaminhados para ensaios de compressão.



Figura 15 - Material Esbranquiçado no Concreto da Estaca P-80



Figura 16 - Material Esbranquiçado no Concreto Estaca P-80

Verificaram-se também nesses corpos de prova, trechos com vazios laterais, redução da seção de concreto nas estacas executadas com lama polimérica a partir de aproximadamente 10 metros de profundidade, como mostra a Figura 17



Figura 17 - Trechos com Vazios Laterais da Estaca P-80

Através dos boletins de sondagem (Anexo x) verifica-se que a estaca P60, teoricamente com 14 metros de comprimento, apresenta um vazio de concretagem entre as cotas 10,80m a 11,50m e a partir da cota 12,25m não há mais concreto. A estaca P80, teoricamente com 14 metros de comprimento, apresenta um trecho com vazio lateral na cota 10,10m até a cota 12,60m e em seguida não há mais concreto. A estaca P41, teoricamente com 14 metros de comprimento executada com lama bentonítica apresenta-se com concreto integro até a cota 14,92m.

4.2 Ensaios Realizados

Os testemunhos de concreto extraídos foram encaminhados ao IPT para realização de ensaios químicos, físicos, mecânicos e mineralógicos para verificar a qualidade do concreto. Também foram realizadas análises para verificar se houve mistura entre a lama polimérica e o concreto, além de ensaios para verificação do desempenho da lama polimérica utilizada.

Os ensaios realizados nos concretos foram:

- Resistência a compressão;
- Massa específica, absorção de água, índice de vazios;
- Reconstituição de traço das amostras;
- Análise petrográfica das amostras;

Para a realização dos ensaios foram utilizados seis testemunhos de cada estaca para ensaio da resistência a compressão e seis testemunhos de cada estaca para determinação da massa específica, absorção de água e índice de vazios. Para avaliar a homogeneidade do concreto em toda extensão da estaca as amostras foram retiradas dos trechos inicial (topo), central e final (base), dois testemunhos de cada trecho, totalizando seis por estaca, conforme citado acima.

4.2.1 Concreto – Ensaios físicos, químicos e mecânicos

A Figura 18, Figura 19 e Figura 20 apresentam os resultados de resistência à compressão, absorção de água e índice de vazios, respectivamente, dos ensaios

realizados nos testemunhos extraídos. A Figura 13 apresenta resultados de índice de vazios e resistência à compressão combinados, para base de comparação.

Em todas as amostras analisadas os resultados de resistência à compressão foram superiores ao especificado em projeto ($f_{ck}=25\text{MPa}$).

De modo geral não existem limites normatizados na norma NBR 9778 para avaliação dos resultados de absorção e índice de vazios. Helene (1983) propôs, com base em critérios gerais de durabilidade, uma classificação para concretos convencionais em função da porosidade e da absorção de água, conforme apresentado na Tabela 01

Tabela 1 - Classificação dos Concretos de Acordo com a Porosidade e Absorção de Água

Propriedade	Qualidade do concreto	<10%	10 a 15%	>15%
Porosidade	Concretos duráveis			
	Concretos normais			
	Concretos deficientes			
		<4,2%	4,2 a 6,3%	>6,3%
Absorção de água	Concretos duráveis			
	Concretos normais			
	Concretos deficientes			

Fonte: HELENE (1983)

