

CENTRO UNIVERSITÁRIO FAG
LAUREN ANE DALMÁS CEREZA

**DESENVOLVIMENTO DE UM PROGRAMA DE CONTROLE DE QUALIDADE
PARA FUNDAÇÕES**

CASCABEL - PR
2016

CENTRO UNIVERSITÁRIO FAG
LAUREN ANE DALMÁS CEREZA

**DESENVOLVIMENTO DE UM PROGRAMA DE CONTROLE DE QUALIDADE
PARA FUNDAÇÕES**

Trabalho apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário FAG, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

**Orientador: Prof. Me. Eng. Civil Maycon
André de Almeida**

CASCADEL - PR

2016

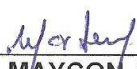
CENTRO UNIVERSITÁRIO FAG

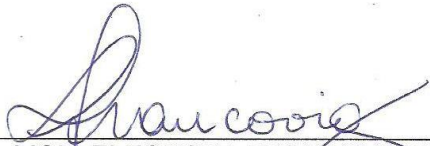
LAUREN ANE DALMÁS CEREZA

**DESENVOLVIMENTO DE UM PROGRAMA DE CONTROLE DE QUALIDADE
PARA FUNDAÇÕES**

Trabalho apresentado no Curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário FAG,
como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, sob
orientação do Professor **Me. Eng. Civil MAYCON ANDRÉ DE ALMEIDA.**

BANCA EXAMINADORA


Orientador Professor **Me. MAYCON ANDRÉ DE ALMEIDA.**
Centro Universitário FAG
Engenheiro Civil


Professora **Dra. LIGIA ELEODORA FRANCOVIG RACHID**
Centro Universitário FAG
Engenheira Civil


Professor **Me. GUILHERME VENSON**
Unioeste
Engenheiro Civil

Cascavel, 10 de Novembro de 2016.

*Dedico este trabalho ao meu pai Adilio, a
minha mãe Vera e ao meu irmão Kaio. À
memória do meu padrinho Clair R. Dalmás.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que me concedeu o dom da vida e possibilitou que eu chegasse até aqui, podendo usufruir de todas as experiências e oportunidades, me direcionando às melhores escolhas e permitindo que eu aprendesse com meus erros me mantendo firme nesta caminhada.

Visto que, com a conclusão desta etapa, meu maior sonho se concretiza e nada seria possível se não fosse a confiança, amor, esforço, dedicação e todos os sacrifícios feitos pelos meus pais buscando garantir um futuro de qualidade a mim e ao meu irmão, baseados nos mais valiosos princípios. Serei eternamente grata a minha mãe Vera Dalmás Cereza e ao meu pai José Adilio Cereza por tudo o que fizeram e fazem por nossa família. Amo vocês imensamente.

Agradeço também aos demais familiares, madrinha Eliza, avó Laura, avô Santo e aos meus primos, pela força, confiança e carinho. Ao meu namorado Maurício, que neste último ano foi meu maior motivador, nos momentos de fraqueza permaneceu ao meu lado me alegrando e incentivando para que eu continuasse lutando pelos meus sonhos. Amo vocês.

Ao professor Maycon André de Almeida, por seus ensinamentos durante o curso, paciência e confiança na realização deste trabalho. Sou grata também aos demais professores por todos os conhecimentos repassados contribuindo para o meu crescimento e formação. E aos demais que de alguma maneira contribuíram para a efetivação deste trabalho.

“Sempre comecei as minhas orações primeiro pedindo perdão pelos pecados que cometi, depois mostrando o quão grato sou pelas bênçãos recebidas e, por fim, pedindo mais um punhado de coisas. Hoje, vou fazer diferente. Só te peço, meu Deus, que me permita repousar sobre o teu colo. Imploro isso porque já desisti de descobrir quais das minhas vontades fazem parte das minhas reais necessidades. Sendo assim, deixo tudo em tuas mãos. Que o Senhor me guie pelos melhores caminhos. Amém.”

(Matheus Rocha)

RESUMO

É visto que a fundação, de acordo com a bibliografia existente, influencia diretamente no desempenho de uma edificação. Sendo assim, este trabalho teve como principal objetivo o desenvolvimento de um Programa de Controle de Qualidade direcionado às fundações a ser aplicado na realização da sondagem, no acompanhamento da elaboração do projeto e principalmente durante a execução, tendo como base uma Árvore de Falhas que mapeia a origem das manifestações patológicas apresentadas. Com isso, o trabalho será um instrumento fundamental para que a qualidade das construções seja iniciada e mantida por meio do desenvolvimento de um parâmetro de eficiência desde as investigações geotécnicas até o término da edificação, apontando as causas e prováveis soluções, que foram claramente mostradas, caracterizadas e divididas em três etapas com a aplicação de ferramentas de controle. Constatou-se, por meio de gráficos, que a maior parte das manifestações patológicas ocorre nas fases de execução e projeto, geradas principalmente pela mão de obra utilizada. Visando o controle dessas etapas, foram criadas 5 folhas de verificação de serviço possibilitando o acompanhamento e direcionamento minucioso da fundação como também comprovando a eficiência da metodologia escolhida, pois apontou as falhas dos processos, classificou o elemento estudado nos parâmetros estipulados e sugeriu melhorias para evitar a recorrência dos erros.

Palavras-chave: Fundações. Manifestações patológicas. Qualidade. Folhas de verificação.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Eventos relacionados à fase de projeto.	25
Figura 2 - Eventos relacionados à fase de execução.	26
Figura 3 - Eventos relacionados à pós-conclusão.....	27
Figura 4 - Ciclo PCDA.	30
Figura 5 - Exemplo de aplicação do Diagrama de Ishikawa.	44
Figura 6 - Eventos relacionados à fase de projeto.	47
Figura 7 - Eventos relacionados à fase de execução.	48
Figura 8 - Eventos relacionados a pós-conclusão.....	49
Figura 9 - Relação entre a fase da obra e a ocorrência.	50
Figura 10 – Ficha A: Folha de Verificação de Serviço da Sondagem.....	52
Figura 11 – Ficha B: Folha de Verificação de Serviço do Projeto de Fundações.	53
Figura 12 – Ficha C: Folha de Verificação de Serviço da Execução das Sapatas.....	54
Figura 13 - Ficha D: Folha de Verificação de Serviço da Execução das Estacas.	55
Figura 14 - Ficha E: Folha de Verificação de Serviço da Execução dos Tubulões.....	56
Figura 15 – Locação (indicação) dos elementos.	61
Figura 16 - Conferência das medidas.	61
Figura 17 - Elemento realizando a escavação.	62
Figura 18 - Verificação da profundidade.....	62
Figura 19 - Posicionamento dos espaçadores.	63
Figura 20 - Posicionamento da armadura.	63
Figura 21 - Moldagem dos corpos-de-prova.	63
Figura 22 - Realização do Slump Test.....	63
Figura 23 - Concretagem do elemento.	64
Figura 24 - Cabeça da estaca não preparada.....	64
Figura 25 - Hélice Contínua Monitorada.....	68
Figura 26 - Hélice Contínua.	68
Figura 27 - Gabarito para locação.	68
Figura 28 - Verificação da profundidade.....	68
Figura 29 - Moldagem dos corpos-de-prova.	70
Figura 30 - Utilização de espaçadores.	70
Figura 31- Içamento da armadura.....	70

Figura 32 - Posicionamento da armadura.	70
Figura 33 - Posicionamento do cilindro.	71
Figura 34 - Introdução total da armadura.	71
Figura 35 – Cilindro auxiliar.	72
Figura 36 - Limpeza do cilindro.	72
Figura 37- Legenda do projeto de fundações.	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação dos solos.....	18
Tabela 2 - Tipos de Fundações.	19
Tabela 3 - Peso da pontuação atribuída.	57
Tabela 4 - Parâmetro para aprovação do elemento de fundação.	59
Tabela 5 - Resultado do estudo de caso da execução da Obra X.	65
Tabela 6 - Resultado do estudo de caso da execução da Obra Y.	73
Tabela 7 – Resultado do estudo de caso da sondagem da Obra X.	75
Tabela 8 – Resultado do estudo de caso do projeto da Obra X.	77

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVOS	14
1.1.1 Objetivo geral	14
1.1.2 Objetivos específicos	14
1.2 JUSTIFICATIVA	15
1.3 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	15
1.4 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	16
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.1 SOLO.....	17
2.2 CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS	17
2.4 PATOLOGIA NAS FUNDAÇÕES	20
2.4.1 Investigação dos subsolos.....	20
2.4.2 Desenvolvimento do projeto	21
2.4.3 Execução do projeto	22
2.4.4 Eventos pós-conclusão.....	23
2.5 ANÁLISE DE UMA ÁRVORE DE FALHAS	24
2.6 SISTEMA DE QUALIDADE	28
2.6.1 Mecanismo de controle	29
2.6.2 Ciclo PDCA	30
2.6.3 Espinha de Peixe.....	31
2.6.4 Os “5 S”	31
2.6.5 Folha de Verificação	32
2.6.6 Outros mecanismos de controle de qualidade.....	32
2.7 APLICAÇÃO DO DIAGRAMA DE ISHIKAWA NAS PATOLOGIAS DAS FUNDAÇÕES	33
2.7.1 Patologias relacionadas à fase de investigação geotécnica e projeto	34
2.7.2 Patologias relacionadas à fase de execução.....	37
2.7.3 Eventos pós-conclusão	42
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	45
3.1 COLETA DE DADOS	45
3.2 INSTRUMENTOS PARA OBTENÇÃO DOS RESULTADOS	45

3.3 ANÁLISE DOS DADOS OBTIDOS	46
3.4 ANÁLISE GRÁFICA	46
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	51
4.1 FORMULAÇÃO DO PROGRAMA DE QUALIDADE	51
4.2 APLICAÇÃO DO PROGRAMA DE QUALIDADE	60
4.2.1 Controle de Qualidade na Execução.....	60
4.2.2 Controle de Qualidade na Sondagem	73
4.2.3 Controle de Qualidade do Projeto	75
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	78
6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	81
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82
APÊNDICES	85
ANEXOS	100

1. INTRODUÇÃO

No cenário atual da construção civil, a garantia de uma melhor qualidade tal como a durabilidade e o desempenho de uma edificação são diferenciais no momento da escolha do profissional ou empresa a ser contratada. Assim sendo, a existência de falhas na execução e posterior manifestação de patologias, comprometem em curto e longo prazo a viabilidade e êxito do sistema construtivo.

É visto que, embora sendo a fase inicial de uma edificação, a fundação mal planejada e indevidamente executada culmina em problemas que se prolongam anos após a conclusão da mesma, assim como sua identificação e tratamento, tornando muito complexas as medidas a serem tomadas.

Tentando evitar tal situação, Velloso e Lopes (2010) citam que o profissional responsável pela execução de fundações deve possuir sólidos conhecimentos sobre: origem e formação dos solos, caracterização e classificação dos solos, investigações geotécnicas, percolação nos solos e controle de água subterrânea, resistência ao cisalhamento, capacidade de carga e empuxos, e distribuições de pressões e cálculo de deformações e recalque.

Fatores que, se não considerados, resultarão em reparos de valores altíssimos, em virtude da grandeza dos danos apresentados, e na maioria dos casos, superiores aos gastos na execução, variando de 3 a 6% do valor total, e em obras de grande porte com solos ruins podendo chegar a 15% (MILITITSKY *et al.*, 2005).

Ainda segundo Milititsky *et al.* (2005), na França, estatísticas mostram que mais de 80% das patologias de fundações têm origem em falhas na investigação dos solos. No Brasil, não há pesquisa oficial que aponte dados parecidos, mas sabendo que países europeus são modelos de qualidade, pode-se comparar os dois cenários.

De acordo com o Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia (IBAPE-RS), o Brasil ainda está atrasado no estudo das patologias, havendo poucas pesquisas feitas nessa área em obras brasileiras.

Para que essas avarias sejam evitadas ou minimizadas e para que seja estimulada a pesquisa sobre as principais causas patológicas, agregando mais conhecimento aos profissionais envolvidos, é indispensável monitorar as atividades que envolvem todo o processo de execução de forma minuciosa por meio de inspeções desde as fases iniciais, de sondagem e projeto, garantindo que a cautela na execução, amparada pelas normas técnicas, e

coleta dos dados sejam mantidos nos processos seguintes, para que a qualidade da edificação final seja assegurada.

Almejando a criação de uma ferramenta que contribua no melhoramento das estruturas na fase inicial da execução de um projeto, optou-se pela escolha de um mecanismo auxiliar, que consiste em um sistema de Análise da Árvore de Falhas (*Failure Tree Analysis*). Este método, elaborado por William Albert Watson em 1960, consiste em um processo lógico e dedutivo que parte de um evento topo, no caso as patologias, buscando suas possíveis causas.

A partir da análise desta árvore de falhas, da literatura existente e da aplicação das ferramentas de qualidade Folha de Verificação e Diagrama de Ishikawa, é possível então, o desenvolvimento de um Programa de Controle de Qualidade em que os dados coletados e estudos realizados, ao serem aplicados em um modelo de formulário de controle de serviço, possibilitem a qualificação das atividades e processos realizados no canteiro de obras evitando patologias e caso apareçam sejam de fácil rastreio.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Desenvolver um Programa de Controle de Qualidade para as Fundações tendo como base a análise de uma Árvore de Falhas de Patologias.

1.1.2 Objetivos específicos

- Analisar uma árvore de falhas contendo as principais patologias das fundações;
- Desenvolver um mecanismo de Controle de Qualidade para fundações;
- Aplicar o mecanismo de Controle de Qualidade em obras de fundação em execução para verificação de sua aplicabilidade.

1.2 JUSTIFICATIVA

Atualmente, tanto no Brasil como mundialmente, a demanda pela melhor qualidade nas construções está culminando em uma melhoria na qualidade dos materiais aplicados, tecnologias adotadas e recursos utilizados, tanto na pesquisa e projeto, como na execução e no período pós-conclusão.

Para que esse cenário realmente faça parte da realidade da construção civil, o bom planejamento das edificações e controle das atividades deve ocorrer desde a fase de planejamento da infraestrutura, estando presente nas atividades posteriores, englobando todas as fases de execução da fundação, já que o mau planejamento e dimensionamento desta resultam em problemas futuros comprometendo paredes, vigas, lajes e pilares.

Além de uma bibliografia escassa, ainda é necessário saber lidar com a negligência de alguns executores de obras de pequeno e médio porte que, apesar de terem conhecimento da importância da cautela na execução da fundação, podem colocar em risco toda a estrutura da edificação ao desconsiderar as recomendações de projeto e execução.

Assim sendo, identificar as causas das patologias e desenvolver um mecanismo que evite ou, em alguns casos, corrija as patologias traz consideráveis contribuições tanto para os usuários das edificações e executores, que remediarão futuros inconvenientes construtivos, bem como para o meio científico, já que os problemas são detectados, em sua grande maioria, em longo prazo impossibilitando que soluções práticas, viáveis e baratas sejam tomadas, comprometendo toda a estrutura.

Com uma melhor coleta e análise de dados desses mecanismos deflagradores, possibilita-se uma ação mais qualificada de todos os envolvidos nesse serviço, desde o projeto, profissionais, materiais, execução e fiscalização. Tendo como base as normas técnicas será possível, além da gestão dos processos executivos, encontrar soluções viáveis para possíveis problemas, qualificando inclusive os profissionais.

1.3 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

A partir do desenvolvimento de um Programa de Controle de Qualidade, é possível minimizar ou evitar as patologias das fundações?

1.4 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

Para a realização da pesquisa, foram coletados dados na bibliografia existente, em artigos e trabalhos acadêmicos. Os dados obtidos foram complementados a estudos já realizados de uma árvore de falhas de patologias das fundações. A partir disso, elaborou-se um mecanismo de controle objetivando a criação de um Programa de Qualidade para as fundações, específico para cada situação identificada, por meio de ferramentas de gestão.

A árvore de falhas a ser estudada, divide as patologias em três fases que foram abordadas da mesma forma, com a aplicação de duas ferramentas de gestão, a folha de verificação e o diagrama de Ishikawa, para que em cada evento particular, sejam apontadas soluções práticas, evitando problemas futuros, configurando a metodologia do Ciclo PDCA.

Depois de pronta ferramenta de qualidade, o Programa foi aplicado em duas obras a fim de comprovar sua eficiência e viabilidade.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 SOLO

Para o desenvolvimento de qualquer mecanismo ou instrumento técnico que venha a trazer contribuições para o aprimoramento da qualidade das edificações é de suma importância que se tenha amplos conhecimentos sobre as características do solo. De acordo com a Norma NBR 6502 (ABNT, 1995) – Rochas e Solos, o solo é resultado da decomposição das rochas pela ação de agentes físicos ou químicos, contendo ou não matéria orgânica.

Assim sendo, Velloso e Lopes (2010), afirmam que, na Engenharia de Fundações, o profissional vai lidar com um material natural sobre o qual pouco pode atuar, isto é, tem que aceitá-lo tal como ele se apresenta, com suas propriedades e comportamento específicos. Tais especificidades dos solos podem ser variáveis numa pequena área, apresentando diferentes comportamentos conforme a mudança de profundidade.

Em relação aos outros materiais utilizados na construção civil, como aço e concreto, onde os índices de segurança são obtidos com mais facilidade, Velloso e Lopes (2010) garantem que o solo que participa do comportamento de uma fundação, ao contrário, possui características heterogêneas, onde suas propriedades mecânicas são de difícil determinação, já que suas características variam de acordo com a profundidade, resultando num complexo controle e previsão.

2.2 CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS

Segundo Pinto (2006) a característica mais significativa que diferencia os tipos de solo é o tamanho das partículas que os compõem. Numa primeira aproximação, é possível identificar que alguns solos possuem grãos perceptíveis a olho nu, como os grãos de pedregulho ou a areia do mar e que outros tem os grãos tão finos que, quando molhados, se transformam numa pasta em não se pode visualizar as partículas individualmente.

Para que seja possível a caracterização do solo é utilizada como parâmetro a NBR 7250 (ABNT, 1982) - Identificação e descrição de amostras de solo obtidas em sondagem de simples reconhecimento dos solos, que estabelece as condições gerais a serem examinadas segundo as características: granulometria, plasticidade, compactidade, consistência cor e origem. Ainda segundo a NBR 7250 (ABNT, 1982), o solo pode ser classificado segundo condições específicas, de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1 - Classificação dos solos.