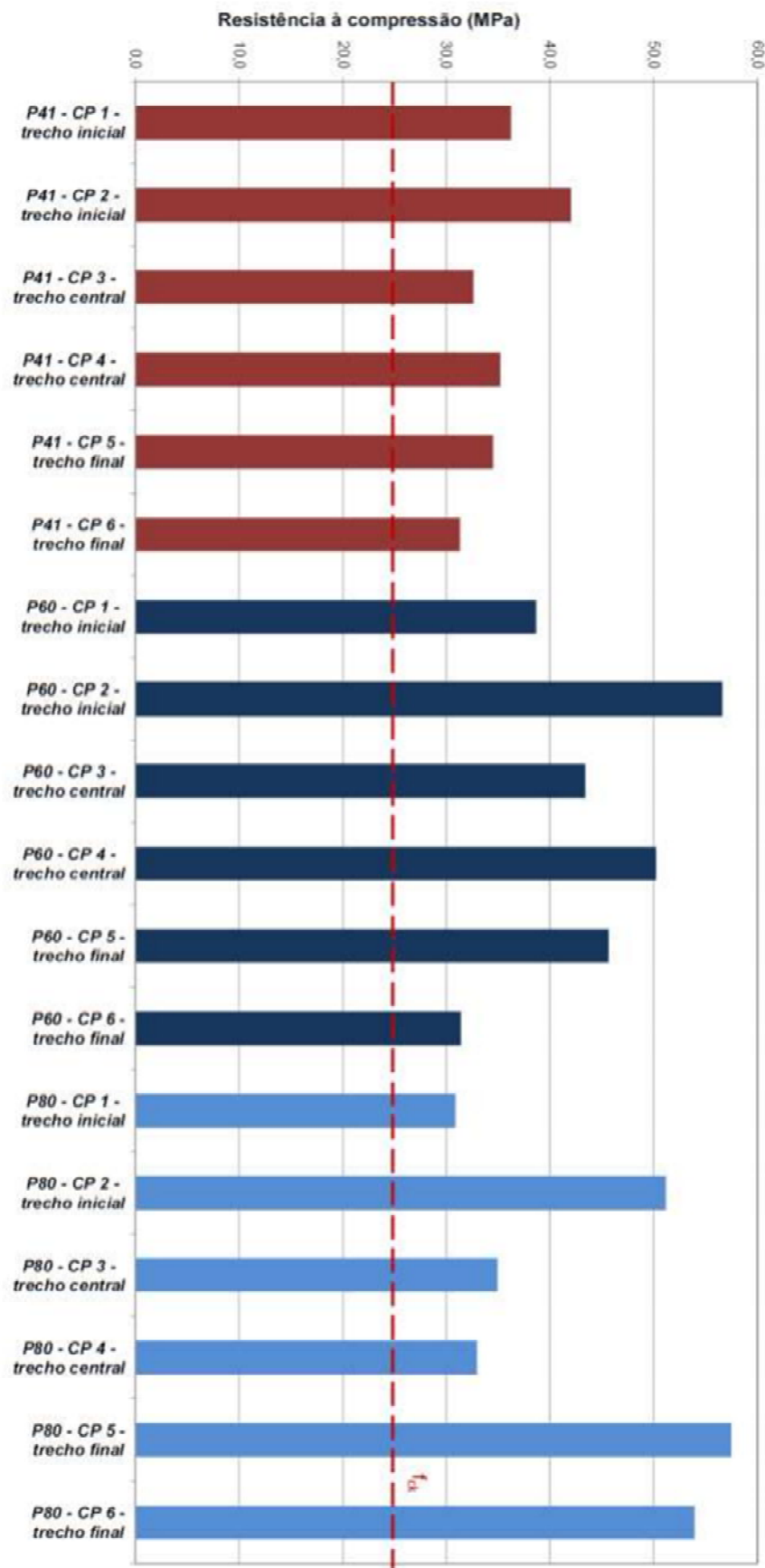


Figura 18 - Ensaio de Resistência à Compressão

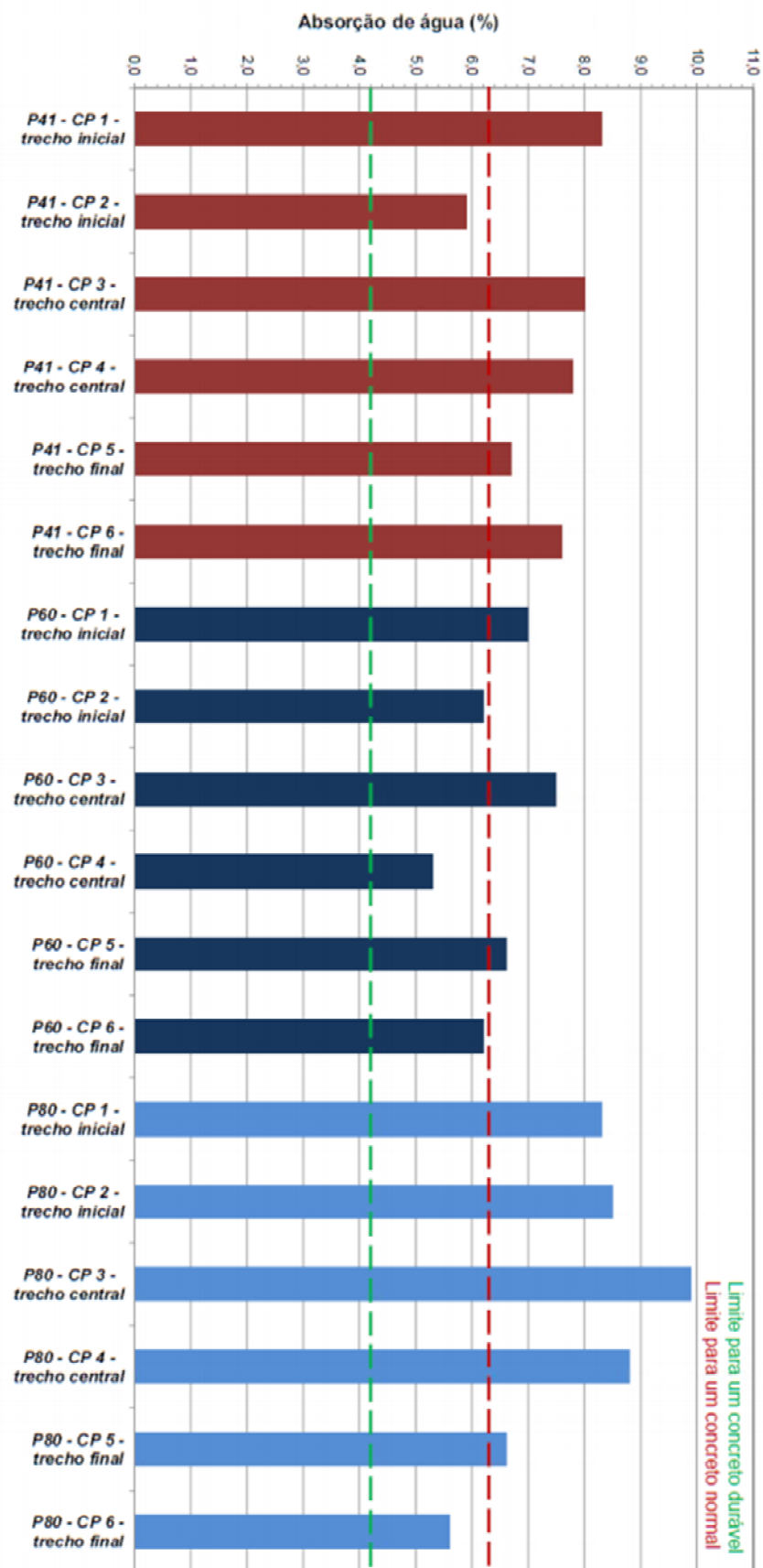


Figura 19 - Absorção de Água dos Testemunhos de Concreto

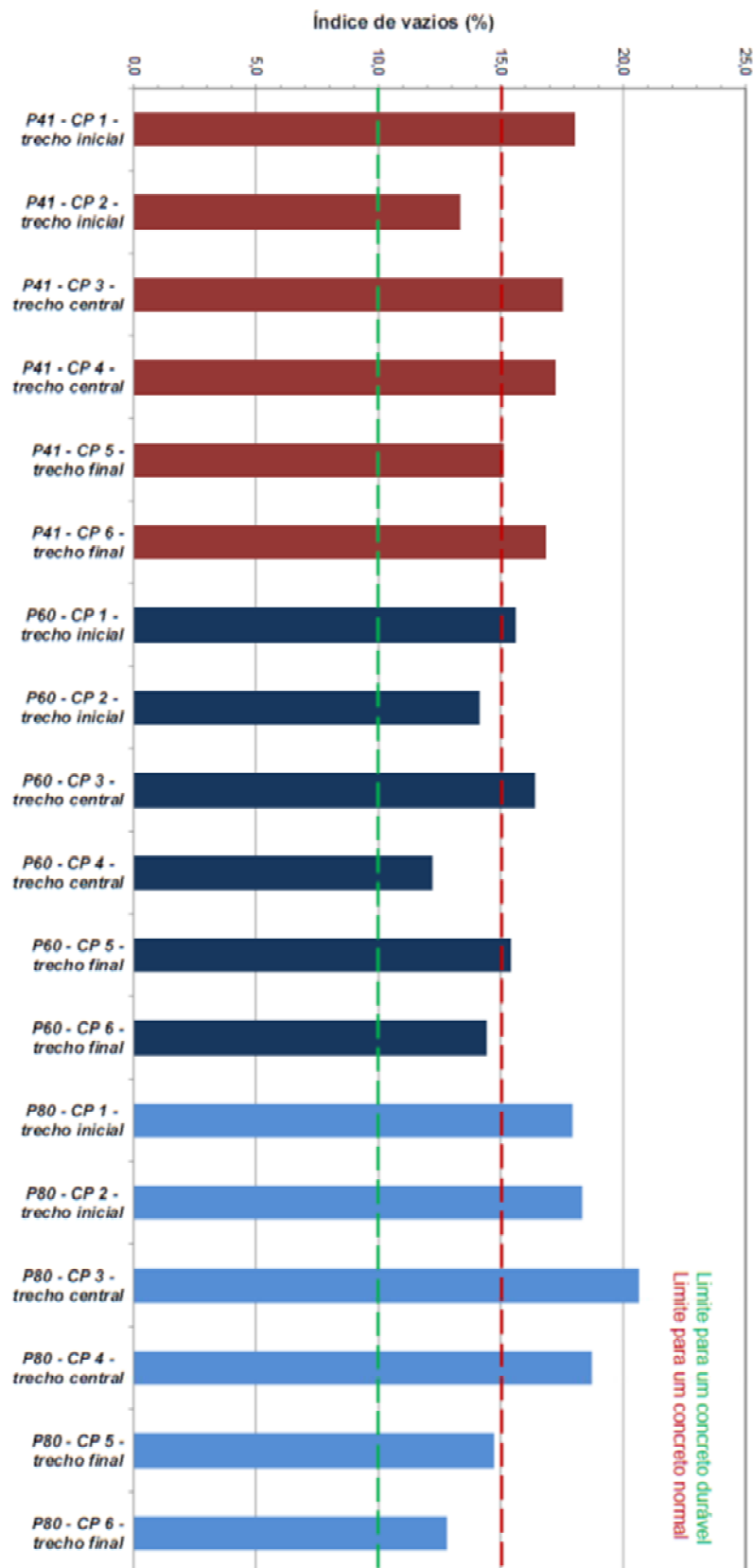


Figura 20 - Índice de Vazios dos Testemunhos de Concreto

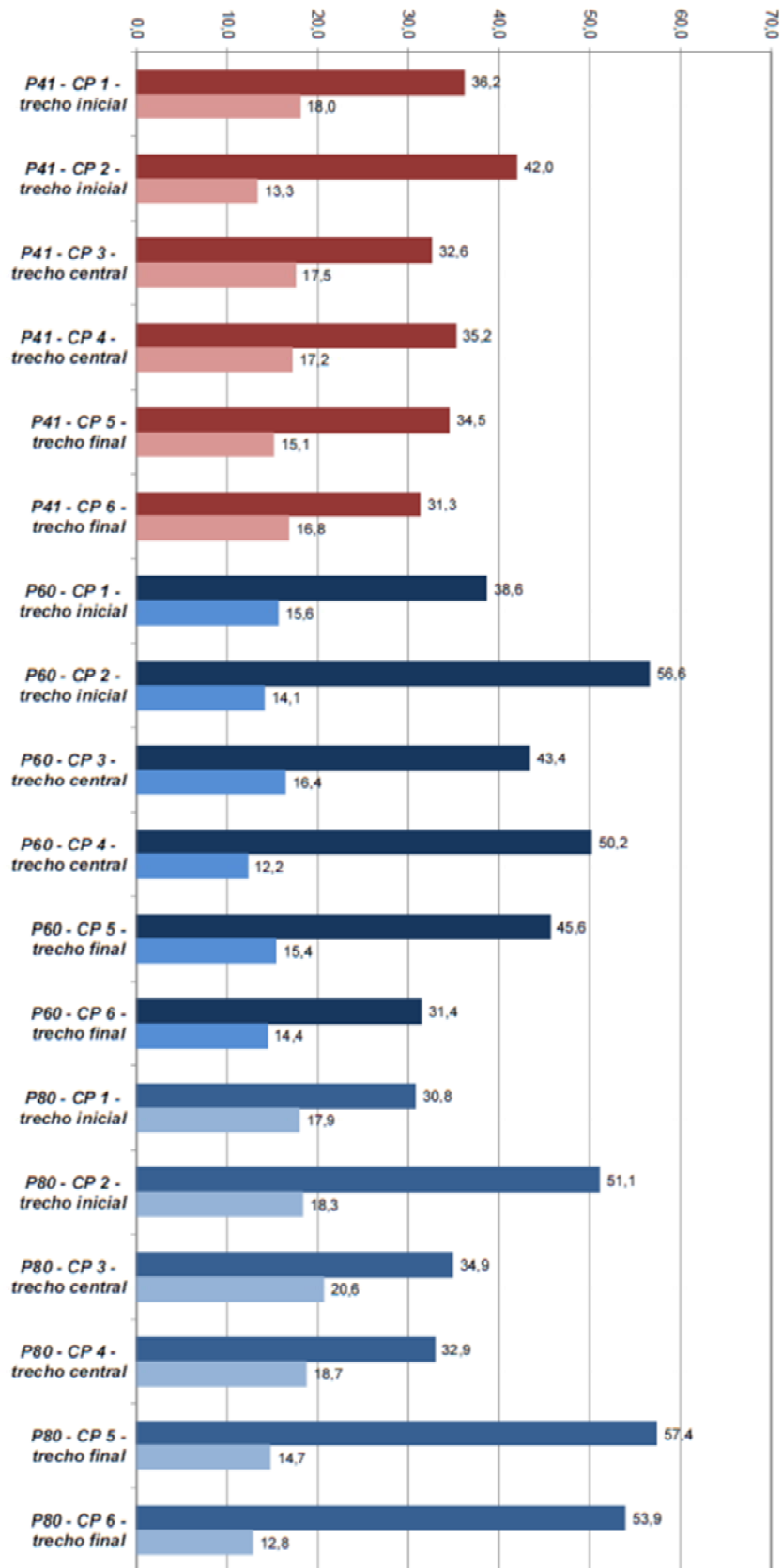


Figura 21 - Resistência à Compressão e Índice de Vazios

Pode-se observar que o índice de absorção de água e o índice de vazios interfere de modo muito sutil nas resistências das amostras, até as amostras com índices acima dos recomendados em absorção e porosidade tiveram suas resistências superiores ao limite de 25MPa. Desta forma pode-se comprovar que estes fatores não são determinantes para a anomalia das estacas.

4.2.2 Reconstituição de traço das amostras

A reconstituição de traço foi realizada a partir da análise química das amostras de concreto extraídas das estacas após a ruptura dos testemunhos nos ensaios de resistência à compressão. A partir dos resultados obtidos nas análises químicas e o cálculo dos prováveis traços dos concretos verificou-se que o consumo variou de 371kg/m³ a 432kg/m³. Segundo a NBR 6122:2010, o consumo mínimo de cimento adotado neste tipo de estrutura é de 400kg/m³. Apenas o trecho final da estaca P-60 apresentou resultado igual a 371kg/m³ e inferior ao consumo mínimo de cimento recomendado.

Os ensaios foram realizados para os trechos inicial (topo) e final (base) como mostram a Figura 22 e Figura 23, respectivamente.