SOLO	ÍNDICE DE RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO	DESIGNAÇÃO
Areia e silte arenoso	≤ 4	fofa (o)
	5 a 8	pouco compacta (o)
	9 a 18	medianamente compacta (o)
	19 a 40	compacta (o)
	> 40	muito compacta (o)
Areia e silte argiloso	≤ 2	muito forte
	3 a 5	mole
	6 a 10	média (o)
	11 a 19	rija (o)
	> 19	dura (o)

Fonte: ABNT NBR 7250/1982, p.3.

A partir desta classificação é que se dá início a análise do solo para a escolha correta do sistema mais viável de elemento de fundação a ser executado, levando em consideração aspectos da edificação, do terreno e da vizinhança.

2.3 TIPOS DE FUNDAÇÕES

A classificação do tipo de fundação é indispensável para a realização de um projeto eficiente ou, em casos de ocorrência de danos estruturais, na escolha da melhor medida preventiva ou tratamento correto. Velloso e Lopes (2010) classificam as fundações de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2 - Tipos de Fundações.

TIPOS DE FUNDAÇÃO		PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS
FUNDAÇÃO PROFUNDA	Estaca	Elemento executado por ferramentas ou equipamentos, por meio de cravação ou escavação, ou ainda, do tipo mista.
	Tubulão	Elemento de forma cilíndrica que, pelo menos na sua fase final de execução, requer a descida de um operário ou técnico (o tubulão não difere da estaca por suas dimensões, mas pelo processo executivo, que envolve a descida de pessoas).
FUNDAÇÃO RASA	Sapata	Elemento de concreto armado, dimensionado de modo que as tensões de tração nele resultantes sejam resistidas por armadura especialmente disposta para este fim.
	Sapata corrida	Sapata sujeita a ação de uma carga distribuída linearmente ou de pilares em um mesmo alinhamento.
	Radier	Elemento que recebe parte ou todos os pilares de uma estrutura.

Fonte: AUTORA, 2016.

Segundo a NBR 6122 (ABNT, 2010) os principais tipos de estacas são:

- Estaca cravada por percussão: Quando a própria estaca ou um molde é introduzido no solo por golpes de martelo, podendo também ser precedida por escavação ou lançamento.
- Estaca cravada por prensagem: Quando a estaca ou um molde é introduzido no terreno através de macaco hidráulico;
- Estaca escavada, com injeção: Realizada através da injeção sob pressão de produto aglutinante, procurando a integridade do fuste ou aumentar a resistência de atrito lateral, de ponta ou ambas, podendo ser realizada no decorrer do processo ou depois a instalação da estaca;
- Estaca tipo broca: Realizada por perfuração com trado e posterior concretagem;
- Estaca apiloada: Realizada por perfuração com o emprego de soquete;
- Estaca tipo Strauss: Realizada por perfuração através de balde sonda (piteira), com uso parcial ou total de revestimento recuperável e depois concretagem;
- Estaca escavada: Realizada por escavação mecânica, com uso ou não de lama bentonítica, de revestimento total ou parcial, e depois concretagem;
- Estaca tipo Franki: Caracterizada pela base alargada, obtida introduzindo-se no terreno uma quantidade de material granular ou concreto, através de golpes de um pilão. O fuste pode ser moldado no terreno com revestimento perdido ou não ou ser constituído por um elemento pré-moldado;

- Estaca hélice contínua: Constituída por concreto, moldada *in loco* e executada por meio de trado contínuo e injeção de concreto pela própria haste do trado.

Entretanto, com a escolha incorreta do sistema ou sua execução errônea, são constatadas falhas que, se não identificadas e tratadas, geram graves patologias na edificação, tanto durante a execução quanto no produto final.

2.4 PATOLOGIA NAS FUNDAÇÕES

2.4.1 Investigação dos subsolos

Caputo (1988) cita que um dos maiores riscos que se pode ocorrer na construção civil é iniciar uma obra sem um conhecimento suficiente do terreno (rocha ou solo). De acordo com Milititsky *et al.* (2005) na medida em que o solo é o meio que vai suportar as cargas, sua identificação e a caracterização de seu comportamento são essenciais na solução de qualquer problema.

Ainda de acordo com a Milititsky *et al.* (2005), no Brasil o programa preliminar de investigação do solo é desenvolvido com base no Ensaio SPT. Segundo a NBR 6484 (ABNT, 2001) - Solo: Sondagens de simples reconhecimento com SPT, o ensaio é caracterizado pelo índice de resistência à penetração, obtido a partir do número de golpes correspondente a cravação de 30 cm do amostrador-padrão, após a cravação inicial de 15 cm, utilizando-se um sisal para levantamento do martelo padronizado.

Segundo Pinto (p.50, 2006) em função desta resistência à penetração, “o estado do solo é classificado pela compacidade, quando areia ou silte arenoso, ou pela consistência, quando argila ou silte argiloso. As classificações dependem da energia efetivamente aplicada ao barrilete amostrador, conseqüente da maneira como o martelo é acionado”.

Assim, sobre o emprego da resistência penetração:

A escolha do tipo de fundação para prédios comuns de 3 a 30 pavimentos, e as definições de projeto, como o tipo e comprimento da estaca etc., são costumeiramente baseadas apenas nos resultados de sondagem, analisadas de acordo com a experiência regional e o conhecimento geológico do local. [...] Por ser feito no campo sem supervisão permanente do engenheiro, e por depender de diversos detalhes de operação como, por exemplo, a livre queda do martelo, a folga do tubo de revestimento no fundo ou a limpeza previa do furo, os resultados podem apresentar discrepâncias muito acentuadas (PINTO, 2006, p.50).

Em virtude disso, Milititsky *et al.* (2005) aponta alguns problemas ocasionados durante a fase de investigação do solo, seja pela sua insuficiência ou falha, interpretação inadequada dos dados do programa, ou até mesmo casos de ausência da investigação do solo. O autor apresenta os erros mais comuns quando a investigação é insuficiente:

- Número insuficiente de sondagens ou ensaios para áreas extensas ou de subsolo variado;
- Profundidade de investigação insuficiente;
- Propriedades de comportamento não determinadas por necessitar ensaios especiais;
- Situações com grande variedade de propriedades.

Milititsky *et al.* (2005) ainda apresenta outros erros na fase de investigação: erros na localização do sítio da obra, localização incompleta, adoção de procedimentos indevidos ou ensaio não padronizado, uso de equipamento com defeito ou fora da especificação, falta de nivelamento dos furos em relação a referência bem identificada e permanente, má descrição do tipo de solo, entre outros.

A utilização de equipamentos com baixa eficiência também é responsável pela determinação incorreta da resistência do solo. Belusso e Schlosser (2015) em seus estudos constataram que, na maioria dos casos, o NSPT encontrado apresenta valores maiores do que o solo resiste, acarretando em resultados que não condizem com a realidade da resistência que o solo possui, resultando em fundações inseguras. No entanto, considerando que este item é de difícil mensuração sem o ensaio de prova de carga, o mesmo não será abordado neste trabalho.

2.4.2 Desenvolvimento do projeto

De acordo com Velloso e Lopes (2010), existem elementos necessários para que ocorra o desenvolvimento eficiente do projeto de fundações como: topografia da área, dados geológico-geotécnicos, dados sobre construções vizinhas e dados da estrutura a construir.

Dentre esses elementos, estão o “levantamento topográfico, dados sobre taludes e encostas, número de pavimentos e carga de edificações vizinhas e possíveis escavações e

vibrações, tipo e uso da obra, sistema estrutural e construtivo e as ações das cargas nas fundações” (VELLOSO; LOPES, 2010, p.13).

Segundo Milititsky *et al.* (2005) os problemas que ocorrem nessa etapa de uma fundação são classificados como:

- Relativos ao solo: descrição das patologias envolvendo o solo como causador do problema;
- Relativos a mecanismos: problemas causados pela ausência de identificação de mecanismo causador de mau comportamento ou colapso;
- Relacionado ao desconhecimento do comportamento real das fundações: cada tipo de fundação mobiliza cargas e deforma de maneira específica, o que afeta o desempenho da estrutura apoiada sobre as mesmas;
- Relativo a estrutura de fundação: problemas causados pelo projeto ou detalhamento estrutural do elemento de fundação;
- Relacionados às especificações construtivas, ou sua ausência.

De acordo com Velloso e Lopes (p.15, 2010) “um projeto de fundações deverá atender a alguns requisitos básicos: Deformações aceitáveis sob as condições de trabalho; segurança adequada ao colapso do solo de fundação ou estabilidade “externa”; segurança adequada ao colapso do solo de fundação ou estabilidade “interna””.

Segundo a NBR 6122 (ABNT, 2010) - Projeto e execução de fundações é preciso considerar na elaboração dos projetos das fundações: “Visita ao local; feições topográficas e indícios de instabilidades de taludes; indícios da presença de aterro; indícios de contaminação do subsolo por material contaminante lançado no local ou decorrente do tipo de ocupação anterior; prática local de projeto e execução de fundações; estado das construções vizinhas; peculiaridades geológico-geotécnicas, tais como: presença de matacões, afloramento rochoso, áreas brejosas, minas d’água etc.” (ABNT NBR 6122, 2010, p. 8).

2.4.3 Execução do projeto

Mesmo com um estudo eficiente das características do solo, da sondagem e dimensionamento adequado das cargas e projeto, existem patologias que ocorrem durante a fase de execução da fundação, tanto nas superficiais como nas profundas.

De acordo com Milititsky *et al.* (2005) os problemas das fundações rasas (superficiais) podem ser: Decorrente da construção de elementos assente em solos de diferente comportamento; amolgamento de solo no fundo da vala, ou falta de limpeza da cava; sobre-escavação preliminar e reaterros mal executados; substituição de solo com uso de material não apropriado ou sem compactação adequada; sapatas em cotas diferentes com o desmoronamento ou alívio da fundação apoiada no nível superior; sapatas executadas em cota superior a canalizações.

Além disso, para Milititsky *et al.* (2005), existem problemas envolvendo os elementos estruturais da fundação superficial: Qualidade inadequada do concreto; ausência de regularização (concreto magro); elementos e armaduras com dimensão incorretas ou mal posicionadas; presença de água na cava; adensamento deficiente e vibração inadequada; estrangulamento da seção de pilares; junta de dilatação mal executada.

Considera-se que a execução de uma fundação profunda afeta o solo e as fundações vizinhas já executadas, provocando alterações nas condições iniciais consideradas no projeto, como por exemplo: “Erros de locação e diâmetro, substituição da estaca projetada, erro na inclinação final, falta de limpeza da cabeça da estaca, ausência ou posição incorreta da armadura de fretagem, cota de arrasamento diferente do essencial, posicionamento indevido da armadura ou falta de vinculação, características do concreto incorretas” (MILITITSKY *et al.*, 2005, p.95).

2.4.4 Eventos pós-conclusão

Apesar da fundação apresentar um comportamento adequado quando finalizada, podem ocorrer alguns eventos após estar concluída. Segundo Milititsky *et al.* (2005) causados pela alteração no uso da edificação, ampliações e modificações não previstas no projeto original, movimentação da massa de solo decorrente de fatores externos, alteração no uso de terrenos vizinhos, execução de grandes escavações próximas a construções (instabilidade), instabilidade de taludes, extravasamento de grandes coberturas sem sistema eficiente de descarga, oscilações não previstas no nível de água, rebaixamento do nível de água, erosão ou solapamento, ação de animais ou homens resultando em escavações indevidas, vibrações e choques (equipamentos industriais, cravação de estacas, compactação dinâmica e vibratória, explosões, choques de embarcações).

2.5 ANÁLISE DE UMA ÁRVORE DE FALHAS

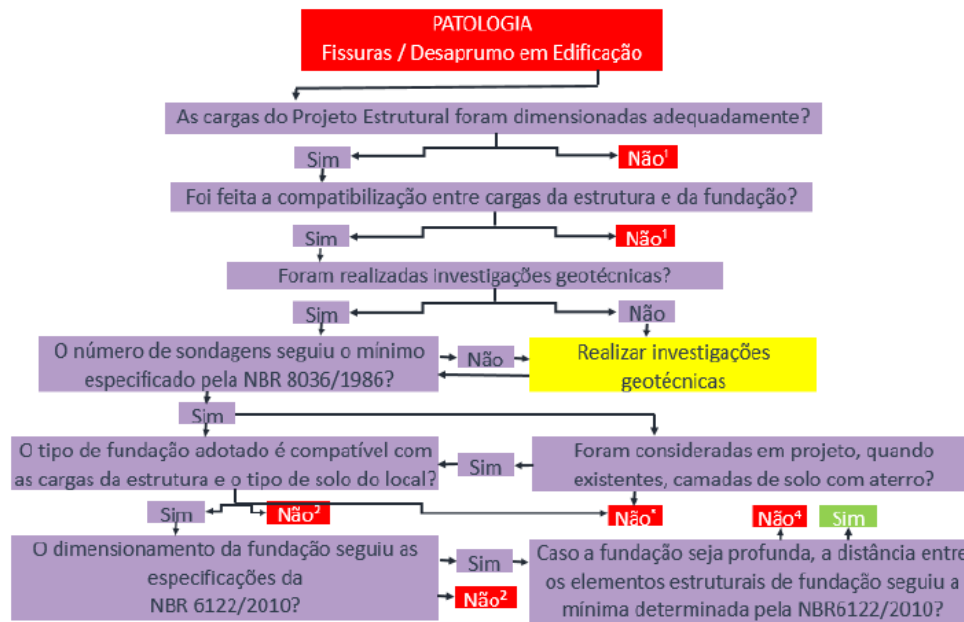
A metodologia da Análise da Árvore de Falhas (AAF) consiste na construção de um processo lógico dedutivo que, partindo de um evento indesejado pré-definido, busca as suas possíveis causas. O processo segue investigando as sucessivas falhas dos componentes até atingir as chamadas falhas (causas) básicas, que não podem ser desenvolvidas, e para as quais existem dados quantitativos disponíveis (SERPA, 2013).

Segundo Wiebbelling (2014) os eventos ligados às fases de projeto são: “a ausência de investigações ou investigações insuficientes e com falhas, má interpretação dos dados de sondagem e das cargas de projeto, dimensionamento para a carga total da edificação desconsiderando as especificidades de pontos particulares, alterações das cargas sem o conhecimento do projetista de fundações e, principalmente, a escolha de tipo de fundação com desempenho insuficiente para a situação” (WIEBBELLING, 2014, p. 44).

Já para os eventos ligados à fase de execução de fundações: “instabilidade do solo, erros humanos, má preparação ou imprudência da mão de obra, falta de acompanhamento de responsável técnico, equipamentos inapropriados para o tipo de fundação projetado ou para o local onde ela deverá ser executada e, ainda, manejo incorreto do equipamento e execução de juntas de trabalho entre edificações” (WIEBBELLING, 2014, p. 45).

“Os eventos relacionados à pós-conclusão de obras englobam os recalques e a degradação dos materiais constituintes da fundação, e considera-se também a influência de obras em edificações vizinhas” (WIEBBELLING, 2014, p. 45). Embora de difícil controle e recuperação, estes fatores, assim como os citados anteriormente foram abordados por Wiebbelling (2014) em suas 3 árvores de causas básicas relacionadas a cada um dos problemas. A primeira árvore de falhas, traz os eventos relacionados a fase de projeto, de acordo com a Figura 1.

Figura 1 - Eventos relacionados à fase de projeto.



Fonte: WIEBBELLING, 2014.

Wiebbelling (2014) apresenta as possíveis causas das patologias, apontando as soluções adequadas:

Não¹ Dimensionamento errôneo das cargas ou sua não compatibilização, devido ao subdimensionamento, com o surgimento de fissuras, ocasionadas pelos recalques sofridos. Deve-se readequar o projeto e reforçar a fundação nos pontos afetados.

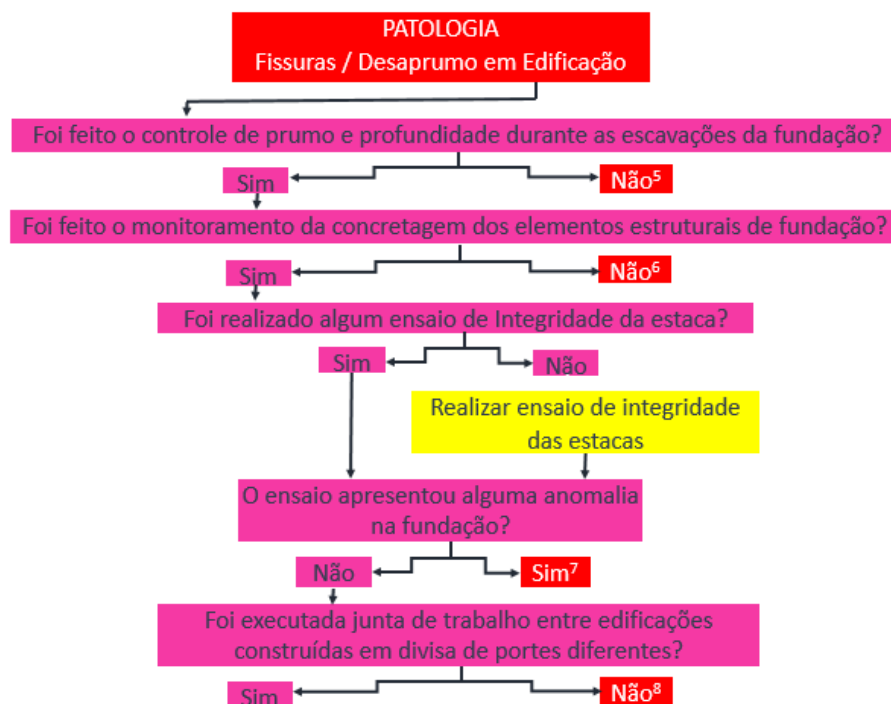
Não² Diferença na capacidade de carga, conforme NBR 6122/2010, variando conforme a geometria, profundidade, natureza do material empregado e resistência do solo-base. Busca-se a funcionalidade da fundação conforme o solo e o porte. Ao contrário, ocorrerá a deflagração de patologias pelo recalque. Realiza-se a reanálise do projeto de fundação e a verificação da necessidade de reforço de fundação.