Parâmetros calculados, em massa		Resultados		
		Testemunhos de concretos de estacas - P41 - CP1" (LMCC N.º 1551/13)	"Testemunhos de concretos de estacas - P41 - CP5" (LMCC N.º 1551/13)	"Testemunhos de concretos de estacas - P60 - CP1" (LMCC N.º 1552/13)
Cálculo do traço a partir do resíduo insolúvel (RI)	Cimento, %	19,7	19,9	20,0
	Agregado silicoso, %	80,3	80,1	80,0
	Traço (cimento : agregado)	1 : 4,1	1 : 4,0	1 : 4,0
	Consumo de cimento, em kg/m ³	412	415	418
Cálculo do traço a partir do anidrido silícico (SiO ₂)	Cimento, %	20,1	19,1	18,9
	Agregado silicoso, %	80,3	80,1	80,0
	Traço (cimento : agregado)	1 : 4,0	1 : 4,2	1 : 4,2
	Consumo de cimento, em kg/m ³	418	405	403
Cálculo do traço a partir do óxido de cálcio (CaO)	Cimento, %	19,9	19,6	19,0
	Agregado silicoso, %	80,3	80,1	80,0
	Traço (cimento : agregado)	1 : 4,0	1 : 4,1	1 : 4,2
	Consumo de cimento, em kg/m ³	415	412	404
Valores médios	Cimento, %	19,9	19,5	19,3
	Agregado silicoso, %	80,3	80,1	80,0
	Traço (cimento : agregado)	1 : 4,0	1 : 4,1	1 : 4,1
	Consumo de cimento, em kg/m ³	415	411	408

Figura 22 - Reconstituição do Traço e Consumo de Cimento – Trecho Inicial

Parâmetros calculados, em massa		Resultados		
		"Testemunhos de concretos de estacas - P60 - CP6" (LMCC N.º 1552/13)	"Testemunhos de concretos de estacas - P80 - CP1" (LMCC N.º 1553/13)	"Testemunhos de concretos de estacas - P80 - CP5" (LMCC N.º 1553/13)
Cálculo do traço a partir do resíduo insolúvel (RI)	Cimento, %	17,8	21,3	20,8
	Agregado silicoso, %	82,2	78,7	79,2
	Traço (cimento : agregado)	1 : 4,6	1 : 3,7	1 : 3,8
	Consumo de cimento, em kg/m ³	379	439	430
Cálculo do traço a partir do anidrido silícico (SiO ₂)	Cimento, %	17,1	20,4	20,8
	Agregado silicoso, %	82,2	78,7	79,2
	Traço (cimento : agregado)	1 : 4,8	1 : 3,9	1 : 3,8
	Consumo de cimento, em kg/m ³	370	428	431
Cálculo do traço a partir do óxido de cálcio (CaO)	Cimento, %	16,8	20,6	20,2
	Agregado silicoso, %	82,2	78,7	79,2
	Traço (cimento : agregado)	1 : 4,9	1 : 3,8	1 : 3,9
	Consumo de cimento, em kg/m ³	365	430	423
Valores médios	Cimento, %	17,2	20,8	20,6
	Agregado silicoso, %	82,2	78,7	79,2
	Traço (cimento : agregado)	1 : 4,8	1 : 3,8	1 : 3,8
	Consumo de cimento, em kg/m ³	371	432	428

Figura 23 - Reconstituição do Traço e Consumo de Cimento - Trecho Final

4.2.3 *Análise Petrográfica*

A partir desta análise realizou-se a observação direta, em escala microscópica, da estrutura, da textura e das fases constituintes das amostras de concreto. Através deste ensaio é possível verificar se houve a mistura relevante de materiais estranhos ao concreto em sua estrutura.

A análise petrográfica do concreto foi realizada em dois testemunhos para cada estaca, sendo um do trecho inicial e um do trecho final. Através destes ensaios não foi verificada a presença ou vestígios de lama polimérica na estrutura do concreto.

4.2.4 *Lama Polimérica*

4.2.4.1 *Identificação dos compostos*

Os três materiais da lama polimérica, denominados: “pó branco”, “pó bege” e “polímero líquido” foram analisados por técnicas específicas para identificar o composto principal do material utilizado na execução das estacas. Estas análises foram realizadas com o objetivo de verificar a presença de alguns destes compostos nos concretos das estacas. A Tabela 2 mostra os resultados da análise por espectrofotometria no infravermelho para a lama polimérica.

Tabela 2 - Resultados de Análise por Espectrofotometria no Infravermelho

Materiais	Compostos preponderantes
“Pó branco”	Compostos inorgânicos, provavelmente carbonatados
“Pó bege”	Poliacrilamida e poliacrilato
“Polímero líquido” (material seco a 105°C)	Poliacrilamida e poliacrilato, espectro semelhante ao do material “pó bege”

A partir da identificação dos compostos da lama polimérica verificou-se que nas amostras do concreto dos pilares P60 e P80 (executadas com a utilização da lama polimérica) não foram constatadas a presença dos materiais denominados “pó bege” e “polímero líquido” constatando que não houve a mistura destes constituintes com o concreto.

4.2.5 Determinação do pH da Lama Polimérica

Com o objetivo de avaliar a influência da variação do pH sobre a eficiência da lama polimérica aplicada nas estacas, variou-se o teor do “pó branco” (controlador de pH) a limites inferiores e superiores aos usualmente aplicados. A Figura 24 mostra os resultados de pH obtidos a partir das misturas analisadas.

Proporção dos constituintes, da lama polimérica, indicada pelo cliente e resultados de pH	Misturas				
	A	B	C	D	E
Variável de: 0,2 a 0,6 kg - “Pó branco” (LMCC N.º 2031/13)	0,2g	0,3g	0,4g	0,5g	0,6g
1kg - “Pó bege” (LMCC N.º 2032/13)	1g				
1,5kg - “Polímero líquido” (LMCC N.º 2033/13)	1,5g				
1000 litros	1L				
pH (25°C)	10,4	10,6	10,7	10,8	10,8

Figura 24 - Resultados de pH

A partir dos resultados dos ensaios verificou-se que pequenas variações no teor do “pó branco” não alteram significativamente o valor do pH da lama polimérica e, conseqüentemente, a mistura permanece estável.

4.3 Operações de escavação e concretagem

A Tabela 3 mostra um resumo das operações de escavação e controle tecnológico do concreto a partir das informações disponibilizadas pela obra e baseados em notas fiscais de entrega do concreto pela empresa Polimix (anexo III), controle tecnológico dos serviços de concretagem realizado pela obra (anexo II), boletim de acompanhamento da execução das estacas pela Speceng (anexo IV) e relatório de moldagem realizado pela Testin (anexo V).