Não³ Sobrecarga em estacas sobre aterro gerada pelo atrito negativo, porém nas fundações diretas o aterro pode ser um fator positivo. Todavia, se ocorrerem camadas moles ou compressíveis, o bulbo de tensões pode incidir sobre essa camada e causar recalques por adensamento. Nas duas situações, ocorrem recalques oriundos do dimensionamento incorreto, pela desconsideração dos efeitos da camada de aterro ou pela superestimação, resultando no surgimento de patologias. Readequa-se o projeto e realiza-se reforço por meio de estacas de grande profundidade (em caso de recalques por adensamento), reforçando o bloco afetado ou através da criação de novas estruturas de fundação.

Não4 O desabamento e a não sobreposição de tensões vindas dos elementos próximos evitados quando garantida a distância mínima entre elementos de fundação, podendo resultar na redução da transferência de carga entre o elemento estrutural de fundação e o solo e seu subdimensionamento. Readequa-se o projeto de fundação e adequa-se os espaçamentos entre os elementos, utilizando alguns tipos de blocos.

Tem-se ainda os eventos relacionados à fase de execução, conforme Figura 2.

Figura 2 - Eventos relacionados à fase de execução.



Fonte: WIEBBELLING, 2014.

Wiebbelling (2014), da mesma forma aponta as principais causas e soluções da fase de execução das fundações:

Não5 O monitoramento da profundidade e do prumo assegura que o projeto seja realizado corretamente, sem excentricidades de carga ou elementos inferiores ao necessário, ocasionando recalques e outras avarias (ruptura do elemento estrutural de fundação por flexo-compressão). Faz-se um reforço de fundação através de estacas Mega. Se houver ruptura da estrutura em razão dos esforços de flexo-compressão e não consideração (uso) da área de aço exigida para as solicitações, macaqueia-se a estrutura e a apóia em nova a fundação a ser realizada (a estrutura pode também ser condenada dependendo da magnitude dos recalques).

Não6 Já que não é possível o monitoramento interno do elemento de fundação durante sua execução, mantém-se um controle do volume de concreto utilizado que reflete

Ao concluir seus estudos sobre patologias em fundações, a Wiebbelling (2014) aponta as causas para os eventos da última árvore:

Não9 Nas estruturas, a degradação dos materiais vincula-se ao grau de agressividade do ambiente, ponderado na escolha do elemento de fundação para que não ocorra a recorrência de avarias devido à corrosão. Considera-se, principalmente, a permeabilidade do concreto à água e aos gases, o grau de carbonatação, a composição química do aço, o estado de fissuração da peça e características ambientais. Nas estacas de madeira, em virtude do tratamento do material contra o apodrecimento, assim como nas patologias decorrentes da degradação dos materiais, deve ser estudado o emprego de novos materiais, com a devida resistência, para a realização de reforço, caso a estrutura não esteja em ruína.

Não10 Na construção de uma edificação nova em terreno vizinho ao da obra considerada, surge o bulbo de tensões da nova fundação e dependendo da proximidade, pode ocorrer a sobreposição desse bulbo com o da fundação existente, provocando um aumento na tensão efetiva na área da intersecção, e, caso o solo não tenha capacidade de suporte para tal, este se deforma e ocorre o recalque da edificação existente. Realiza-se o mesmo reparo do caso 7, executando uma nova fundação para o ponto afetado ou pode ser executado um reforço na fundação com estacas Mega.

2.6 SISTEMA DE QUALIDADE

O sistema de qualidade na construção civil:

“[...] se mostra essencial, na medida em que exerce um forte impacto sobre os custos, a produtividade e a qualidade do produto final entregue ao cliente. Neste caso a metodologia adotada também segue as diretrizes das normas ISO 9000 e se assenta sobre os aspectos, da padronização dos procedimentos da execução e inspeção dos sérios de obras, de modo a documentar a tecnologia construtiva da empresa e possibilitar sua repetição na execução e no padrão de qualidade das várias obras da construtora; do treinamento de equipes e operários responsáveis pela condução de serviços, seja mão-de-obra própria ou de contratada; definição das responsabilidades da equipe de gestão da obra com relação ao sistema da qualidade e sua implantação prática: quem treina, quem verifica, quem implementa ações corretivas, quando e como são conduzidos os processos de execução e inspeção dos serviços; retroalimentação do sistema, permitindo a correção de falhas na execução de serviços, na qualificação de fornecedores de serviços e a adoção de novas tecnologias de processos construtivos” (SOUZA, 1996, *apud* EUGENIO, 2008, p.17).

Ou seja, o controle da qualidade é um processo contínuo, que deve ser realizado e mantido em todos os processos da produção com o intuito de corrigir erros e evitar que os mesmos voltem a se repetir.

2.6.1 Mecanismo de controle

De acordo com Ishikawa (1993, *apud* Alencar, 2008), a qualidade pode ser entendida como a rápida percepção e satisfação das necessidades do mercado, com a adequação ao uso e homogeneidade dos resultados de todo processo, com isso é possível então, desenvolver, projetar, produzir e comercializar um produto com características mais econômicas, úteis e satisfatórias para o consumidor.

O termo qualidade, segundo a NBR ISO 9000 (ABNT, 2000) - Sistemas de gestão da qualidade, é definido como o grau no qual um conjunto de características inerentes satisfazem uma necessidade ou expectativa, normalmente expressada de forma implícita ou explícita.

Existe uma variedade de Normas, que amparam a gestão de qualidade, que segundo Mendes (2005, *apud* Liker, 2006), são:

a) a NBR ISO 9000 (ABNT, 2000) - Sistemas de Gestão da Qualidade, que descreve os fundamentos de sistemas de gestão da qualidade e estabelece a terminologia para esses sistemas;

b) a NBR ISO 9001 (ABNT, 2000) – Sistema de Gestão da Qualidade - Requisitos, que especifica requisitos para um Sistema de Gestão da Qualidade, estabelecendo o que uma organização precisa demonstrar sua capacidade para fornecer produtos que atendam às necessidades do cliente e aos requisitos regulamentares aplicáveis, além de objetivar o aumento da satisfação do cliente;

c) a NBR ISO 9004 (ABNT, 2000) - Sistemas de Gestão da Qualidade - Diretrizes para Melhorias de Desempenho, que fornece as diretrizes que levam em consideração a eficácia e a eficiência do sistema de gestão da qualidade e que têm como objetivo aperfeiçoar o desempenho da empresa e a satisfação dos clientes e das outras partes interessadas.

Com isso, elaborou-se uma metodologia de controle de qualidade, o ciclo PDCA (*plan, do, check, act*) e sete Ferramentas Tradicionais da Qualidade: diagrama de causa-efeito, histograma, fluxograma, gráfico de Pareto, diagrama de dispersão, cartas de controle e folha de verificação.

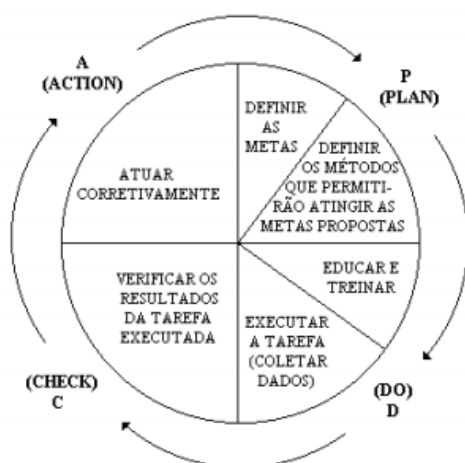
2.6.2 Ciclo PDCA

Como instrumento de gestão de qualidade utiliza-se, por exemplo, o ciclo PDCA (ou Ciclo de Deming), sendo este composto por quatro etapas: *Plan* (planejar), *Do* (fazer), *Check* (chechar) e *Act* (agir). Para que seja possível a efetivação da gestão de qualidade por esse modelo, deve-se, segundo NBR ISO 9000 (ABNT, 2000) abordar os processos dentro do sistema, possibilitando um controle contínuo sobre a ligação entre os processos individuais assim como sua combinação e interação.

Quando usada em um sistema de gestão da qualidade, esta abordagem enfatiza a importância de: a) entendimento e atendimento dos requisitos; b) necessidade de considerar os processos em termos de valor agregado; c) obtenção de resultados de desempenho e eficácia do processo; d) melhoria contínua de processos baseada em medições objetivas (ABNT NBR ISO 9000, 2000, p.2).

A NBR ISO 9001 (ABNT, 2000) define: a) *plan* (planejar): estabelecer os objetivos e processos que são necessários para fornecer resultados conforme os requisitos do cliente e políticas da organização; b) *do* (fazer): implementar os processos que foram planejados; c) *check* (verificar): monitorar e mensurar os processos e produtos no que tange às políticas, objetivos e aos requisitos e relatar os resultados; d) *act* (agir): executar ações que promovam continuamente a melhoria do desempenho do processo. O esboço do Ciclo PDCA pode ser visto segundo Figura 4.

Figura 4 - Ciclo PCDA.



Fonte: SILVA, 2006.

Segundo SEBRAE (2005), o ciclo PDCA é utilizado para fazer planejamento e melhoria de processos, planejar e implantar processos, inclusive melhorias e/ou correções.

- Planejamento: Identificar problema, analisar as características do traçar as estratégias e ações para resolver o problema ou atingir a meta;
- Fazer: Colocar o Plano de Ação em prática;
- Avaliar: Verificar se os resultados esperados foram atingidos e por que;
- Ação Corretiva: Normatizar o que está funcionando; Revisar as atividades e planejamento para trabalho futuro.

2.6.3 Espinha de Peixe

Segundo SEBRAE (2005), o Diagrama causa-efeito é uma ferramenta usada como metodologia de análise para representar fatores de influência sobre certo problema. Também é denominada de Diagrama de Ishikawa, ou Diagrama Espinha de Peixe, devido à sua forma. Muito utilizada para análise de problemas organizacionais. Pode ser elaborado conforme os aspectos:

- Visualizar, em conjunto, as causas principais e secundárias de um determinado problema;
- Ampliar a visão das possíveis causas de um problema, enriquecendo a sua análise e a identificação de soluções;
- Analisar todos os processos em busca de possíveis melhorias.

2.6.4 Os “5 S”

Outro instrumento de qualidade que pode ser utilizado na gestão da construção civil é o método dos 5 S (*Seiri*: senso de utilização; *Seiton*: senso de organização; *Seisou*: senso de limpeza; *Seiketsu*: senso de saúde; *Shitsuke*: senso de autodisciplina) que, segundo Lapa (1998), consiste em cinco palavras em japonês, formando um conjunto de regras ou sensos, que ao serem aplicados, acarretam em grandes melhorias no objeto de estudo. O programa é

de grande importância, pois, além de envolver aspectos estratégicos, é um sistema educacional revolucionário que trabalha prática e reflexão.

2.6.5 Folha de Verificação

As folhas de verificação são tabelas, planilhas ou listas de itens pré-definidos usados para facilitar a certificação de que os passos foram devidamente tomados e analisados. Segundo Schlittler (2013) as folhas de verificação tem por finalidade: inspecionar para aprovar ou reprovar um produto, monitorar para acompanhar o desempenho de uma atividade e controlar para minimizar as perdas. Assim, sua utilização economiza tempo e é considerada a mais simples das ferramentas.

2.6.6 Outros mecanismos de controle de qualidade

Além dos principais instrumentos citados no item anterior ainda existem, segundo Magalhães (2016), alguns outros relevantes:

- Fluxograma: tem como finalidade explorar e indicar todas as causas possíveis de um problema específico, auxiliando na determinação do melhor caminho, mostrando etapas sequenciais do processo, com diferentes operações, identificando o desvio, caso ocorra.
- Diagrama de Pareto: é um recurso gráfico usado para estabelecer uma ordenação nas causas de perdas que devem ser sanadas, mostrando a importância de todas as condições;
- Histograma: busca mostrar a distribuição dos dados por meio de medições num gráfico de barras, indicando número de unidades em cada categoria;
- Diagrama de Dispersão: mostra o que acontece com uma variável quando a outra muda, testando possíveis relações de causas e efeito.
- Cartas de Controle: mostra as tendências dos pontos de observação em um período de tempo.

2.7 APLICAÇÃO DO DIAGRAMA DE ISHIKAWA NAS PATOLOGIAS DAS FUNDAÇÕES

De acordo com Alonso (2003), toda e qualquer estrutura dimensionada, procura garantir três condições mínimas:

- Segurança: Sendo atendidos os coeficientes contra ruptura, no que diz respeito às resistências dos elementos estruturais e caracterização do solo, embasados pelas normas técnicas;
- Funcionalidade: Estimativa correta dos deslocamentos, compatíveis com a finalidade de cada edificação, considerando os efeitos do recalque ainda em fase de projeto, sendo esses recalculados e conferidos caso haja alguma inconformidade detectada;
- Durabilidade: Estudo da variação da resistência dos materiais das fundações, do solo e das cargas, com a intenção de garantir uma vida útil prolongada.

A partir disso, a autora deste trabalho desenvolveu um mecanismo para a elaboração do Programa de Controle de Qualidade, de acordo com os seguintes passos:

A escolha do Diagrama de Ishikawa para o controle das patologias das fundações se dá pelo fato da facilidade da detecção da causa do evento, por meio da observação das informações, sendo verificada a relação direta entre a causa e o problema ou o conjunto de falhas que acarretam uma avaria. O evento estudado é abrangente já que são analisadas as causas das patologias geralmente presentes nas fundações. O efeito é a patologia em si, e as causas são os erros cometidos por diversos agentes e/ou fatores.

Para que seja apontado o principal responsável e possibilitar a correção da falha, bem como evitar ocorrências futuras, as patologias constatadas no elemento de fundação ou na estrutura foram organizadas e classificadas de acordo com a fase em que são cometidas, seja no projeto, na execução ou no período pós-conclusão.

Apontam-se todas as sub-causas potenciais constatadas nas três fases do processo (categorias principais) e classifica-as em: mão de obra, meio ambiente, material, método, máquina e medida, que consiste na aplicação do método do Diagrama de Ishikawa. Após a disposição das causas nos eventos, estas são desmembradas e analisadas, relacionando as interdependências entre elas.

As patologias abordadas foram estudadas e apontadas por Jarbas Milititsky, Nilo Cesar Consoli e Fernando Schnaid no livro Patologia das Fundações (2005), sendo classificadas de acordo com os agentes e fatores causadores pelo método de Ishikawa.

2.7.1 Patologias relacionadas à fase de investigação geotécnica e projeto

Ao abordar as manifestações patológicas presentes na investigação geotécnica e no projeto, a autora classifica-as em:

a) Mão de Obra:

A primeira etapa da execução dos elementos de fundação é a sondagem. Embora obrigatória a presença do ensaio de investigação do solo. A ausência do mesmo ou a realização em local diferente do planejado, são algumas das principais causas da ineficiência das edificações nesta etapa, resultando na tomada inadequada das soluções, gerando recalques e deformações. Essas patologias também podem ser decorrentes do número de sondagem incorreta ou da realização da investigação com uma profundidade insuficiente.

Ainda na fase da investigação, há a ocorrência de erros na interpretação dos dados obtidos na sondagem, seja pela inexistência de equipamentos adequados para os ensaios, resultando na falta de detalhamento das propriedades e na caracterização errônea do solo local. Isto também ocorre pela adoção de valores não representativos no dimensionamento da estrutura de fundação.

Já na fase de projeto existe uma grande variedade de eventos que podem causar patologias, estando relacionados à interpretação incorreta ou à falta de indicação dos ensaios de sondagem anteriormente mencionada, como também pelo próprio dimensionamento incorreto do elemento estrutural.

Para o correto dimensionamento de uma fundação, é necessário ter acesso, além do relatório de sondagem, ao projeto estrutural da superestrutura. Muitas vezes há um projeto estrutural pouco detalhado, sem a indicação e localização das cargas consideradas no projeto de origem.

A grande parte das falhas, porém, é oriunda do próprio engenheiro responsável pelo dimensionamento da fundação, como erros na determinação das cargas atuantes, erro no dimensionamento de outros elementos estruturais (como vigas de equilíbrio), uso de solicitações superficiais para fundações profundas, utilização de diferentes elementos de fundação numa mesma estrutura, utilização de fundações com comportamento diferenciado sem avaliação dos efeitos de carregamentos especiais, uso de solução estrutural que não equilibra as forças horizontais pela fundação, cálculo incorreto de grupo de estaca.

Em situações particulares, é possível ocorrer: utilização de cargas nominais sem verificação de flambagem nas estacas muito esbeltas em solos moles; uso de elemento de

fundação com reforço sem avaliação dos efeitos no conjunto; falta de travamento das estacas isoladas e esbeltas em solos de baixa resistência; uso de emendas não dimensionadas para o carregamento à tração.

Ocorrem problemas característicos nas armaduras quando estas são dimensionadas incorretamente, projetadas muito densas, impossibilitando a execução ou quando calculadas para concreto armado e tracionado sem previsão de fissuração.

Há também problemas decorrentes da falta de conhecimento dos efeitos dos deslocamentos proporcionais ao diâmetro da estacas (resistência de ponta), com o uso de valores incorretos, gerando recalque. O recalque também pode ser ocasionado pela ausência do planejamento, pelo planejamento incorreto da execução de aterros (sem vibração ou compactação) ou pelo uso de materiais inadequados.

b) Materiais:

As causas das patologias podem ocorrer pela atuação do próprio elemento de fundação como, por exemplo, quando a fundação transfere a carga ao solo de forma isolada, na presença de outra solicitação desconhecida, alterando as tensões na massa de solo e gerado sobreposição de esforços. Há também a ocorrência de deformação do corpo do aterro causado pelo peso gerado na transferência de carga da superestrutura.

Ocorre também a influência de elementos adjacentes (presentes nas proximidades) que podem comprometer os elementos a serem executados, ou seja, quando se desconsidera a sobreposição dos efeitos de pilares adjacentes muito próximos ou os esforços horizontais de uma fundação direta adjacente.

c) Máquina:

Nesta fase, os equipamentos utilizados referem-se à sondagem e aos ensaios para a caracterização do solo. A ausência de equipamentos apropriados para o detalhamento das amostras de solo bem como a utilização dos mesmos fora da especificação, com defeito ou não calibrados podem comprometer o dimensionamento do elemento de fundação e a escolha da melhor solução.

d) Métodos:

Nesta categoria estão os problemas relacionados à metodologia aplicada na realização da sondagem ou do projeto. Aqui o método é caracterizado pela falta de conhecimento para a realização do ensaio de sondagem e outros ensaios necessários, com a

utilização de modelos simplificados indevidos, uso de projeto otimista, desconsiderando camadas menos resistentes, compressíveis ou lençol d'água, uso de correlações empíricas e semi-empíricas não adequadas a cada situação, uso indevido dos resultados de sondagem, com correlações entre ensaios, utilização de ensaios não padronizados, sendo que todos esses fatores acabam por ocasionar o erro na escolha tipo de fundação.

e) Meio ambiente:

Apesar das principais causas das patologias nas fundações estarem relacionadas à mão de obra, alguns problemas derivam do próprio meio onde os elementos são executados. Isso acontece, em virtude da grande variedade das propriedades do solo, sendo estas alteradas em distâncias muito pequenas, onde muitas vezes os furos de sondagem acabam por não serem suficientes para a caracterização do solo em toda a área da obra, desconsiderando as diferentes camadas e resistências.

O planejamento do aterro também pode ocasionar problemas nas fundações, caso feito de maneira incorreta, como: na ocorrência de aterro assimétrico sobre camadas superficiais de solo mole, gerando solicitações horizontais em profundidade; surgimento de deformações no solo natural abaixo do enterrado, causado pelo acréscimo de tensões do peso próprio do aterro e da superestrutura; aterros não compactados, compactados deficientemente, feitos com materiais inadequados; e aterros sob solos moles e lixões expostos a ações bioquímicas sem devida análise.

A presença de vegetação, colapsibilidade, expansibilidade, zonas de mineração, zonas cársticas, presença de matacões também são exemplos de interferência do meio no elemento de fundação.

A ocorrência da vegetação compromete a fundação em virtude da interferência física das raízes que acabam mudando o teor de umidade do solo, com maior gravidade nos argilosos, causando recalques localizados e possivelmente outras patologias na estrutura.

A zona de mineração, que consiste na área de extração de carvão ou minério e que causa a instabilidade das escavações e ocasionando falhas na sondagem. Já a zona cárstica é definida pelo comprometimento do solo pela existência de rochas compostas de carbonatos de cálcio e magnésio, que são materiais extremamente solúveis, produzindo porosidades e cavidades. Pode ocorrer a existência de camadas rochosas superficiais insolúveis que escondem as cavidades inferiores.

A expansibilidade é a variação no teor de umidade causada pela presença de argilo-minerais em solos argilosos, variando o seu volume. O problema é intensificado com a

variação sazonal do lençol d'água, excesso de chuva e de vegetação. Essa expansibilidade é mais perigosa em obras de pequeno porte, já que o fenômeno depende da pressão aplicada ao solo pela fundação, considerando que quanto menor a pressão, maior a expansão.

A colapsibilidade é o fenômeno que ocorre em materiais que apresentam uma estrutura metaestável sujeita à rearranjo radical de partículas e grande variação volumétrica, em virtude da saturação, com ou sem carregamento externo adicional. Rebello (2011), ainda reforça que os solos colapsíveis são os que apresentam grande porosidade, formados por areias ou argilas, sendo suas partículas ligadas por uma espécie de cimentação, que quando entra em contato com a água, tal ligação é rompida, perdendo assim sua estrutura.

f) Medição:

A medição corresponde à verificação das atividades através da supervisão dos serviços por um profissional qualificado que tenha ampla experiência na área, seja durante a realização da sondagem como no dimensionamento da fundação. É imprescindível que sejam realizadas todas as análises necessárias considerando a geologia, topografia e demais características locais, edificações vizinhas, carregamentos da própria estrutura, disponibilidade e viabilidade da execução do elemento de fundação, coeficientes de segurança e demais verificações necessárias para a elaboração de um projeto eficiente.

Os problemas de medição correspondem à falta de monitoramento por engenheiro ou responsável técnico na sondagem, a falta do estudo e análise da área da obra, desconsiderando os efeitos gerados pela edificação e pelo seu entorno.

2.7.2 Patologias relacionadas à fase de execução

Ao abordar as manifestações patológicas presentes na execução, a autora classifica-as em:

a) Mão de obra:

Sabe-se que a maioria das causas de patologias nas fundações está relacionada à concretização do projeto, ou seja, à execução. Isso acontece principalmente quando a equipe responsável não possui experiência ou qualificação para o serviço.

Verificam-se erros no recebimento do concreto, pela falta de conferência (dados apresentados na nota fiscal), falta de rastreabilidade ou baixa qualidade constatada no canteiro

de obras, problemas na concreteira, dosagem incorreta do concreto, inexistência de lacre no caminhão etc. Posteriormente no momento da utilização, há a cura, vibração e o adensamento incorreto do concreto ou paralisação por longos períodos de tempo da concretagem.

Existem alguns problemas que acontecem tanto em fundações rasas, como em fundações profundas, como a locação incorreta dos elementos (má interpretação do projeto), falta de verificação do prumo e da profundidade, substituição do solo de sondagem por outros solos ou outros materiais, execução de aterros de forma incorreta, erros na execução do elemento de fundação com dimensões e geometria incorretas, bem como, a substituição desses por equivalentes.

Ocorre também o assentamento do elemento em solos de diferentes comportamentos, em cotas diferentes ao projetado ou a ausência da junta de dilatação que é utilizada para minimizar a interferência de gradientes de temperaturas e/ou retração dos elementos estruturais.

Os problemas na execução das sapatas são causados pelo amolgamento (quando o solo perde a resistência com a destruição da sua estrutura) no fundo da vala, ocasionado por erros na escavação e falta de limpeza do material proveniente do desmoronamento, sapatas apoiadas em aterros mal compactados ou sobre-escavação preliminar.

Podem ocorrer problemas quando um grupo de sapatas é executado em cotas diferentes causando o desmoronamento ou o alívio do elemento estrutural no nível superior, em virtude da necessidade de escavação da sapata em cota inferior. Há casos em que as sapatas são executadas sobre canalizações, onde depois podem vir a ocorrer escavações ou vazamentos, comprometendo a eficiência do elemento estrutural.

Além da falta de limpeza do fundo da cava, anteriormente citado, verificam-se casos onde não ocorre a regularização do concreto magro ou a sua execução incorreta, ocorrendo a contaminação do concreto a ser lançado posteriormente. Pode ocorrer ausência da adoção de uma solução adequada na presença de água durante a concretagem.

Problemas também nas armaduras seja pela má execução, ausência de espaçadores, com estribos mal posicionados, insuficientes, incoerentes com o projeto ou pelo posicionamento incorreto da armadura no elemento de fundação, causando muitas vezes o estrangulamento da seção dos pilares enterrados.

Nas fundações profundas, há uma maior concentração de causas das patologias, em virtude da grande variedade dos tipos de elemento estrutural e pela complexidade na execução. Erros na locação, pela presença de matacões ou blocos rígidos não verificados na

sondagem, geram o deslocamento ou desvio na execução ou inclinação incorreta da fundação, comprometendo o sistema estrutural.

A lama bentonítica é utilizada na execução de fundações com o objetivo de dar sustentação ao solo de escavação, preenchendo os vazios e garantindo a resistência da parede do elemento. A ausência dessa lama ou de qualquer outro revestimento, utilização tardia (somente quando percebida a instabilidade do solo) ou a ausência do controle da tremonha (tubo) favorecem o aparecimento de água na concretagem caso seja característica do solo da região.

Existem alguns eventos particulares de cada tipo de fundação relacionados à mão de obra, como por exemplo, em estacas cravadas: Em estacas de madeira, é comum o uso de material incorreto, falta de proteção da cabeça da estaca causado por obstruções e emendas inadequadas (uso de talas). Em estacas metálicas, ocorrem problemas de soldagem entre elementos (uso de eletrodo inapropriado, técnica inadequada), emenda mal executada, uso de elementos muito esbeltos em solos muito moles e presença de obstruções.

Ainda em estacas cravadas tem-se: Estacas pré-moldadas com utilização de elementos sem ter atingido a resistência necessária (qualidade, cura, dosagem), erros no manuseio, descarga e colocação do equipamento de cravação, falta de proteção na cabeça da estaca, armaduras mal posicionadas no fuste ou insuficientes e uso de emendas inadequadas.

Nas estacas do tipo Franki os problemas específicos são: estrangulamento do fuste quando a execução acontece em solos muito moles sem solução adequada; injeção de uma quantidade inferior de concreto na base da estaca; falta de cuidado no levantamento do tubo, com altura de segurança incorreta do concreto, gerando descontinuidade no fuste; má utilização dos agregados; inexistência de ancoragem da armadura da base, quando há a possibilidade de levantamento da estaca pela cravação de outra nas proximidades.

Na estacas do tipo Ômega: falta de controle da execução, com excesso de velocidade de subida da ferramenta; problemas na colocação da armadura, em virtude do seu dimensionamento incorreto ou da utilização de concreto com baixa trabalhabilidade. Já as estacas do tipo Mega requerem uma equipe mais experiente, pois consistem em processos de reforço e a falta de qualificação compromete esse processo.

Os problemas ocasionados nas estacas escavadas são: falta de controle da concretagem (problemas de integridade ou continuidade); dosagem incorreta do concreto; paralisação na concretagem, armaduras posicionadas incorretamente ou mal dimensionadas; ausência ou limpeza incorreta do material excedente na ponta da estaca; ausência ou uso indevido de lama bentonítica durante concretagem; desmoronamento das paredes causado

pela falta de proteção ou execução incorreta escavação; execução de estacas próximas a elementos recém concretados em solos moles.

Nas estacas do tipo broca executadas com trado manual ou mecânico pode ocorrer a escolha e o uso indevido do sistema (terrenos instáveis ou abaixo do nível de água), escavação de muitas estacas para só depois serem concretadas, mistura inadequada do concreto, falta de limpeza da cabeça da estaca ou a falta de correção do trecho corrompido do bloco contaminando o concreto, uso atrasado do revestimento, e paralisação da concretagem. Na Strauss, além das falhas já mencionadas, verificam-se principalmente a mistura deficiente do concreto (mistura manual) e a ausência do uso de revestimento.

Nas estacas raiz, os problemas específicos deste tipo de elemento são: seccionamento ou descontinuidade do fuste causado pelo mau posicionamento da armadura ou lançamento incorreto da argamassa e retirada descontrolada do revestimento. Já na hélice contínua, os erros relacionados à mão de obra utilizada consistem na execução descontrolada, utilização de concreto inadequado, dificuldade na colocação da armadura, em virtude de falhas em seu dimensionamento e falta de pressurização na concretagem.

Além das estacas, os tubulões fazem parte dos elementos de fundação profunda. Alguns erros também ocorrem nesse processo, podendo ser: falta de limpeza do material da base do tubulão elevando a tensão no solo superficial; insuficiência de armaduras ou falha no dimensionamento destas; utilização incorreta de pedras de mão (superior a 30% do volume); ausência da armadura de fretagem, que é a armadura locada na região da ancoragem para impedir que o concreto fissure por conta dos esforços de protensão concentrados.

Entretanto, em razão do risco apresentado na execução dos tubulões, já que há a descida do operário e do engenheiro até a base alargada, a falta ou deficiência dos procedimentos de segurança e a não utilização de EPI's designados para esta operação geram problemas gravíssimos, comprometendo a saúde e a vida do executor.

b) Materiais:

A escolha dos materiais utilizados compromete diretamente a eficiência de um sistema de fundação. A primeira observação nesse aspecto é em relação ao concreto. Muitas falhas na execução são derivadas do uso do concreto incorreto, já que o concreto é solicitado pelo projetista e, por certos fatores, acabam sendo diferentes ao utilizado pelas equipes responsáveis pela execução, resultando em problemas de integridade e continuidade.

Algumas características do concreto podem ser facilmente apontadas, como a trabalhabilidade e dosagem, e outras características que são difíceis de serem detectadas no

canteiro de obras, como a qualidade, resistência, presença de aditivos retardadores ou aceleradores de pega etc. Em razão disso, recomenda-se o controle rígido do concreto com a análise da nota fiscal comparada ao especificado em projeto e a necessidade da realização da rastreabilidade do concreto.

Podem ocorrer problemas causados pela fundação, como por exemplo: compactação excessiva do solo (granular) pelo próprio elemento de fundação (cravação da estaca pré-moldada); levantamento de elementos já cravados pela cravação de outros elementos, com a elevação do solo; possibilidade de ocorrência de flexão do elemento a ser cravado (deslocamento lateral); estacas pré-moldadas com resistência incorreta; nas estacas mega, deficiência de resistência do elemento no qual está sendo apoiada ou a má vinculação dos elementos macaqueados.

c) Máquina:

O desenvolvimento de equipamentos contribuiu para a melhoria da qualidade dos processos executivos, entretanto o uso incorreto dos mesmos ocasiona muitos problemas nos elementos de fundação. A ausência de um determinado equipamento, com a substituição da fundação projetada por uma equivalente é a ocorrência mais presente nas obras.

Ocorre também, a utilização de equipamentos sem capacidade (torque e comprimento insuficiente da haste). Em estacas cravadas, pode acontecer a falta ou o excesso de energia de cravação, fazendo com que o equipamento não tenha capacidade de ultrapassar eventuais obstruções ou danificando o próprio elemento, respectivamente. Outro erro que acontece nesse tipo de fundação é a utilização do capacete da estaca fora do centro de gravidade, causando o choque excêntrico do martelo.

Em estacas escavadas, a ferramenta de escavação pode gerar o amolgamento ou recobrimento do fuste, pela remoção do solo durante introdução do trado, aliviando as tensões horizontais e reduzindo a resistência lateral.

d) Método:

No processo executivo, o método utilizado não influencia tanto como a metodologia escolhida e aplicada na fase do projeto. Os erros nesta etapa estão relacionados à falta de experiência e qualificação dos profissionais envolvidos na execução, resultando numa escolha errada do sistema adotado, uso indevido em terrenos instáveis ou abaixo do nível d'água, bem como o uso incorreto de soluções, sem justificativa e não padronizadas.

e) Meio ambiente:

Na execução, verificam-se alguns problemas relacionados ao meio em que o elemento de fundação é realizado. Pode-se citar: presença de água na cava; elevação da pressão neutra em solos argilosos saturados; amolgamento de solos argilosos saturados; alteração no diâmetro da estaca ou seccionamento do fuste em razão do solo ser muito mole e instável; em estacas apoiadas sobre rochas, ocorrência de rochas desintegradas com baixa resistência. Há também a ocorrência de artesianismo, ou seja, água sob pressão, que é um fenômeno apresentado em poços artesianos que consiste na elevação da água por si mesma.

f) Medição:

Assim como na fase de projeto, a falta de qualificação e experiência dos responsáveis técnicos é o principal motivo do surgimento dos problemas das fundações. No geral, os erros mais comuns são: falta de rastreabilidade do concreto, falta de controle dos processos de escavação/cravação, do posicionamento de armaduras e dos volumes concretados no decorrer do processo, da preparação do elemento estrutural depois de executado; inexistência ou falha nos processos de verificação de integridade estrutural de fundações profundas; não realização de provas de carga.

2.7.3 Eventos pós-conclusão

Os eventos pós-conclusão consistem nos problemas ocorridos após o término da edificação, seja no modo de utilização da edificação, reformas estruturais ou por consequência de modificações no entorno na obra. Ao abordar as manifestações patológicas presentes na investigação geotécnica e no projeto, a autora classifica-as em:

a) Mão de obra:

Os problemas que surgem em uma obra já concluída podem ser causados pelo dono do imóvel, por quem está fazendo uso ou pela vizinhança. Como por exemplo, a alteração do uso da edificação, variando as solicitações ou pela realização de modificações, reformas ou ampliações não previstas no projeto original.

Outros fatores correspondentes à mão de obra estão relacionados diretamente ao serviço de execução das reformas anteriormente citadas, assim como alteração nas condições

de carregamento de obras vizinhas ou qualquer outra modificação não prevista no projeto inicial.

Nessas condições tem-se:

- Oscilações no nível d'água não previstas ou extravasamento de grandes coberturas sem sistema eficiente de descarga;
- Rompimento de canalizações enterradas ou execução de escavações não protegidas ou que acabam causando movimentação das massas de solo junto à fundação ou à estrutura de contenção, com perda de material, variando o estado inicial de tensões e rebaixando o lençol d'água, sejam estas escavações realizadas juntos a divisa ou na parte interna da obra;
- Na execução de estacas ou compactação do solo nas proximidades: uso de equipamentos por esforço dinâmico, vibratórios, com grandes energias de impacto; uso de grandes alturas na queda do martelo, aumentando o número de impactos; uso de estacas excessivamente grandes, podendo ser substituídas por de menores dimensões; execução incorreta da fundação, gerando instabilidade do talude;
- Escavação de túneis e realização de explosões nas proximidades.

b) Materiais:

Pode ocorrer a degradabilidade do elemento de fundação causada pela baixa qualidade dos materiais utilizados na execução.

c) Máquina:

Utilização de equipamentos em obras vizinhas sem o conhecimento da capacidade do mesmo, gerando grandes níveis de vibração, comprometendo a estrutura das edificações do entorno.

d) Meio ambiente:

Alguns fatores do ambiente podem desencadear problemas nas edificações após sua conclusão. São eles: variação das condições do lençol freático, erosão, solapamento (infiltrações), presença de vazios no solo gerada por animais (formigas, tatus, cupins).

O rebaixamento do lençol freático causa uma diminuição da pressão neutra, que é a pressão de baixo para cima devido à água, aumentando a pressão efetiva, provocada pelo peso do solo e que pode gerar um aumento na pressão do solo.

e) Medição:

A medição desta etapa da obra é complexa, afinal os responsáveis pela execução não acompanham a obra depois de concluída. O principal fator a ser observado nesta etapa é a manutenção correta e de controle de recalque, desaprumo e fissuras que, se não executada, acarreta sérios problemas futuros.

O método do Diagrama de Ishikawa consiste na disposição da patologia (evento principal) relacionada às possíveis falhas (causas do evento). Em virtude do grande número de causas prováveis, a autora deste trabalho apresentou esta relação causa-efeito em forma de texto, porém pode-se observar um exemplo prático na Figura 5.

Figura 5 - Exemplo de aplicação do Diagrama de Ishikawa.



Fonte: AUTORA, 2016.

Nesta figura é apresentada uma parte das patologias relacionadas à fase de execução. Em virtude do grande número de tópicos, foram escolhidos apenas alguns para a demonstração. Na cor vermelha pode-se verificar o evento principal (acidente) e em preto as causas das patologias, classificadas de acordo com o responsável (método, meio ambiente, mão de obra, máquina, medida e material).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 COLETA DE DADOS

Para que seja possível o desenvolvimento de uma ferramenta de Controle de Qualidade para fundações, foram coletadas informações baseadas na bibliografia existente e em um trabalho acadêmico realizado por Wiebbelling (2014) no qual a autora classifica e define as patologias que ocorrem nas fundações, sendo elaborada então uma árvore de falhas.