Tabela 3 - Resumo de Operações de Escavação e Concretagem

ESTACA	FLUIDO ESTABILIZANTE	INÍCIO DA ESCAVAÇÃO (2)		FIM DA ESCAVAÇÃO (2)		TEMPO DE ESCAVAÇÃO (hrs)	DATA DA CONCRETAGEM	NOTA FISCAL POLIMIX	VOLUME (m³)
		DATA	HORA	DATA	HORA				
P41	Lama bentonítica	25/02/2014	07:20	25/02/2014	10:30	03:10	25/02/2014	24.739	8
								24.740	8
								24.742	8
P60	Lama polimérica	21/01/2014	11:25	21/01/2014	19:40	23:05	22/01/2014	22.761	7
								22.763	7
		22/01/2014	07:30	22/01/2014	10:30			22.762	7
								22.772	7
P80	Lama polimérica	08/01/2014	10:45	08/01/2014	13:55	03:10	08/01/2014	21.823	7
								21.826	6
								21.824	7
								21.828	6

ESTACA	ABATIMENTO RECEBIDO (cm) (5)	HORÁRIO DE CARGA NA USINA (1)	OBRA			PROFUNDIDADE APÓS LANÇAMENTO DO CONCRETO (m)		SUBIDA DO CONCRETO (m)		TEMPO DE APLICAÇÃO DO CONCRETO APÓS O FIM DA ESCAVAÇÃO (hrs)
			INÍCIO DA DESCARGA (2)	FIM DA DESCARGA (2)	TEMPO DE APLICAÇÃO (hrs) (3)	ANTES	DEPOIS	REAL	TEÓRICA	
P41	22,5	14:38	15:53	15:57	01:15	24,8	19,9	4,9	5,22	05:23
	25,0	14:46	16:03	16:06	01:17	19,9	15,2	4,7	5,22	05:33
	23,0	14:55	16:14	16:36	01:19	15,2	10,5	4,7	5,22	05:44
P60	23,0	10:36	12:16	12:19	01:40	24,8	20,7	4,1	4,57	01:46
	23,0	10:47	12:22	12:25	01:35	20,7	17,5	3,2	3,26	01:52
	24,0	10:45	12:37	12:46	02:01	17,5	13,0	4,5	4,57	02:07
	23,0	11:52	12:52	12:57	01:00	13,0	9,5	3,5	3,59	02:22
P80	23,5	13:03	14:47	14:57	01:44	-	-	-	-	00:52
	23,0	13:11	15:00	15:07	01:49	-	-	-	-	01:05
	23,5	13:07	15:17	15:20	02:10	-	-	-	-	01:22
	24,0	13:31	15:32	15:46	02:01	-	-	-	-	01:37

A partir dos dados apresentados verifica-se que as escavações das estacas P41 e P80 foram realizadas em aproximadamente 3 horas, enquanto que a estaca P60 foi escavada em 23 horas, iniciando-se no dia 21/01/2014 e sendo finalizada no dia seguinte. No caso da estaca P41, em que se utilizou a lama bentonítica como fluido estabilizante, a concretagem foi iniciada aproximadamente 5 horas após o fim da escavação. Nas estacas P60 e P80, onde foi utilizada a lama polimérica como fluido estabilizante, o concreto foi lançado em aproximadamente 2 horas e 1 hora, respectivamente.

A NBR 7212 determina, no item 4.5.2, que “O tempo de transporte do concreto decorrido entre o início da mistura, a partir do momento da primeira adição da água até a entrega do concreto deve ser: b) inferior a 90 min e fixado de maneira que até o fim

da descarga seja de no máximo 150 min, no caso do emprego de veículo dotado de equipamento de agitação”.

Nota-se que os concretos utilizados na estaca P41 foram lançados em até 90 minutos, conforme as prescrições normativas. Apesar dos caminhões das estacas P60 e P80 terem sido lançados dentro do intervalo máximo da norma, em sua maioria chegaram muito próximo do limite de 150 minutos, tal situação poderia comprometer a qualidade dos concretos.

4.4 Controle Tecnológico do Concreto

O controle tecnológico do concreto foi realizado pela empresa Testin onde foram realizados os ensaios de praxe como verificação da nota fiscal do concreto, realização do ensaio de abatimento pelo tronco de cone e controle do concreto por amostragem total do concreto. Para todos os caminhões foram moldados 4 corpos de prova sendo para ensaio de resistência à compressão para as idades de 7 dias (1 CP), 28 dias (2 CP's) e 63 dias (1 CP).

Segundo especificações da Consultrix, (ref. Projeto de fundações – Executivo – Estacas escavadas: H420-FUN-PE-LIB-001-PLA-LOCA-R00) os concretos foram especificados com $f_{ck}=25\text{MPa}$, abatimento de $22\pm 2\text{cm}$, com brita 1 e consumo mínimo de cimento de 400kg/m^3 .

Segundo informações disponíveis e constantes do relatório Testin (ref. Relatório de moldagem: Código da obra – 3176), constante do Anexo V, todos os concretos foram lançados com abatimento dentro da faixa especificada de $22\pm 2\text{cm}$, excetuando-se o concreto referente a nota fiscal (NF) 24.740 que apresentou abatimento de 25cm.

Segundo as notas fiscais da Polimix, os concretos foram dosados com consumo de cimento de 414kg/m^3 . Os resultados de resistência à compressão, constantes do Anexo VI, são apresentados nas Figuras 25, Figura 26 e Figura 27.