O método da Análise da Árvore de Falhas (AAF) foca em um acidente particular e concede um instrumento para determinação das causas do acidente. É uma técnica gráfica que fornece combinações de falhas de equipamentos e erros humanos.

A partir deste modelo, Wiebbelling (2014) elaborou uma Árvore de Falhas de Patologias em Fundações que foi utilizada neste trabalho para o desenvolvimento de um instrumento de Controle de Qualidade que tenha como objetivo a efetivação correta dos serviços priorizando a boa qualidade não somente do produto final, mas principalmente das etapas dos processos executivos.

3.2 INSTRUMENTOS PARA OBTENÇÃO DOS RESULTADOS

Objetivando a criação do Programa de Qualidade, o estudo foi dividido em:

- a) Pesquisa bibliográfica para determinação das causas das patologias nas fundações e complementação dos estudos obtidos na árvore de falhas, com a aplicação do Diagrama de Ishikawa (Diagrama Causa-efeito ou Espinha de Peixe);
- b) Desenvolvimento de uma Folha de Verificação de Serviço com a criação de um Programa de Controle Qualidade para fundações;

O processo de desenvolvimento do Programa de Qualidade teve como base a mesma divisão estabelecida por Wiebbelling (2014) que classifica as patologias em três fases: ocasionadas na fase de projeto, ocorridas durante a execução e oriundas após a conclusão. De acordo com Milititsky *et al.* (2005) são estas as principais fases de surgimento dessas patologias.

3.3 ANÁLISE DOS DADOS OBTIDOS

Por meio da metodologia da aplicação do Diagrama de Ishikawa, dividiu-se as patologias abordadas por Milititsky *et al.* (2005) da mesma forma, ou seja, em três fases estipuladas por Wiebbelling (2014) e foram classificadas em: mão de obra, máquina, material, método, meio ambiente e medida. O estudo obtido a partir deste mecanismo pode ser observado no Capítulo 2, seção 7.

Com o estudo da análise realizada e coleta dos dados da classificação do Diagrama de Ishikawa, desenvolveu-se um *check list* contendo as principais diretrizes a serem seguidas na forma de Folhas de Verificação de Serviço estando coerentes às principais normas dos procedimentos de investigação, projeto e execução, dentre outras:

- ABNT NBR 8036/1983: Programação de Sondagens de Simples Reconhecimento dos Solos para Fundações de Edifícios;
- ABNT NBR 6484/2001: Solo - Sondagens de Simples Reconhecimento com SPT - Método de ensaio;
- ABNT NBR 6122/1996: Projeto e execução de fundações.

A partir disso, elaborou-se um Programa de Controle de Qualidade para Fundações com finalidade de prevenção e minimização das patologias que possam vir a ocorrer nas fundações, com o entendimento da sequência crítica dos eventos, identificação de falhas singulares, descoberta de possíveis soluções, prevenção e tratamento.

Após a efetivação do Programa de Controle de Qualidade, aplicou-se o mesmo em duas obras, comprovando sua eficiência. Com a finalidade de direcionar os processos a serem verificados foi elaborado um Manual Simplificado dos processos para a execução de alguns tipos de sistema de fundações, verificado em Apêndice.

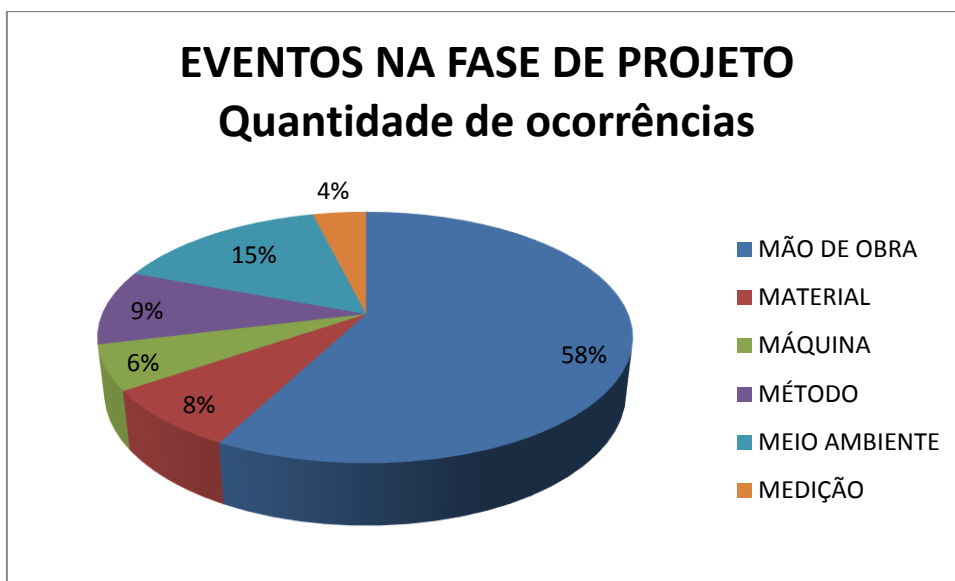
3.4 ANÁLISE GRÁFICA

Depois de aplicado o Diagrama de Ishikawa e obtidas as patologias classificadas conforme a fase em que ocorrem e o agente ou fator que as motivam, elaborou-se gráficos para apresentação dos resultados. A partir da análise das falhas cometidas nas etapas foi

possível, por meio desses gráficos, demonstrar quais são os principais responsáveis das patologias nas fundações.

A Figura 6 apresenta o percentual de ocorrências relacionadas à fase de projeto, de acordo com os dados obtidos.

Figura 6 - Eventos relacionados à fase de projeto.



Fonte: AUTORA, 2016.

É comum responsabilizar a equipe de execução quando identificado um erro no produto final, em virtude da falta de qualificação dos trabalhadores do canteiro de obras. Todavia, observa-se que na fase de projeto, a maior parte dos erros é de responsabilidade de quem realiza o projeto ou da coleta e estudo dos dados de sondagem, seja engenheiro, geólogo, ou qualquer outro profissional que tenha qualificação para a realização do serviço.

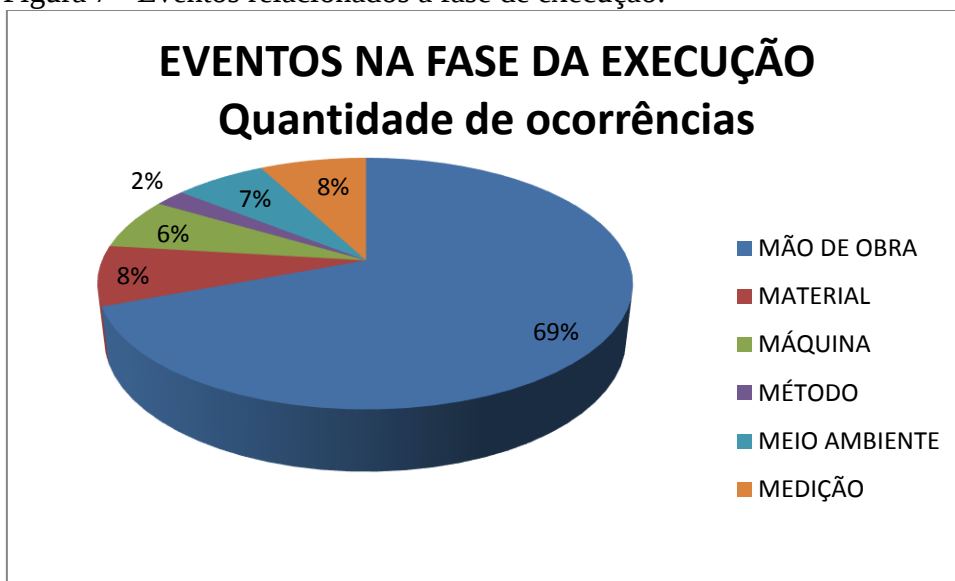
Na fase de projeto 58% dos problemas estão relacionados à falha na coleta e interpretação dos dados, erros no dimensionamento e uso de soluções inadequadas, não sendo oriundos da falta de conhecimento das partes envolvidas, mas sim pela opção de utilização de modelos de cálculo genéricos adotando valores não representativos para o dimensionamento de estruturas ímpares e determinação das características do solo superestimando seu comportamento.

Apesar da grande diferença de valores, com variação de 43%, o meio-ambiente está na sequência, com 15%, como o segundo maior causador de problemas nas fundações em fase de projeto. Isso porque os fatores naturais são, na maioria das vezes, imprevisíveis, não sendo possível de ser constatado por meio de investigações, tanto nos ensaios de sondagem, como

no estudo das influências do entorno da obra. Assim, em razão do desconhecimento da real situação do solo local, são adotadas soluções incorretas, comprometendo o sistema de fundação e toda a edificação.

Já as ocorrências relacionadas à fase de execução, de acordo com os dados obtidos e analisados, podem ser verificadas na Figura 7.

Figura 7 - Eventos relacionados à fase de execução.



Fonte: AUTORA, 2016.

Nesta figura é possível observar novamente que a grande parte das ocorrências é resultado da mão de obra utilizada. Quase 70% das patologias são motivadas pela falta de qualificação do responsável técnico pela execução, e como resultado disso, dos trabalhadores que acabam realizando as atividades de forma incorreta.

Na classificação dos agentes e causas dispostos nesse tópico, são apontados os dois tipos de fundação juntamente (rasa e profunda). Em razão da grande variedade de tipos de fundação profunda, são abordados os erros prováveis de ocorrerem em todos esses, porém no surgimento de repetição, ou seja, mesma causa para fundações distintas, estas foram desconsideradas.

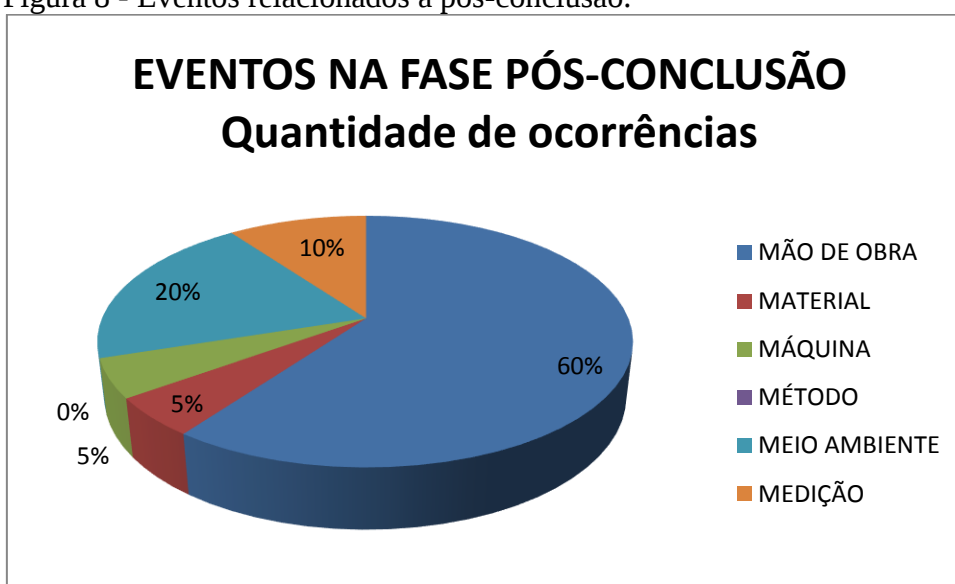
Com uma diferença de 61%, na sequência de classificação, estão os problemas causados pela medição e pelo material. Apesar de possuir um pequeno valor estatístico, a medição influencia mais na qualidade do elemento de fundação do que a própria execução. Isso se dá pelo fato de que os responsáveis pela medição deveriam fiscalizar e direcionar melhor sua equipe de trabalho. Se houvesse mais preocupação com as medidas a serem

tomadas nas obras, mais de 90% dos erros seriam evitados pois, na maioria das vezes, só não existe controle integral quando os problemas são oriundos do ambiente.

Com os mesmos 7% do agente medição, o fator material também compromete a qualidade do produto final, uma vez que desconhecida a relação solo-ambiente bem como inesperadas alterações no corpo do elemento, acabam por resultar em movimentações ou deformações não previstas nem consideradas no dimensionamento.

E por fim, as ocorrências relacionadas à fase pós-conclusão, segundo os dados obtidos e analisados, vistas na Figura 8.

Figura 8 - Eventos relacionados a pós-conclusão.

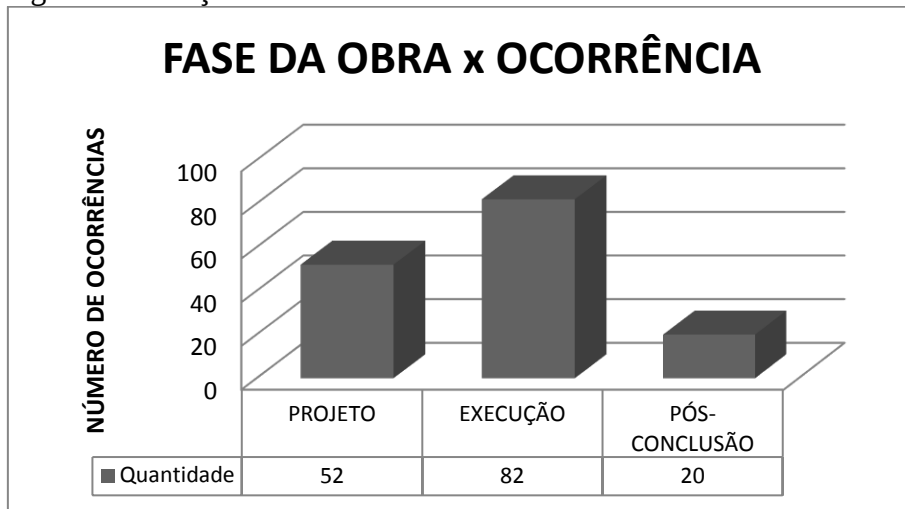


Fonte: AUTORA, 2016.

Novamente pode-se constatar que a maioria das falhas nas fundações é causada pela mão-de-obra. Nesta fase, porém, a mão de obra analisada é indireta, afinal o elemento de fundação já está finalizado, assim como a edificação como um todo. Os agentes causadores das falhas não são os responsáveis pela execução da fundação, mas sim pelas obras e interferências vizinhas, ou moradores que resolvem fazer reformas na estrutura, não consideradas no projeto de origem.

Ao relacionar os três gráficos anteriores, pode-se demonstrar o número de patologias encontradas em cada fase do processo da fundação. Na Figura 9 pode-se observar a relação de quantidade de ocorrências por agente nas três fases da fundação.

Figura 9 - Relação entre a fase da obra e a ocorrência.



Fonte: AUTORA, 2016.

Com a análise dos gráficos anteriores é possível concluir que o principal agente causador das patologias nas fundações é a mão de obra utilizada. Já no gráfico da Figura 9 constata-se que a maior parte das patologias encontradas é gerada durante a execução. Relacionando esses dois resultados, tem-se como objeto de estudo então, o controle da mão de obra utilizada na execução.

Como as patologias oriundas do projeto possuem valor considerável, faz-se o estudo para o controle das atividades desta fase também. Em razão das patologias ocasionadas na fase pós-conclusão necessitarem de um acompanhamento desde o projeto até um período prolongado depois da conclusão da edificação, estas não serão abordadas no Programa de Controle de Qualidade.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 FORMULAÇÃO DO PROGRAMA DE QUALIDADE

Para a montagem de uma Folha de Verificação de Serviço, a autora coletou as questões referentes aos processos de projeto e execução das fundações, resultado da pesquisa de Wiebbelling (2014) em suas árvores de falhas, correlacionando às ocorrências dos agentes e fatores apontados na classificação dos eventos pelo método do Diagrama de Ishikawa.

Essa ficha de controle de serviço ou folha de verificação consiste em uma planilha individual para sondagem, projeto, execução da sapata, execução da estaca ou execução do tubulão, que deverão ser preenchidas no momento da realização das atividades por um responsável técnico ou engenheiro presente a atuante na obra. As fichas desenvolvidas pela autora deste trabalho podem ser verificadas nas Figuras 10, 11, 12, 13, 14.

A Figura 10 apresenta a Ficha A correspondente a etapa da realização da investigação geotécnica, que consiste em apenas uma ficha a ser preenchida independentemente do número de furos, ou seja, será realizada a identificação da quadra ou lote da obra e serão apontados os furos de sondagem abordados em sua totalidade.

Além das informações para identificação da empresa responsável, profissionais envolvidos e data de realização, deve-se informar o tipo de sondagem utilizado, assim como observações constatadas durante o processo.

Figura 10 – Ficha A: Folha de Verificação de Serviço da Sondagem.

SONDAGEM						
Obra:		Data:		Hora:		
Localização da Sondagem:						
IDENTIFICAÇÃO DO FURO:						
Empresa Responsável:		Responsável Técnico:		Equipe de apoio:		
Conferente:						
TIPO DE SONDAGEM: () TRADO MANUAL () PERCUSSAO						
DESCRICAÇÃO		PARAMETRO		S	N	NA SC
1- Foi realizado o ensaio de sondagem?						3
2- A empresa dispõe de um engenheiro ou responsável técnico capacitado, qualificado e experiente para a realização deste serviço?						3
3- A empresa dispõe de uma equipe de apoio com experiência e qualificação no serviço?						2
4- Os pontos de sondagem foram realizados em locais estratégicos, ou seja, nas áreas mais carregadas da estrutura?						3
5- O número de sondagens seguiu o mínimo especificado pela NBR 8036/1985?						3
6- O peso do martelo está de acordo com o padronizado?		Peso padrão: 65 kgf				2
7- Houve controle na altura de queda do martelo?		Altura padrão: 75 cm				2
8- Houve acompanhamento na contagem de golpes do martelo até a profundidade de 45 cm e intermediariamente para cada 15 cm a cada metro perfurado?						3
9- A profundidade da investigação foi suficiente, levando em consideração o tipo de edificação, seu carregamento ou a existência de subsolo?						3
10- As amostras de solo foram devidamente coletadas, armazenadas e identificadas?						3
COMENTARIOS (problemas encontrados durante o processo ou observações relevantes verificadas durante a conferência)						
LEGENDA						
S – SIM (Conformidade)						
N – NÃO (Inconformidade)						
NA – NÃO APLICA						
SC – ÍNDICE DE IMPORTÂNCIA						
(*) – CASOS ESPECÍFICOS ANALISADOS RESPARADAMENTE						
INSPECIONADO POR:				ASSINATURA:		
AVALIADO POR:				() APROVADO () REPROVADO		

Fonte: AUTORA, 2016.

A Figura 11 corresponde ao processo de elaboração do projeto de fundações. A Ficha B deve direcionar a equipe, depois do seu preenchimento, ao sistema de fundação adequado e adotado pelo responsável pelo projeto.

Figura 11 – Ficha B: Folha de Verificação de Serviço do Projeto de Fundações.

PROJETO DE FUNDACOES						
Obra:						
Responsável pelo Projeto:		Data:				
Conferente:						
DESCRICAO		PARAMETRO	S	N	NA	SC
1-	O engenheiro responsável pelo dimensionamento possui capacitação, qualificação e experiência em projeto?					3
2-	As cargas do projeto estrutural condizem com o porte da obra?					3
3-	Considerando a presença de nível d'água no terreno, existe um sistema de segurança que possibilite a execução da fundação?					3*
4-	A fundação foi dimensionada para todos os elementos do projeto?					3
5-	A distância entre os elementos estruturais de fundação seguiu a mínima determinada pela NBR 6122/2010?					3
6-	Considerando a presença de aterro, foi considerado o efeito da sobrecarga que este exerce sobre as fundações?					3*
7-	As armaduras foram dimensionadas considerando todos os esforços, condizente com a boa prática?					3
8-	No caso de peças muito esbeltas, foram considerados os efeitos de flambagem (encurvatura), quando submetida a esforços de compressão axial?					3*
9-	No projeto, a legenda indica os elementos básicos para execução da fundação? (profundidade, dimensão, geometria, armaduras, etc.)?					3
10- Qual o sistema de fundação adotado? _____						
COMENTARIOS (problemas encontrados durante o processo ou observações relevantes verificadas durante a conferência)						

LEGENDA		INSPECIONADO POR: _____				
S – SIM (Conforme)		ASSINATURA: _____				
N – NÃO (Inconformidade)		_____				
NA – NÃO APLICA		_____				
SC – ÍNDICE DE IMPORTÂNCIA		_____				
(*) – CASOS ESPECÍFICOS ANALISADOS SEPARADAMENTE		() APROVADO () REPROVADO				

Fonte: AUTORA, 2016.

A Figura 12 corresponde a Ficha C relacionada a execução das sapatas.

Figura 12 – Ficha C: Folha de Verificação de Serviço da Execução das Sapatas.

EXECUÇÃO DAS FUNDAÇÕES EM SAPATAS						
Obra:		Data:		Hora:		
IDENTIFICAÇÃO DO ELEMENTO ESTRUTURAL:						
Empresa Responsável:	Responsável Técnico:		Equipe de apoio:			
Conferente:						
DESCRIÇÃO						
1-	Os funcionários estão utilizando os EPI's necessários para a atividade?	PARAMETRO	S	N	NA	SC
2-	A empresa contratada dispõe de um engenheiro responsável atuante e presente na obra?					1
3-	A equipe de execução possui experiência e qualificação no serviço?					3
4-	Os elementos de fundação executados foram os mesmos dispostos em projeto?					2
5-	As sapatas foram executadas com a dimensão e geometria determinadas no projeto?	Mínimo: 60 cm				3
6-	Foi feita a limpeza do solo superficial excedente?					1
7-	A cota de assentamento foi executada corretamente, de acordo com o especificado?					3
8-	Houve a regularização do concreto magro (lastro de brita) no fundo da cava?	5 cm				3
9-	As armaduras foram bem posicionadas utilizando espaçadores?					3
10-	Foram realizados ensaios de corpo de prova e <i>slump test</i> do concreto?					1
11-	A concretagem foi feita logo após a escavação do solo?	Até de 24 horas				1
12-	Houve monitoramento da concretagem dos elementos estruturais da fundação do início ao fim do processo, por um engenheiro ou responsável técnico?					1
13-	Foi feito o adensamento/vibração do concreto da sapata?					
14-	Foi executada junta de trabalho entre edificações construídas em divisa de portes diferentes?					3*
15-	Foi realizado ensaio de prova de carga?					3
COMENTÁRIOS (problemas encontrados durante o processo ou observações relevantes verificadas durante a conferência)						
LEGENDA S – SIM (Conforme) N – NÃO (Inconformidade) NA – NÃO APLICA SC – ÍNDICE DE IMPORTÂNCIA (*) – CASOS ESPECÍFICOS ANALISADOS SEPARADAMENTE INSPECIONADO POR: _____ ASSINATURA: _____ AVALIADO POR: _____ () APROVADO () REPROVADO						

Fonte: AUTORA, 2016.

A Figura 13 corresponde a Ficha D relacionada a execução das estacas.

Figura 14 - Ficha E: Folha de Verificação de Serviço da Execução dos Tubulões.

EXECUÇÃO DAS FUNDAÇÕES EM TUBULÃO								
Obra:		Data:		Hora:				
IDENTIFICAÇÃO DO ELEMENTO DE FUNDAÇÃO:								
Empresa Responsável:	Responsável Técnico:	Equipe de apoio:						
Conferente:								
DESCRIÇÃO		PARAMETRO			S	N	NA	SC
1- Os funcionários estão utilizando os EPI's necessários para a atividade?								3
2- A empresa contratada dispõe de um engenheiro responsável, atuante e presente durante a execução de todos os elementos de fundação?								3
3- A equipe de execução possui experiência e qualificação no serviço?								3
4- Sendo este um serviço realizado em espaço confinado, estão sendo respeitadas as diretrizes da NR 33? (identificar riscos, providenciar equipamento de comunicação, treinamento, equipamento de ar comprimido)								3
5- Na escavação da base dos tubulões, principalmente se for de forma manual, os operários estão usando os devidos equipamentos de segurança de acordo com a NR 33?								3
6- Os elementos de fundação foram executados com a dimensão e geometria corretas?								3
7- Foi feito o controle de prumo durante as escavações da fundação?								3
8- A cota de paralisação do elemento de fundação e condizente ao definido em projeto?								3
9- Foi feita a limpeza do solo superficial excedente, evitando tensões não previstas na parede do elemento bem como da base do tubulão?								2
10- Caso o solo seja saturado ou não coesivo, houve proteção (vestimento, camisa) da parede da escavação?								3*
11- Se necessária a readaptação de projeto na execução da fundação profunda, no caso de aparecimento de marachos ou blocos de solo/rocha rígido, foi informado ao projetista e o mesmo tomou as devidas providências (redimensionamento)?								3*
12- Houve a conferência das medidas após sua execução, anteriormente a concretagem?								3
13- As armaduras foram bem posicionadas utilizando espaçadores?								3
14- Foi realizado ensaios de corpo de prova e Slump Test para a rastreabilidade do concreto utilizado no elemento estrutural?								2
15- A concretagem foi feita logo após a perfuração/escavação do solo?								3
16- Foi feito o monitoramento da concretagem dos elementos estruturais da fundação, por um engenheiro ou responsável técnico?								2
17- Houve paralisação durante a concretagem do elemento de fundação?								*
18- Foi executada junta de trabalho entre edificações construídas na divisa?								3*
19- A cabeça do elemento de fundação foi devidamente preparada?								3
20- Na execução do elemento estrutural, os materiais utilizados (agregados) foram os determinados em projeto? (Em tubulões, permite-se a utilização de pedra de mão até 30% do volume de concreto entre o recho limite da armadura e a base)								3
21- Foi realizado ensaio de prova de carga?								3
COMENTÁRIOS (problemas encontrados durante o processo ou observações relevantes verificadas durante a conferência)								
LEGENDA S - SIM (Conforme) N - NÃO (Inconformidade) NA - NÃO APLICA SC - ÍNDICE DE IMPORTÂNCIA (*) - CASOS ESPECÍFICOS ANALISADOS SEPARADAMENTE								
INSPECIONADO POR:								
ASSINATURA:								
AVALIADO POR:								
		() APROVADO () REPROVADO						

Fonte: AUTORA, 2016.

As fichas de sondagem e projeto levam em consideração a investigação do solo e a elaboração do projeto em sua generalidade. Já as fichas de execução, deverão ser respondidas para cada elemento de fundação, individualmente, estando estes devidamente identificados. Será uma ficha para todo o processo da sondagem independentemente do número de furos de

SPT e uma ficha para a elaboração do projeto considerando os elementos de fundação na sua totalidade.

As lacunas para a identificação da obra ou tipo de fundação dispostas nas fichas deverão ser respondidas obrigatoriamente no momento da elaboração do projeto ou execução da sondagem/elemento estrutural, dentre elas: Local da obra, identificação do furo ou do elemento de fundação, nome do responsável técnico, da equipe e da empresa contratada, data e hora da realização, conferente, entre outras.

Depois de identificados os responsáveis e indicado o local da obra, são apresentadas as questões, em ordem de execução, enumeradas, sendo que algumas possuem um parâmetro definido. Todas as perguntas possuem as colunas que indicam conformidade, inconformidade ou não aplicação do tópico analisado, que deverão ser preenchidas com um “X” de acordo com a observação feita em relação às normas técnicas disponíveis.

Cada pergunta a ser respondida apresenta uma coluna denomina SC, do inglês *score*, que significa contagem ou pontuação, onde estão determinadas os pontos 1, 2 ou 3 de acordo com a importância (gravidade) de cada uma. Na ocorrência de “*”: a) se houver apenas o “*” deve-se analisar cuidadosamente a questão e os fatores que influenciam na execução, contabilizando a nota zero; b) na ocorrência de um número seguido de um “*” deve-se considerar a pontuação atribuída de acordo com a especificação do sistema de fundação ou o tipo solo.

Esse método de pontuação é baseado em outros sistemas que atribuem um determinado peso de acordo com a incidência ou o tipo de problema encontrado. Tem-se como exemplo o DNIT 008/2003 - PRO, que atribui subjetivamente uma nota de 0 a 5, em função da exigência de manutenção no decorrer da avaliação do pavimento, retratando a condição de conforto ao rolamento, assim o ICPF (Índice de Condição de Pavimento Funcional) final é resultado do cálculo de uma média dos valores atribuídos por dois ou mais avaliadores. No caso do Programa de Controle de Qualidade para Fundações, a autora deste trabalho estabeleceu a seguinte pontuação, conforme Tabela 3.

Tabela 3 - Peso da pontuação atribuída.

GRAVIDADE	CONCEITO	DESCRIÇÃO
1	Baixo	Caso não executado ou executado incorretamente em relação ao parâmetro de controle de qualidade e às normas técnicas, este não influenciará diretamente na eficiência do produto final.
2	Médio	Caso não executado ou executado incorretamente em relação ao parâmetro de controle de qualidade e às normas técnicas, este poderá resultar em problemas consideráveis no produto final.
3	Alto	O não cumprimento ou o cumprimento inadequado conforme parâmetro de qualidade e normas técnicas resultará em sérios problemas, comprometendo ou condenando o produto final.

Fonte: AUTORA, 2016.

Depois de ser realizada a inspeção e de respondidas as fichas, é feita a somatória dos pontos quando a execução for “conforme” e se caso houver “inconformidade” ou alguma observação específica, como citado anteriormente, faz-se uma análise e é atribuída a nota zero para a questão. De acordo com a somatória desses pontos é possível então, atribuir um parâmetro de aprovação ou reprovação para cada uma das fichas.

Para a avaliação dos elementos de fundação e cada um dos itens, leva-se em consideração além das normas ABNT NBR ISO 9000/2000, 9001/2000 e 9004/2000 que compreendem a qualidade propriamente dita, outras normativas específicas da construção civil e fundações:

- ABNT NBR 5738/2003: Concreto - Procedimento para Moldagem e Cura de Corpos de Prova;
- ABNT NBR 6122/1986: Projeto e Execução de Fundações;
- ABNT NBR 6484/2001: Solo-Sondagens de Simples Reconhecimento com SPT - Método de ensaio;
- ABNT NBR 7250/1982: Identificação e Descrição de Amostras de Solo Obtidas em Sondagem de Simples Reconhecimento dos Solos;
- ABNT NBR 8036/1983: Programação de Sondagens de Simples Reconhecimento dos solos para Fundações de Edifícios;
- ABNT NBR 13208/1994: Estacas: Ensaio de Carregamento Dinâmico;
- ABNT NBR 14931/2004: Execução de Estruturas de Concreto – Procedimento;
- ABNT NBR NM 67/1998: Concreto - Determinação da Consistência pelo Abatimento do Tronco de Cone;
- NR 06/2015 - Equipamento de Proteção Individual - EPI;
- NR 18/2015 - Condições e Meio-Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção.

Por meio do estudo destas normas, a autora deste trabalho estabeleceu um critério para a execução de cada etapa da fundação, a partir da padronização dos processos, monitoramento das atividades, realização de registros garantindo a rastreabilidade das etapas, implantação de ações corretivas e revisão do sistema de qualidade aplicado, mantendo e garantindo sua eficiência.

Além das diretrizes estabelecidas em relação à sequência de execução, métodos e materiais mais apropriados, dimensionamento e ensaios, a autora considerou, para a somatória final, fatores como a limpeza do ambiente, qualificação dos envolvidos e uso de equipamentos de segurança. A soma de todos esses itens básicos constitui e concede o mínimo de qualidade

possível para a eficiência de um elemento de fundação, resultando na aprovação ou reprovação do mesmo, de acordo com a Tabela 4.

Tabela 4 - Parâmetro para aprovação do elemento de fundação.

ETAPA	PONTUAÇÃO MÍNIMA ACUMULADA	RESULTADO
SONDAGEM	≥ 27 PONTOS	Ensaio de sondagem aprovado. Liberada a execução das próximas etapas do projeto.
	< 27 PONTOS	Ensaio de sondagem reprovado, pois não seguiu as mínimas condições de dimensionamento e execução especificadas na norma. Recomenda-se a análise do laudo de sondagem e estudo da possibilidade de ser realizado outro ensaio de investigação.
PROJETO DE FUNDAÇÃO	≥ 18 PONTOS	Projeto de fundação aprovado. Liberada a execução das próximas etapas do projeto.
	< 18 PONTOS	Projeto de fundação reprovado. Deve-se considerar a reanálise da estrutura e das cargas com o redimensionamento do sistema de fundação.
EXECUÇÃO SAPATA	≥ 28 PONTOS	Execução da sapata aprovada. Liberada a execução das próximas etapas do projeto.
	< 28 PONTOS	Execução da sapata reprovada provisoriamente até que sejam tomadas as devidas providências tanto em relação à correção das medidas dos executores, bem como a adoção de ação reparatória ou reforço estrutural.
EXECUÇÃO ESTACA	≥ 35 PONTOS	Execução da estaca aprovada. Liberada a execução das próximas etapas do projeto.
	< 35 PONTOS	Execução da estaca reprovada provisoriamente até que sejam tomadas as devidas providências tanto em relação à correção das medidas dos executores, bem como a adoção de ação reparatória ou reforço estrutural.
EXECUÇÃO TUBULÃO	≥ 44 PONTOS	Execução do tubulão aprovada. Liberada a execução das próximas etapas do projeto.
	< 44 PONTOS	Execução do tubulão reprovado provisoriamente até que sejam tomadas as devidas providências tanto em relação à correção das medidas dos executores, bem como a adoção de ação reparatória ou reforço estrutural.

Fonte: AUTORA, 2016.

São determinados valores mínimos, pois, alguns sistemas de fundação apresentam particularidades que devem ser consideradas apenas se estes forem utilizados. A partir da pontuação atribuída e da somatória realizada, compara-se aos valores mínimos disponíveis na Tabela 4. São consideradas as observações reais realizadas, dependendo do tipo de sistema adotado ou o solo local. De acordo com o resultado, é necessário verificar as informações também dispostas nesta tabela, seja na liberação do elemento para as próximas etapas da obra,

ou na análise das incoerências, redimensionamento ou suspensão das atividades dependendo da precariedade dos resultados obtidos.

4.2 APLICAÇÃO DO PROGRAMA DE QUALIDADE

Para provar a eficiência do Programa de Qualidade, os questionários de controle de serviço foram aplicados na obra X e na obra Y.

4.2.1 Controle de Qualidade na Execução

4.2.1.1 Obra X

A obra X consiste em um edifício de 5 pavimentos em alvenaria estrutural com blocos de concreto e alvenaria convencional, localizado na Avenida Carlos Gomes, Cascavel - PR. As estacas são escavadas com trado mecânico, com profundidades entre 11 e 14 metros, sem presença de nível d'água no trecho correspondente ao elemento de fundação, com diâmetros de 30, 40 e 50 cm.

Foi acompanhado o processo de execução desse tipo de fundação, que corresponde a 100% do tipo de sistema adotado, sendo que a amostra analisada foi de 13% do número total de estacas. Levando em consideração que os elementos são analisados individualmente, o número de amostras não influencia na eficiência do programa e na qualidade do produto final.

A folha de verificação de serviço para a execução, segundo o Apêndice A, foi estudada conforme segue. O Anexo A corresponde a outro modelo de acompanhamento da execução presente na bibliografia, que pode ser utilizado juntamente com as fichas deste Programa de Qualidade. Todavia, esta não foi utilizada, pois o trabalho tem por objetivo a comprovação da eficiência do Programa de Controle de Qualidade criado pelo autor.

As questões 1, 2 e 3 que correspondem a utilização de EPI's e da qualificação ou experiência do engenheiro e equipe de apoio estão em conformidade, já que a empresa disponibiliza todos os EPI's necessários para os funcionários executarem essa atividade

(uniforme, botina, capacete, protetor auricular, luvas). Durante todo o serviço havia um engenheiro responsável direcionando a equipe, conferindo as medidas e acompanhando os processos.

Na sequência, as questões 4 e 5 tratam das características dos elementos de fundação a serem executados. De acordo com o projeto, as estacas são do tipo escavadas com trado mecânico, de diâmetros 30, 40 e 50 cm. Antes do solo ser escavado, o engenheiro conferiu a locação do elemento e o diâmetro do trado utilizado, conforme Figuras 15 e 16.

Figura 15 – Locação (indicação) dos elementos.



Fonte: AUTORA, 2016.

Figura 16 - Conferência das medidas.



Fonte: AUTORA, 2016.