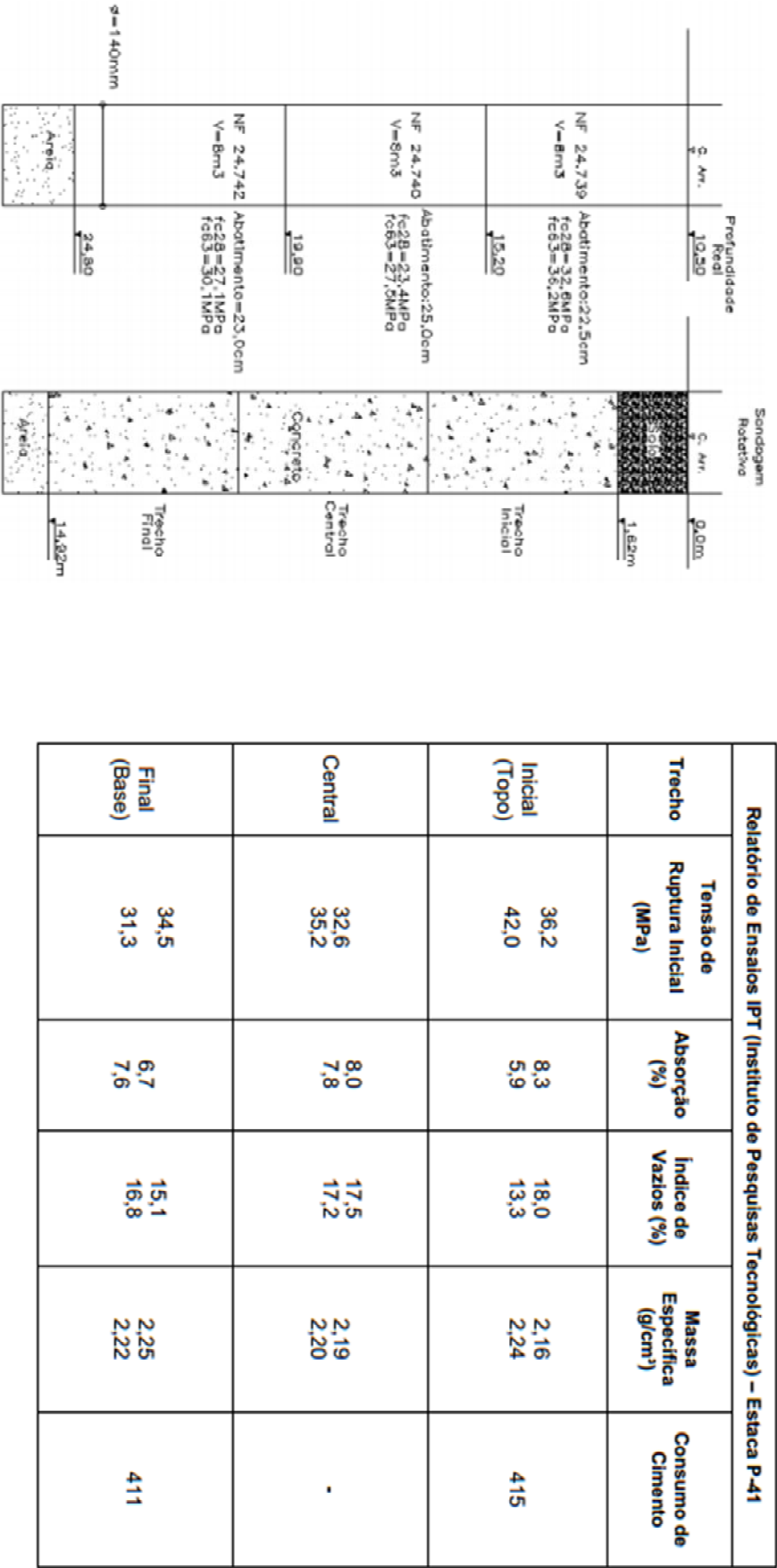
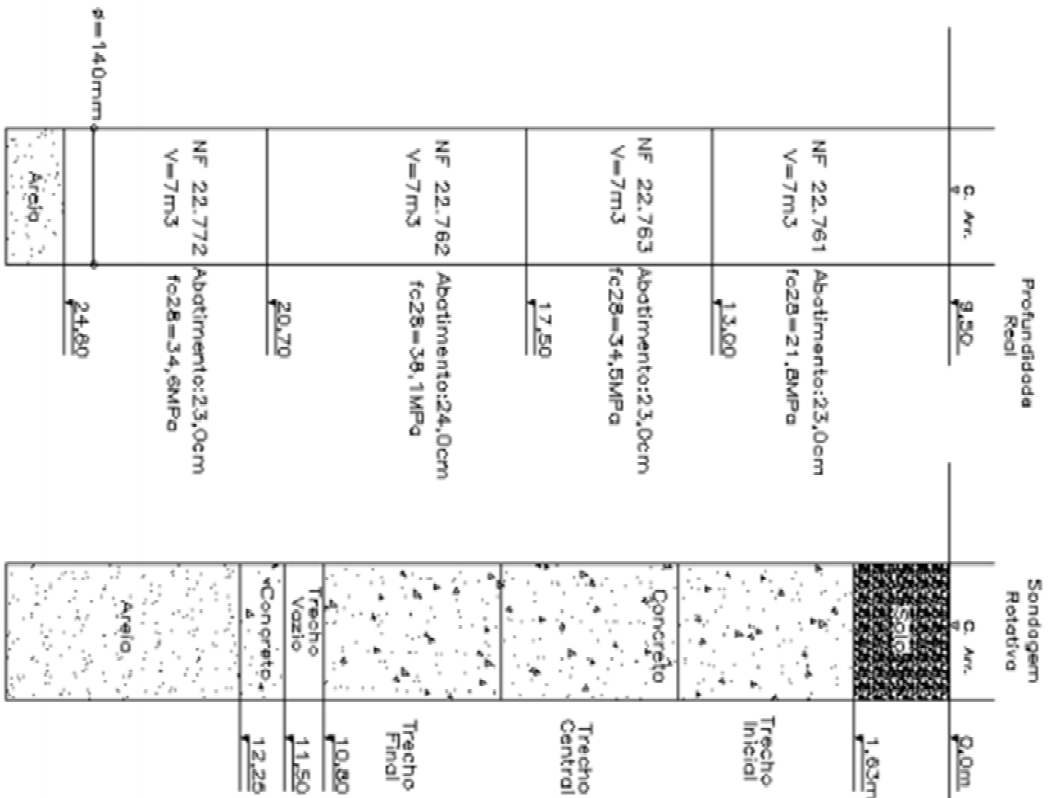
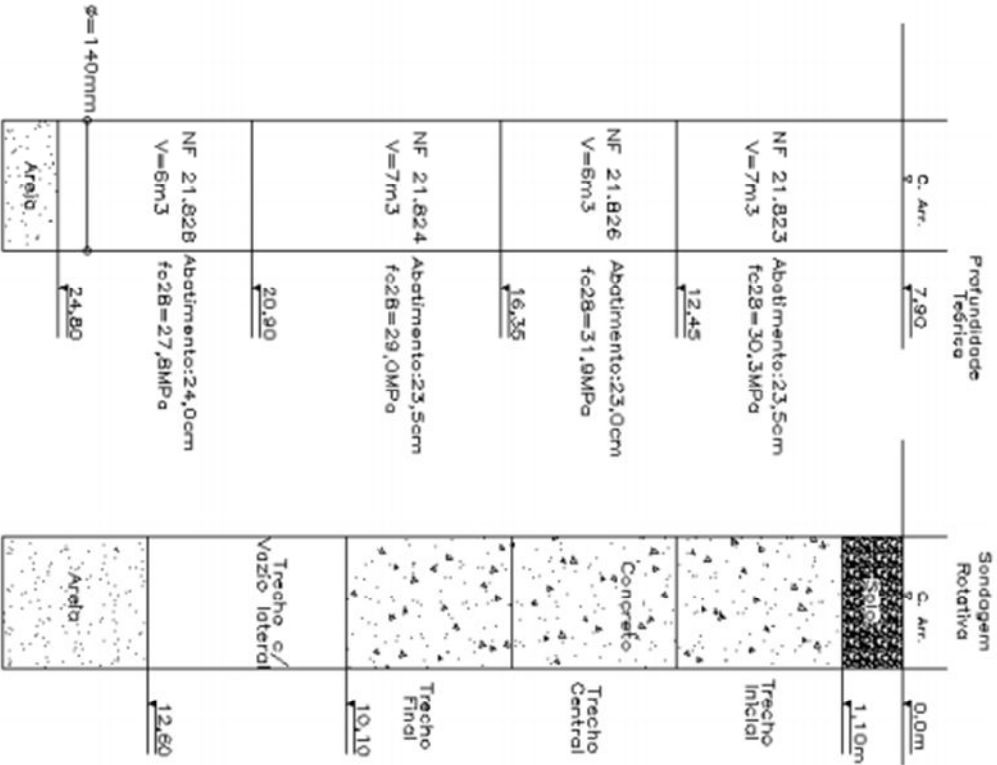