As questões 6 e 8 foram julgadas como não conformes, pois não foi feito o controle de prumo pelos funcionários nem pelo engenheiro responsável e o solo superficial da escavação não foi removido de perto do furo conforme Figura 17. Entretanto, em virtude da previsão de impossibilidade da realização da concretagem naquelas condições, foi feita a remoção do solo horas depois. A cota de paralisação das estacas, abordada na questão 7, foi executada corretamente, já que houve a conferência da profundidade da escavação pelos funcionários e depois verificada pelo engenheiro, conforme Figura 18.

Figura 17 - Elemento realizando a escavação.



Fonte: AUTORA, 2016.

Figura 18 - Verificação da profundidade.



Fonte: AUTORA, 2016.

As questões 9, 10 e 11 não se aplicam, pois o diâmetro das estacas inspecionadas era de 30 cm com profundidade entre 11 e 14 m e ainda não foi desenvolvido um sistema eficiente para remoção e compactação do solo nessas condições. Ainda de acordo com o laudo de sondagem, o solo local da obra não necessita de proteção ou revestimento das paredes escavadas e não foi encontrada nenhuma camada de solo, rocha rígida e de matacões.

A utilização de espaçadores corresponde à questão 13, sendo que sua colocação na armadura foi realizada de forma correta, de acordo com a Figura 19. Os espaçadores utilizados na armadura de estacas servem para que o aço não entre em contato com a parede da estaca.

Antes do posicionamento da armadura, foi feita a limpeza do solo superficial excedente e colocado uma espécie de escora para facilitar a introdução da armadura no furo e evitar que a mesma entre em contato com o fundo da escavação, conforme Figura 20, garantindo as medidas dispostas no projeto.

Figura 19 - Posicionamento dos espaçadores.



Fonte: AUTORA, 2016.

Figura 20 - Posicionamento da armadura.



Fonte: AUTORA, 2016.

Os processos relacionados às questões 13, 14 e 15 só poderão ser executados caso ocorra a liberação por parte do engenheiro responsável, estando em conformidade todas as questões anteriores. As três questões correspondem à concretagem, desde a chegada do caminhão com a realização do *Slump Test* e moldagem do corpo de prova, conforme as Figuras 21 e 22.

Figura 21 - Moldagem dos corpos-de-prova.



Fonte: AUTORA, 2016.

Figura 22 - Realização do *Slump Test*.

Fonte: AUTORA, 2016.

A questão 16 corresponde à paralisação da concretagem, o que nas estacas acompanhadas não ocorreu, sendo que antes mesmo do concreto do primeiro caminhão esgotar, já havia outro aguardando. As questões 17 e 19 referem-se à junta de dilatação na divisa e às estacas pré-moldadas, respectivamente. Como nenhuma das três questões corresponde às características desta obra não houve a aplicação dessas questões.

A concretagem dos elementos estruturais foi feita entre 3 e 4 horas após a escavação dos mesmos, com acompanhamento do engenheiro responsável, de acordo com a Figura 23, estando então coerentes com a tolerância de um dia.

A questão 18 é referente à preparação da cabeça das estacas, com a remoção do concreto contaminado do topo. Entretanto esse processo só será realizado quando começarem o levantamento da superestrutura, ou seja, esta questão ficou em aberto para que quando o processo seja retomado, este seja devidamente analisado e respondido. Para a análise do resultado, entretanto, foi considerado como não conforme. Na Figura 24 observa-se a cabeça das estacas.

Figura 23 - Concretagem do elemento.



Fonte: AUTORA, 2016.

Figura 24 - Cabeça da estaca não preparada.



Fonte: AUTORA, 2016.

A questão 20 corresponde à utilização de materiais adequados em todo o processo, desde a escavação, montagem da armadura até a concretagem, sendo que nos elementos inspecionados, todos estavam em conformidade. Já as questões 21, 21.1 não se aplicam, pois a empresa informou que não será realizado nenhum tipo de ensaio de prova de carga ou de integridade nesta obra. Segundo o Programa de Controle, considerando que se trata de 154

estacas, em obras de grande porte com mais de 100 estacas, deve-se realizar ensaio de prova de carga, estando a questão 22 em não conformidade com o Sistema.

A Tabela 5 apresenta os resultados obtidos na análise de uma estaca, também apresentado de forma completa no Apêndice A.

Tabela 5 - Resultado do estudo de caso da execução da Obra X.

QUESTÃO	S	N	NA	SC
1	X			1
2	X			3
3	X			2
4	X			3
5	X			3
6		X		0
7	X			3
8		X		0
9			X	0
10			X	0
11			X	0
12	X			3
13	X			2
14	X			3
15	X			2
16		X		0
17			X	0
18		X		0
19			X	0
20	X			3
21			X	0
21.1			X	0
22		X		0
SOMA				28

Fonte: AUTORA, 2016.

Pode-se constatar que, sendo 35 o número mínimo de pontos para uma condição razoável de qualidade, o elemento de fundação analisado obteve pontuação 28, já que houve 2 não conformidades de 2 pontos cada e 1 de 3 pontos.

Assim, de acordo com a Tabela 4, o elemento de fundação inspecionado teve sua execução reprovada provisoriamente, pois não atingiu o mínimo estipulado pelo Programa de Controle amparado pelas normas técnicas. Para ter sua execução liberada devem ser tomadas algumas providências.

Considerando os resultados obtidos na inspeção e posteriormente calculados e comparados com o mínimo estipulado, deve-se prosseguir com a aplicação de uma ação corretiva.

a) Falta de limpeza do solo superficial excedente:

Apesar da grande quantidade de solo proveniente das escavações depositados próximo aos furos, depois de algumas horas o mesmo foi removido. A partir disso havia uma retro-escavadeira disponível para a remoção do solo superficial imediatamente após a escavação. Assim sendo, este problema foi solucionado logo quando verificado e informado ao proprietário da empresa.

b) Falta de controle de prumo do elemento estrutural:

Segundo Wiebbelling (2014) a execução desse processo evita o surgimento de excentricidades de carga ou elementos de porte inferior ao necessário, podendo ocorrer recalques e ruptura do elemento de fundação por flexo-compressão.

O reparo consiste no reforço de fundação através de estacas Mega. Caso o problema envolva a ruptura dos elementos estruturais devido a esforços de flexo-compressão e não utilização de área de aço necessária para as solicitações, deve-se macaquear a estrutura e apoiá-la em nova fundação a ser realizada. Dependendo do grau do problema (recalque) a estrutura pode ser condenada.

Como a falta de controle de prumo foi verificada no início da execução da fundação, nas 10 primeiras estacas, sendo avisado o dono da empresa desta falha, o prumo voltou a ser conferido. No caso desta edificação se, por acaso, vier a aparecer alguma patologia na estrutura, possivelmente será resultado desse problema. Entretanto poderá ser tratado somente depois da edificação concluída e de ser comprovado o surgimento das patologias.

c) Falta de preparação da cabeça da estaca

Após a estaca executada deve-se proceder com a preparação da cabeça da mesma, isso porque o concreto do último trecho é contaminado (segregação do material). Em virtude disso, é feita a concretagem do elemento acima da cota (nível), para que depois seja removida por meio de rompedores e ponteiros. Como os elementos analisados não haviam chegado nesta fase, não houve necessidade de reforço ou qualquer outra adequação.

d) Não realização do ensaio de prova de carga

Em obras com mais de 100 estacas deve-se realizar ensaio de prova de carga.

Como depois da realização da inspeção houve o reparo desses pontos apresentados, a obra X teve sua execução aprovada. Entretanto, para fins de análise do resultado foi apresentada apenas a primeira observação do processo, no qual o resultado foi de reprovação.

4.2.1.2 Obra Y

A obra Y consiste em um edifício de 15 pavimentos a ser realizado em alvenaria convencional, localizado na Rua Haroldo Hamilton, Toledo – PR. O sistema de fundação utilizado na execução foi Hélice Contínua Monitorada, com profundidades entre 20 e 28 metros, com presença de nível d'água e diâmetros de 50 e 60 cm.

Foi acompanhado o processo de execução desse tipo de fundação, que corresponde a 100% do sistema adotado, sendo que a amostra verificada equivale a 9% do número total de estacas. Levando em consideração que os elementos são analisados individualmente, o número de amostras não influencia na eficiência do programa, bem como na qualidade do produto final.

A folha de verificação de serviço para a execução, segundo o Apêndice B, foi analisada conforme segue. O Anexo A corresponde a outro modelo de acompanhamento da execução presente na bibliografia, que pode ser utilizado juntamente com as fichas deste Programa de Qualidade, mas que nesse caso, não foi usada.

O uso de EPI's e o acompanhamento e inspeção do serviço por um engenheiro ou responsável técnico compreendem as questões 1, 2 e 3. Todos os funcionários utilizaram os equipamentos de proteção individual durante todo o processo. Dois engenheiros acompanhavam a execução do elemento de fundação, controlando a locação e o restante da atividade. Portanto, as etapas que correspondem a essas questões foram executadas corretamente.

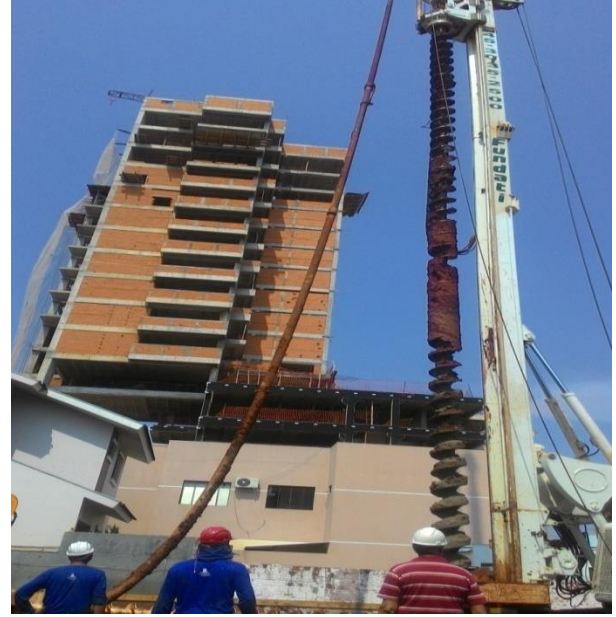
Apesar de tão importante quanto a execução de fundações com trato mecânico, o processo da hélice contínua envolve uma maior equipe de trabalho e um monitoramento mais minucioso. Um dos motivos se dá pela necessidade da presença do caminhão de concreto, do caminhão com a bomba injetora e de um carro guia contendo a torre metálica com guincho, mesa rotativa de acionamento hidráulico, trado contínuo, bomba de injeção de concreto, mangote de acoplamento da bomba e a bomba d'água, verificado nas Figuras 25 e 26.

Figura 25 - Hélice Contínua Monitorada.



Fonte: AUTORA, 2016.

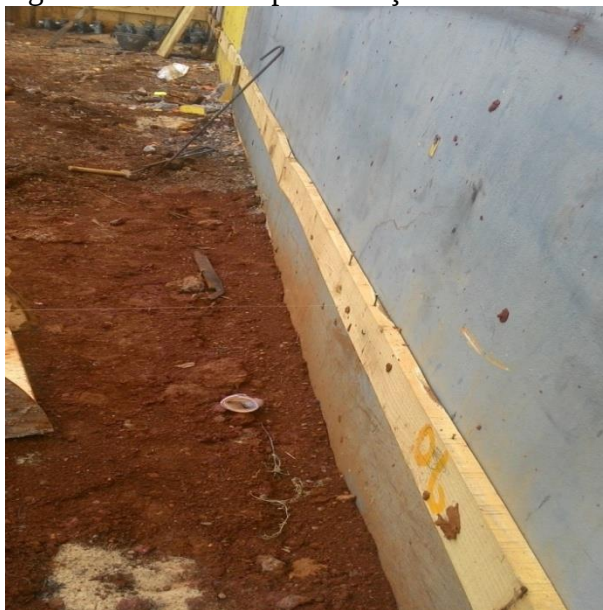
Figura 26 - Hélice Contínua.



Fonte: AUTORA, 2016.

As questões 4 e 5 correspondem ao tipo de fundação executada, sendo esta correspondente ao projeto, assim como sua dimensão e geometria. O projeto de fundação disponível no canteiro de obras foi seguido e conferido durante todas as etapas da execução, estando assim o tipo, locação, dimensão e geometria em conformidade com o projeto. Foi utilizado o gabarito e linha para a locação dos elementos no decorrer do processo, verificado nas Figuras 27 e 28.

Figura 27 - Gabarito para locação.



Fonte: AUTORA, 2016.

Figura 28 - Verificação da profundidade.



Fonte: AUTORA, 2016.

Como este tipo de fundação é realizado com monitoramento, não houve a necessidade do controle do prumo, pois o próprio equipamento faz as verificações. O equipamento também controla a profundidade da estaca, pois nessa situação não é possível que o engenheiro verifique o fundo do furo, pois a concretagem é feita simultaneamente a escavação. Entretanto, depois da concretagem é possível verificar a diferença entre a cota da escavação e a cota de assentamento, levando em consideração a altura da armadura.

A estaca observada é identificada como “P4 C”, pois pertence a um grupo de 4 estacas. A estaca P4 C possui 25 m de profundidade, com armadura de altura 2,47 m e concreto com altura de 2,97 m, ou seja, tanto a locação das estacas como a conferência das medidas das cotas, correspondente à questão 7, estando em conformidade com o Programa de Controle de Qualidade.

Diferentemente da obra X analisada, o solo superficial foi removido no momento em que era retirado do furo, como visto na Figura 29, atribuindo conformidade à questão 8. Já as questões 9, 10 e 11 não foram utilizadas em virtude do tipo de sistema de fundação adotado.

O equipamento perfura o solo, segundo as características do terreno em relação ao torque continuamente, até atingir a profundidade desejada e indicada em projeto. A torre é formada por uma haste com uma hélice espiral, que em seu interior apresenta um tubo para o bombeamento do concreto. A hélice perfura o solo e, depois disso, se inicia a remoção com uma baixa velocidade, concretando o elemento de fundação.

Neste sistema, a concretagem é feita anteriormente ao posicionamento da armadura, entretanto os ensaios para rastreabilidade do concreto foram realizados para cada caminhão, segundo a Figura 30, estando a questão 13 em conformidade com o Sistema. Embora a Figura 24 demonstre a utilização de espaçadores, estes foram adaptados, fazendo uso de um material alternativo.

Todavia como a armadura possui 2,47 metros de altura, a utilização dos espaçadores não influencia na qualidade e na eficiência do sistema. Caso esta possuísse mais de 4 metros, seriam necessários os espaçadores para que a armadura não encostasse nas paredes da escavação, como os utilizados na obra X. Assim, apesar desta adaptação a questão 12 está em conformidade.

Figura 29 - Moldagem dos corpos-de-prova.



Fonte: AUTORA, 2016.

Figura 30 - Utilização de espaçadores.



Fonte: AUTORA, 2016.

Terminada a concretagem, o equipamento é afastado do furo e com o auxílio da retro-escavadeira a armadura é içada para seu posicionamento, conforme Figura 31. Na Figura 32 verifica-se a colocação da armadura no furo, auxiliada pela retro-escavadeira e pela equipe de apoio. A armadura desse tipo de fundação é afunilada em uma das extremidades para que seja de fácil colocação. As questões 14 e 15, correspondentes a concretagem logo após a perfuração e contando com a presença de um engenheiro durante a esse processo, estão em conformidade. Os processos relacionados às questões 13, 14 e 15 só poderão ser executados caso ocorra a liberação por parte do engenheiro responsável, estando em conformidade todas as questões anteriores.

Figura 31- Içamento da armadura.



Fonte: AUTORA, 2016.

Figura 32 - Posicionamento da armadura.



Fonte: AUTORA, 2016.

Neste sistema, a introdução da armadura é complexa e na maioria das vezes, necessita-se do auxílio de um cilindro para a completa penetração no solo, conforme Figuras 33 e 34. Na parte inferior juntamente deste fez-se o uso de uma coroa na base para o correto posicionamento do cilindro, buscando não danificar os processos do elemento de fundação já executados.

Em razão do seu peso elevado, a retro-escavadeira levanta o cilindro e o posiciona sobre o furo, de maneira que a equipe garanta a colocação exata do mesmo sobre a coroa da base. Depois de devidamente disposto, o equipamento pressiona cilindro para baixo, a fim de introduzir completamente a armadura, de acordo com o projeto.

Figura 33 - Posicionamento do cilindro.



Fonte: AUTORA, 2016.

Figura 34 - Introdução total da armadura.



Fonte: AUTORA, 2016.

Utiliza-se outro cilindro para a remoção do concreto excedente, com a finalidade de atingir a cota projetada, visto na Figura 35. Este, por sua vez, tem diâmetro inferior que o utilizado anteriormente, tendo duas funções básicas. Na Figura 36 é verificada a limpeza deste cilindro, com o descarte do material excedente.

Figura 35 – Cilindro auxiliar.



Fonte: AUTORA, 2016.

Figura 36 - Limpeza do cilindro.



Fonte: AUTORA, 2016.

Não houve paralisação da concretagem e não teve a necessidade de construção de juntas de trabalho em divisas (questões 16 e 17). Já a questão 19 não se aplica, pois se trata de estaca pré-moldada, bem como não foi realizado ensaio de integridade, que compreende as questões 21 e 21.1. Foram utilizados os materiais determinados em projeto, estando a questão 20 em conformidade.

Como a obra Y é de grande porte e possui 125 estacas faz-se necessária realização do ensaio de prova de carga, porém não foi realizado, estando a questão 22 em não conformidade com o sistema de Controle.

A questão 18 corresponde a preparação da cabeça da estaca. Nas estacas do tipo hélice contínua a concretagem é feita até a superfície do terreno, ou seja, a coluna de concreto é a mesma do bloco de coroamento. Pode-se demolir o concreto nas primeiras idades, entretanto, nesta situação foi feita a remoção do concreto fresco, com o uso do cilindro, citado anteriormente, ou seja, no que diz respeito a preparação da cabeça da estaca, houve conformidade.

A Tabela 6 apresenta os resultados obtidos na análise de uma estaca, também apresentado de forma completa no Apêndice B.

Tabela 6 - Resultado do estudo de caso da execução da Obra Y.

QUESTÃO	S	N	NA	SC
1	X			1
2	X			3
3	X			2
4	X			3
5	X			3
6	X			2
7	X			3
8	X			2
9			X	0
10			X	0
11			X	0
12	X			3
13	X			2
14	X			3
15	X			2
16		X		0
17			X	0
18	X			3
19			X	0
20	X			3
21			X	0
21.1			X	0
22		X		0
SOMA				35

Fonte: AUTORA, 2016.