Figura 25 - Resumo dos Resultados de Ensaios - Estaca P41



Relatório de Ensaios IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas) – Estaca P-60						
Trecho	Tensão de Ruptura Inicial (MPa)	Absorção (%)	Índice de Vazios (%)	Massa Específica (g/cm³)	Consumo de Cimento (kg/m³)	
Inicial (Topo)	38,6 56,6	7,0 6,2	15,6 14,1	2,22 2,29	408	
Central	43,4 50,2	7,5 5,3	16,4 12,2	2,20 2,30	-	
Final (Base)	45,6 31,4	6,6 6,2	15,4 14,4	2,33 2,31	371	

Figura 26 - Resumo dos Resultados de Ensaios - Estaca P60



Relatório de Ensaio IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas) – Estaca P-80						
Trecho	Tensão de Ruptura Inicial (MPa)	Absorção (%)	Índice de Vazios (%)	Massa Específica (g/cm³)	Consumo de Cimento (kg/m³)	
Inicial (Topo)	30,8 51,1	8,3 8,5	17,9 18,3	2,15 2,14	432	
Central	34,9 32,9	9,9 8,8	20,6 18,7	2,07 2,12	-	
Final (Base)	57,4 53,9	6,6 5,6	14,7 12,8	2,23 2,28	428	

Figura 27 - Resumo dos Resultados de Ensaio - Estaca P80

4.4.1 Controle Tecnológico do Fluido Estabilizante

O controle da subida de concreto e ensaio da lama polimérica e bentonítica foram realizados pela empresa Speceng e constam do anexo IV.

Segundo prescrições da norma NBR 6122 – Projeto e execução de fundações, de 2010, após terminada a escavação, antes da concretagem, deve ser verificada a porcentagem de areia em suspensão na lama bentonítica e, em função deste valor, deve-se proceder à sua troca ou desarenação para garantir a sua qualidade durante toda a concretagem.

A Tabela 4 mostra os valores normativos e os valores determinados durante a aplicação da lama bentonítica na escavação da estaca P41.

Tabela 4 - Ensaio de Lama - P41 - Lama Bentonítica

Propriedades	Valores (NBR 6122, 2010)	Antes da desarenação (Speceng)	Após a desarenação (Speceng)
Densidade (g/cm ³)	1,025 a 1,10	1,06	1,02
Viscosidade (s)	30 a 90	36	33
pH	7 a 11	9	9
Teor de areia	até 3%	5,00	1,00

A Tabela 5 mostra os valores normativos e os valores determinados durante a aplicação da lama polimérica na escavação da estaca P-60.

Tabela 5 - Ensaio de Lama - P60 - Lama Polimérica

Propriedades	Valores (NBR 6122, 2010)	Antes da desarenação	Após a desarenação
Densidade (g/cm ³)	1,005 a 1,050	1,01	1,01
Viscosidade (s)	35 a 120	61	57
pH	8 a 12	9	9
Teor de areia	até 3%	-	-

Segundo a NBR 6122 (2010), no caso do polímero a decantação é imediata, não necessitando de desarenação, apenas limpeza de fundo.

As informações do boletim de acompanhamento da execução e cronometragem dos trabalhos, para a estaca P80, não estão disponíveis.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir das informações levantadas e ensaios realizados nos testemunhos extraídos de cada estaca P41, P60 e P80 são realizados alguns comentários:

5.1 Concreto

Os resultados dos corpos de prova moldados em obra quando do lançamento do concreto das estacas P41, P60 e P80 apresentaram valores superiores ao fck de projeto, excetuando o concreto lançado na estaca P60 (NF 22.761) que apresentou resultado de 21,8 MPa aos 28 dias. A partir dos ensaios realizados nos testemunhos extraídos das estacas, todos os resultados de resistência à compressão mostraram-se superiores ao fck de projeto.

As características físicas mensuradas de índice de vazios, absorção de água e massa específica apresentaram resultados satisfatórios para concreto convencional. Índices elevados de vazios e/ou absorção de água podem afetar a durabilidade das estruturas, mas não sua integridade estrutural. Normalmente, em concretos de estacas são utilizados aditivos polifuncionais e superplastificantes para proporcionar maior trabalhabilidade ao concreto. Em muitos casos, estes aditivos podem incorporar ar no concreto e como consequência diminuir a sua massa específica.

Os consumos de cimento para as estacas analisadas atenderam ao especificado e normatizado para este tipo de estrutura ($\geq 400\text{kg/m}^3$) com exceção da amostra do trecho final da estaca P-60 que apresentou consumo de cimento de 371kg/m^3 .

A partir dos ensaios executados nos constituintes da lama polimérica verificou-se que nas amostras ensaiadas para as estacas P60 e P80 não foi constatada a presença de materiais da lama polimérica misturados ao concreto.

Através das análises petrográficas das amostras de concreto, no trecho final das estacas P-60 e P-80, verificou-se a presença de fina camada areno-argilosa, torrão de argila no contato com o concreto e rocha alterada. Estas análises foram realizadas nos trechos próximos ao vazio lateral das estacas quando da realização da sondagem rotativa.

5.2 Lama Bentonítica e Lama Polimérica

Através das informações dos boletins de campo da Spceng verificou-se que tanto a lama polimérica quanto a lama bentonítica atendem os requisitos preconizados pela

NBR 6122 (2010). Uma simulação realizada pelo IPT onde se procurou variar o teor de “pó branco” (controlador de pH) mostrou que para pequenas variações em sua dosagem o pH da mistura se mantém estável (~ 10) e dentro da faixa estabelecida por norma (8 a 12).

5.3 Execução das escavações

Os procedimentos de execução das escavações foram acompanhados pela empresa Speceng que realizou o acompanhamento da execução através da cronometragem das etapas de trabalho, controle de subida do concreto e ensaio da lama.

O furo realizado para estaca P41 foi executado com a utilização da lama bentonítica. Neste caso o furo foi realizado em aproximadamente 3 horas, seguido da colocação de camisa, tubo de tremonha e concretagem (1,5 horas). Foram realizados os ensaios de praxe para este tipo de aplicação onde se mediu a porcentagem de areia, densidade, viscosidade e pH da lama antes e depois da desarenação. O controle de subida do concreto foi realizado e mostrou que a subida real de concreto foi de 14,30m a partir da cota 24,80m com arrasamento na cota 10,50m. A partir da sondagem rotativa verificou-se que o comprimento total do testemunho extraído foi de 13,3m aproximando-se do comprimento concretado desconsiderando o arrasamento da estaca de aproximadamente de 1,62m indicado na sondagem rotativa.

O furo realizado para a estaca P60 foi executado com a utilização da lama polimérica. Chama a atenção para a interrupção durante a execução do furo. Segundo informações constantes do boletim de acompanhamento da execução realizado pela Speceng, o furo foi realizado em duas etapas: primeira etapa realizada do dia 21/01/2014 às 11:25 até as 19:40h e a segunda etapa realizada no dia 22/01 às 7:30 até às 10:30 totalizando um tempo de aproximadamente 23 horas. Após a finalização do furo foram realizados os serviços de colocação de camisa, colocação do tubo tremonha e concretagem ($\sim 1,5$ horas). Chama a atenção a observação do boletim de acompanhamento da execução que comenta ter sido verificado um terreno duro com 21,20m de profundidade e ter havido uma sobra de 1,5m de altura de concreto, que corresponderia a um volume teórico de aproximadamente $2,3\text{m}^3$ de concreto. Nota-se através da sondagem rotativa que, aproximadamente a 20 metros de profundidade, há

um vazio de concretagem e a partir de aproximadamente 22 metros não há mais concreto.

O furo realizado para a estaca P80 foi executado com a utilização da lama polimérica. Segundo informações do boletim de acompanhamento da Speceng o furo foi realizado em aproximadamente 3 horas. Após a finalização do furo foram realizados os serviços de colocação de camisa, colocação do tubo tremonha e concretagem (2 horas, aproximadamente). Chama a atenção a observação do boletim de acompanhamento da execução que comenta ter sido verificado um terreno duro com 14,60m. Nota-se através da sondagem rotativa que aproximadamente a 10 metros de profundidade há um trecho com vazio lateral de concretagem e a partir de aproximadamente 12,60 metros não há mais concreto. Os dados de controle da subida do concreto e ensaio da lama não estão disponíveis.

6 CONCLUSÃO

Os levantamentos e estudos efetuados mostram que:

- a) O concreto aplicado nas estacas não apresentou nenhum tipo de anomalia que justifique os recalques superiores aos admissíveis quando da realização dos ensaios de carga estática e dinâmica nas estacas P60 e P80;
- b) A lama polimérica aplicada nos furos das estacas P60 e P80 apresentou características de pH, densidade e viscosidade dentro das faixas estabelecidas pela NBR 6122;
- c) Ensaio realizado em amostras de concreto das estacas P-60 e P-80, onde se utilizou a lama polimérica para realização dos furos, constataram que não houve mistura dos constituintes da lama com o concreto. A lama por apresentar uma densidade muito inferior à densidade do concreto é levada até a superfície à medida que o concreto lançado preenche o furo de escavação;
- d) Nos trechos finais das estacas P60 e P80 que apresentaram vazio lateral verificou-se a presença de material arenoso, torrões de argila e rocha alterada provavelmente presentes no solo e verificados através do perfil de sondagem. Através dos testemunhos de concreto nota-se que na região próxima da base, provavelmente,

houve uma deposição lateral de solo quando da realização dos furos de escavação destas estacas dificultando o seu preenchimento pelo concreto. Cabe salientar que as sondagens rotativas foram realizadas através da extração de testemunhos de 6 cm de diâmetro no centro destas estacas com diâmetro de 1,4m e, portanto, não deveriam apresentar este material arenoso, torrões de argila etc.

e) Não constam dos boletins de acompanhamento da execução, da Speceng, serviços inerentes à limpeza de fundo quando da aplicação da lama polimérica. Consta da NBR 6122 (2010) que quando da utilização de lama polimérica há necessidade de uma limpeza do fundo do furo (base) porque pode haver uma deposição de material no fundo da estaca. Este processo deve ser realizado previamente ao lançamento do concreto.

f) Em alguns casos a lama polimérica poderá perder sua eficiência caso seja contaminada por cloretos ou matéria orgânica presentes no solo ou água do lençol freático. Ensaio químicos relacionados à água e solo da obra podem contribuir para complementação do estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES E GEOTECNIA. **Fundações: teoria e prática**. 2. ed. São Paulo: PINI, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122: Projeto e Execução de Fundações - Procedimento**. Rio de Janeiro, 1996.

_____. **NBR 7212: Execução de Concreto Dosado em Central - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 12131: Estacas – Prova de Carga Estática – Método de Ensaio**. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NBR 13208: Estacas – Ensaio de Carregamento Dinâmico**. Rio de Janeiro, 2007.

ALONSO, U. R. **Previsão e controle das fundações**. São Paulo: Ed Edgard Blücher Ltda, 1991.

BERNARDES, G. P. **Dynamic and Static Testing of Large Model Piles in Sand**. Tese de Doutorado, Norwegian Institute of Technology, Trondheim, Noruega, 1989.

FALCONI, F.F., et al. **Fundações Teoria e Prática**. 2ª Edição. Editora Pini. São Paulo, 1998.

GONÇALVES, C.; ANDREO, C. S.; BERNARDES, G. P.; FORTUNATO, S. G. S. **Controle de Fundações Profundas Através de Métodos Dinâmicos 1**. Ed. São Paulo, 2000.

HELENE, P. R. **La agresividad del medio y la durabilidad del hormigón**, Hormigón, AATH, n. 10, p. 25-35, ago. 1983.

HUSSEIN, M.H.; LIKINS, G. E. **Deep Foundations Quality Control and Assurance Testing Methods**. Florida Engineering Society Journal, 2005.

JOPPERT JUNIOR. Ivan. **Fundações e Contensões de Edifícios**. São Paulo: PINI, 2007.

KORMANN, A. C. M. **Ensaio de Integridade de Estacas (PIT) – Conceitos Básicos**. Workshop Controle de Qualidade de Fundações através de Provas de Carga Dinâmicas e Verificação de Integridade Estrutural, Sinduscon-SP e ABMS. São Paulo, 2002.

KORMANN, A. C. M. **Comportamento de estacas durante a cravação em areia calcária**. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 1993.

NETO, J. A. **Estacas Hélice Contínua e Ômega: Aspectos Executivos**. 187 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, USP. São Paulo, 2002.

NIYAMA, S. et al. **Técnicas de Monitoração e de Análise da Cravação Dinâmica de Estacas**. VII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações. Olinda, Recife, 1982.

NIYAMA, S.; AOKI, N.; CHAMECKI, P. R. **Verificação de Desempenho**. In: HACHICH, W. et al. **Fundações: Teoria e Prática**. São Paulo: Pini, 1998.

MAIA, C. M. M., et al. **Execução de Fundações Profundas**. São Paulo: Pini, 1998.

MILITITSKI, Jarbas. CONSOLI, Nilo Cesar. SCHNAID, Fernando. **Patologia Das Fundações**. São Paulo. 2005. 207p

PDI. Provas Dinâmicas e Instrumentação Engenharia Ltda – PDI Engenharia. Acessado em 01/10/2014. Disponível em <http://pdi.com.br/>.

REBELLO, Yopanan Conrado Pereira. **Fundações: guia prático de projeto, execução e dimensionamento**. São Paulo: Zigurante, 2008.

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, p. 35-61, 1960.

SOARES, Tatiani. BRUM, Fernando S. do CARMO, Paulo Obregon. **Patologias em Fundações**. Santa Maria - RS. 2003.