Pode-se constatar que, sendo 35 o número mínimo de pontos para uma condição razoável de qualidade, o elemento de fundação analisado obteve pontuação 35, tendo sua execução aprovada conforme o parâmetro estipulado neste Programa de Controle de Qualidade. Entretanto, recomenda-se a realização do ensaio de prova de carga para a comprovação da eficiência do elemento de fundação.

4.2.2 Controle de Qualidade na Sondagem

A obra X teve sua investigação geotécnica realizada por uma empresa diferente da que executou a fundação. O responsável pelo acompanhamento da sondagem e preenchimento da ficha foi o engenheiro que realizou as fundações, pois a coleta dos dados para a elaboração deste trabalho teve início no mês de agosto e a sondagem em questão, em março do mesmo ano, não sendo possível a verificação do processo pelo autor. Entretanto foi realizada uma análise dos dados fornecidos pelas duas empresas envolvidas em relação ao Programa de Controle de Qualidade.

Assim sendo, o estudo descrito neste tópico é baseado nas informações disponibilizadas pelas empresas envolvidas no processo somente para fins de análise, de forma subjetiva, em virtude da impossibilidade do acompanhamento pelo autor, ou seja, na prática, a inspeção e preenchimento das fichas devem ser realizados pela mesma pessoa e no momento exato da realização da atividade, obrigatoriamente.

De acordo com o engenheiro todo o processo foi realizado por profissionais habilitados, experientes e qualificados, acompanhado pelo mesmo, ou seja, as questões 1, 2 e 3 estão em conformidade com o Programa.

Considerando que, para a realização da investigação geotécnica, a área abordada corresponde a cerca de 700,00 m², o número de furos de sondagem, neste caso, equivale a 1 para cada 200 m², ou seja, arredondando, são 4 furos de sondagem distribuídos em diferente alinhamento, estando em conformidade com o laudo apresentado nos Anexos B, C e D e a NBR 8036 (ABNT, 1983). Portanto, de acordo com o projeto de cargas e o projeto arquitetônico verificado na obra em comparação à locação dos furos de sondagem, constata-se que a investigação geotécnica está em conformidade às características dos projetos e ao Programa de Controle de Qualidade.

Por exemplo, o furo SPT 2 foi realizado num ponto estratégico do terreno, próximo à alguns dos pilares mais carregados P15 e P28, correspondentes ao poço do elevador. Com isso, pode-se atribuir conformidade às questões 4 e 5 do Programa de Controle de Qualidade, que correspondem aos pontos estratégicos de sondagem e ao número mínimo de furos.

De acordo com o engenheiro, foi solicitado pelo contratante (construtora) que os furos atingissem a cota máxima de 20 metros de profundidade. A amostragem foi do tipo Terzagui Peck, sendo as medidas de resistência à penetração igual a 30 cm do amostrador, cravado a 45 cm e contabilizando os golpes para a cravação de cada trecho de 15 cm. Foi verificada e controlada a altura do martelo, bem como seu peso. Assim, as questões 6, 7, 8 e 9 estão de acordo com o Programa de Controle de Qualidade e NBR 6484 (ABNT, 2001).

Já a questão 10 faz referência a amostra obtida, armazenada e identificada. Estas, por sua vez, foram devidamente preparadas e analisadas pela empresa de sondagem, segundo os Anexos B, C, D e E.

Os NSPT obtidos demonstram que o terreno apresenta uma camada de argila siltosa com consistência mole a rija no primeiro trecho da amostragem, entre os 8 e 11 metros de profundidade, com NSPT variando de 3 a 9. Já o trecho seguinte, apresenta uma camada de argila siltosa com consistência rija a dura e NSPT em cerca de 11 a 29, chegando ao limite dos 20 m de profundidade. Apenas no furo 1 foi constatado antes do limite dos 20 m de

profundidade uma camada de argila vermelha com consistência rija seguida por uma camada de argila marrom escura também de consistência rija, com NSPT variando de 23 a 30 nessas últimas 2 camadas. O nível d'água foi observado entre os 14 e 15 metros de profundidade.

Embora a presença do nível d'água no terreno, observado na sondagem, as estacas foram perfuradas em profundidades menores, não comprometendo a eficiência do sistema em relação a presença de água, ou seja, o sistema de fundação adotado, no caso o de estaca escavada, não tem sua eficiência comprometida apesar da presença de nível d'água na sondagem.

De acordo com a análise subjetiva, a Tabela 7 e Apêndice C demonstram a pontuação da sondagem na obra X.

Tabela 7 – Resultado do estudo de caso da sondagem da Obra X.

QUESTÃO	S	N	NA	SC
1	X			3
2	X			3
3	X			2
4	X			3
5	X			3
6	X			2
7	X			2
8	X			3
9	X			3
10	X			3
SOMA				27

Fonte: AUTORA, 2016.

Assim, considerando todos os processos verificados, dados obtidos e resultados avaliados, pode-se concluir que, de acordo com as informações oriundas do engenheiro responsável pelas fundações que acompanhou a sondagem, esta teve sua execução aprovada. Entretanto deve-se considerar que este resultado é oriundo da análise indireta dos dados, pelo fato de que não foi o autor quem aplicou o Programa de Qualidade na sondagem desta obra.

4.2.3 Controle de Qualidade do Projeto

Da mesma forma que a sondagem, o acompanhamento da elaboração do projeto não foi acompanhado pelo autor. Como a empresa não disponibilizou o projeto estrutural, as

cargas da estrutural e o projeto arquitetônico, estes não puderam ser estudados e a ficha integralmente respondida. Todavia alguns pontos podem ser estudados:

Questão 1, quanto a qualificação do engenheiro responsável pelo projeto: de acordo com informações levantadas, a empresa responsável pela execução da fundação da obra X possui profissionais especializados na área de Engenharia Civil e Geotecnia, estando em conformidade com o Programa de Controle de Qualidade.

Questões 2, 4 e 7, quanto a relação entre o projeto estrutural e o porte da obra, dimensionamento dos elementos estruturais e armadura, respectivamente: apesar de não possuir o projeto estrutural, pode-se ter uma referência a partir da distribuição das estacas em planta, da planta de cargas e do tipo de estrutura adotada, que se trata da utilização de alvenaria convencional e alvenaria estrutural de blocos de concreto. Assim, pode-se concluir que, levando em consideração o número de estacas, seus diâmetros e profundidades, o tipo de fundação condiz com o porte da obra. Quanto as cargas não é possível avaliar sem o detalhamento integral das mesmas e nem determinar se houve o correto dimensionamento dos elementos e da armadura, portanto as questões 2, 4 e 7 são classificadas como “inconforme”.

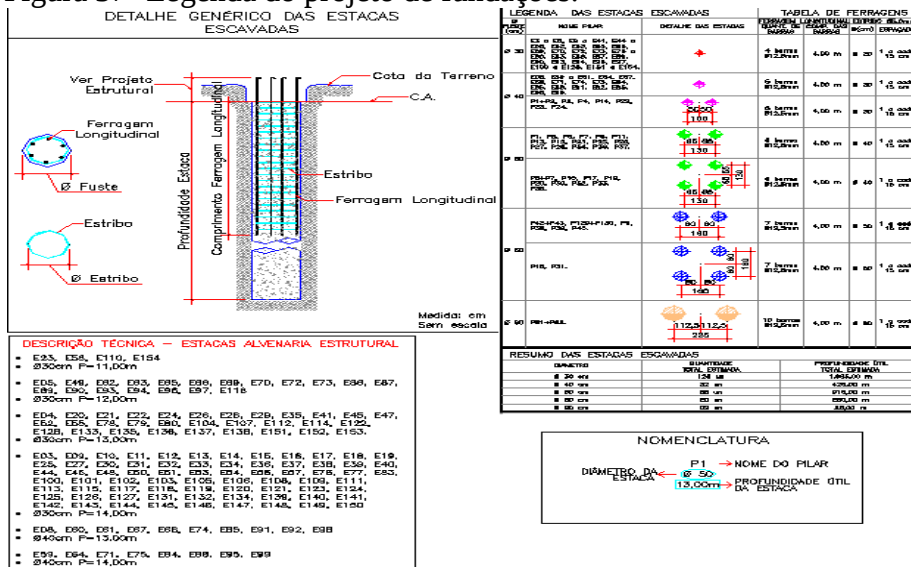
Questão 3: Conforme citado anteriormente e verificado nos Anexos há a presença de nível d'água no terreno, porém as profundidades adotadas não atingem essa cota. Existe nível d'água, mas a cota de apoio da ponta da estaca é superior, formada por uma camada de argila rijas, na maioria dos casos. Para estas condições, a questão 3 não se aplica.

Questão 5, quanto a distância entre os elementos de fundação: De acordo com a NBR 6122 (ABNT, 2010), para estacas a distância entre uma estaca e outra deve ser de 2,5 a 3 vezes o seu diâmetro. Como visto no projeto de locação das estacas, este quesito está em conformidade ao programa de controle de Qualidade e a normativa citada.

Questões 6 e 8, quanto a presença de aterro e utilização de elementos muito esbeltos: em aterros menores de 3 m deve-se adicionar a altura do aterro ao comprimento da armadura e da estaca e em aterros maiores a 3 m, deve-se redimensionar a fundação. Porém, na obra X não há presença de aterro e o elemento de fundação não é muito esbelto, como por exemplo, estacas metálicas, portanto as questões 6 e 8 não se aplicam.

Questão 10, quanto ao detalhamento do projeto e legenda: No projeto de fundações da obra X é possível verificar, de acordo com a Figura 37, que as informações dispostas são suficientes para a interpretação da locação das estacas e sua execução, estando em conformidade.

Figura 37- Legenda do projeto de fundações.



Fonte: FUNGEO, 2016.

Realizada a análise do projeto de forma subjetiva, da mesma forma que a sondagem, pode-se constatar a pontuação desta etapa conforme Tabela 8 e Apêndice D.

Tabela 8 – Resultado do estudo de caso do projeto da Obra X.

QUESTÃO	S	N	NA	SC
1	X			3
2		X		0
3			X	0
4		X		0
5	X			3
6			X	0
7		X		0
8			X	0
9	X			3
SOMA				9

Fonte: AUTORA, 2016.

Como não se teve acesso a alguns dados fundamentais para a realização exata da análise como, por exemplo, o projeto estrutural, já que a empresa responsável pelo projeto de fundações não pode disponibilizar, o que resultou em uma reprovação desta etapa.

Considerando que este é um estudo realizado indiretamente, pelo fato de que o conferente não esteve presente no processo da elaboração do projeto de fundação, este resultado serve apenas para comprovar a eficiência do Sistema de Controle, ao abordar de forma criteriosa os processos a serem seguidos. Na prática, na ocorrência de uma situação parecida, recomenda-se a reanálise por outro profissional ou em situações extremas, o redimensionamento do projeto de fundações.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Antigamente, a qualidade de um determinado produto era preocupação somente quando o mesmo já estava pronto, ou seja, se o resultado obtido fosse o mesmo que o planejado, ele era destinado ao mercado e, se caso possuísse alguma não conformidade, era prontamente descartado.

Entretanto, com o passar dos anos, constatou-se que o planejamento e o controle dos processos executivos eram fundamentais para que não houvesse tanto desperdício nos diversos setores econômicos. Entende-se que um melhor planejamento do processo e a medição das etapas das atividades proporcionam uma melhoria na qualidade do produto final, seja pelo controle ou supervisionamento, como também pela constatação plausível do erro e possibilidade de que este seja corrigido, evitado ou mesmo extinto nos processos futuros.

De acordo com a NBR ISO 9000 (ABNT, 2000), a busca e implantação da qualidade são de responsabilidade da empresa, que deve optar por uma melhor política de qualidade, levando em consideração a natureza do produto, as etapas produtivas e principalmente o mercado a ser atendido e exigências do consumidor. Para isso, deve-se diligenciar a prevenção dos problemas em vez da detecção e posterior tratamento.

O controle de qualidade na construção civil, entretanto, não está ligado apenas à prevenção de erros e da preocupação com o produto final a ser entregue ao consumidor, mas relaciona, acompanha e fiscaliza todos os processos executivos. A área de fundações tem como principal material de estudo o solo e, em segundo plano, o elemento de fundação. Em virtude do solo ser considerado como algo desconhecido, o controle deste é muito difícil e envolve riscos, que se não identificados, comprometem toda a edificação.

Por outro lado, tem-se o elemento de fundação, que ao contrário do solo, é de conhecimento e gestão do engenheiro, podendo ser dimensionado e executado de acordo com as necessidades de cada evento individual seguindo a normativa e especificações. Isto é, possuir qualificação técnica de Engenharia Civil, discernir o solo e saber como cada elemento de fundação se comporta em relação ao ambiente onde é inserido, é suficiente para que seja garantida a mínima qualidade de uma fundação.

Porém hoje, o diferencial do profissional ou de uma empresa é a busca ininterrupta pela qualidade constante, na realização de treinamentos, contratação de profissionais ou empresas terceirizadas qualificadas e experientes, realização de ensaios durante os processos

de produção, utilização de produtos e materiais apropriados e principalmente pelo planejamento e fiscalização das atividades.

O gerenciamento da qualidade pode ser feito através do uso de ferramentas de controle que possibilitam a melhor detecção, análise e aplicação de ações corretivas nos erros para que estes sejam mapeados, estudados e evitados nos processos seguintes, embasados e amparados pelas especificações das normas técnicas.

Para que as não conformidades detectadas sejam evitadas em situações futuras, são tomadas atitudes corretivas sobre estas. Além dos resultados obtidos com o Diagrama de Ishikawa e as Folhas de Verificação, os dados oriundos deste trabalho constituem também a ferramenta de qualidade PDCA. O ciclo PDCA é a metodologia que garante o controle contínuo das atividades aumentando o nível de qualidade do produto final, constatado neste sistema de programa, depois de aplicadas as outras ferramentas de qualidade. Pode-se constatar que:

- *Plan* (planejar): O planejamento é a parte inicial para a tomada de decisões, estabelecimento de metas e de objetivos sobre o sistema de fundação a ser elaborado ou a sequência executiva das atividades. Neste sistema de controle de qualidade a etapa do planejamento foi concretizada com a elaboração do Manual Simplificado (Apêndice E) de alguns processos executivos, sendo que as partes da análise dos ensaios de sondagem e dimensionamento do projeto são amparadas pelas normativas técnicas e pela literatura existente.
- *Do* (executar): Esta etapa consiste na verificação da aplicação na prática do planejamento e estabelecimento das metas anteriormente realizadas. Como foi feita a análise de obras de empresa de grande porte não sendo possível interferir diretamente no modo de execução, foi verificada apenas a execução seguindo os princípios básicos da boa prática presentes na empresa. Os dados obtidos, porém, foram mapeados e analisados.
- *Check* (verificar): Nesta etapa é feita uma análise entre os parâmetros estabelecidos e os resultados obtidos. Neste programa de qualidade a aplicação se deu pela formulação de Folhas de Verificação de Serviço, que servem de parâmetro para direcionar, não somente o conferente, mas também toda a equipe envolvida, buscando a prática correta e a eficiência do sistema de fundação adotado.
- *Act* (agir): Nesta etapa são avaliados os problemas detectados e tomadas as devidas ações corretivas. Neste programa essa etapa foi feita com a identificação dos erros na

execução dos elementos de fundação, como em um dos casos analisados, com a remoção do solo excedente e controle do prumo, sendo então sugeridas as devidas soluções.

Porém, como o próprio nome diz, esse método consiste em um “ciclo”, ou seja, a aplicação desta ferramenta de qualidade não termina com a ação de correção. Isso porque pode haver a ocorrência de outros problemas no decorrer do tempo, necessitando planejamento de novas metodologias de execução, outras formas de realização das atividades bem como outras correções, tendo como o objetivo a busca constante da qualidade.

A árvore de falhas desenvolvida por Wiebbelling (2014) apontou e discriminou os principais eventos a serem considerados na análise das patologias, explanando os fatores contribuintes para cada situação. Além de darem direcionamento a este trabalho, as informações da árvore também foram utilizadas como possível solução para problemas verificados em um estudo de caso realizado.

O estudo da influência do solo nas fundações e o impacto que isso traz na eficiência do produto final ainda são pouco tratados pela literatura. Todavia, as patologias abordadas foram suficientes para que os objetivos deste trabalho fossem atingidos, uma vez que é possível verificar mais de 100 fatores que levam à patologia e enquadrá-los na árvore de falhas e nos programas de controle utilizados, desenvolvendo assim um Programa de Qualidade para Fundações, que teve sua eficiência comprovada ao ser aplicado em 2 edificações acompanhadas.

Deve-se considerar que este trabalho consiste em um estudo inicial da elaboração e posterior aplicação de um Programa de Controle de Qualidade para Fundações. A aplicação do mesmo em situações reais nos estudos de caso abordados neste trabalho comprovou a eficiência do mecanismo, entretanto com o futuro desenvolvimento do estudo, os valores aqui definidos poderão ter alterações, a fim de se ajustarem melhor à realidade.

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Elaboração de um *software* para o Programa de Qualidade das Fundações, com a análise e coleta de informações de forma mais rápida e eficiente;
- Implantação do Programa de Controle de Qualidade em outros sistemas de fundação;
- Aplicação de outras ferramentas da qualidade nas patologias das fundações;
- Elaboração de um plano de inspeção para fundação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALENCAR, Joana França. **Utilização do Ciclo PDCA para Análise de não Conformidades em um Processo Logístico**. Juiz de Fora, 2008.

ALONSO, Urbano Rodriguez. **Previsão e Controle das Fundações**. São Paulo, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES E GEOTECNIA – ABEF. **Manual de Execução de Fundações e Geotecnia: Práticas Recomendadas**. São Paulo: Pini, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT **NBR 5738: Concreto - Procedimento para Moldagem e Cura de Corpos-de-prova**. Rio de Janeiro, 2003.

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

_____. **NBR 6484: Solo-Sondagens de Simples Reconhecimento com SPT - Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR 6502: Rochas e Solos**; Rio de Janeiro, 1995.

_____. **NBR 7250: Identificação e Descrição de Amostras de Solo Obtidas em Sondagem de Simples Reconhecimento dos Solos**. Rio de Janeiro, 1982.

_____. **NBR 8036: Programação de Sondagens de Simples Reconhecimento dos solos para Fundações de Edifícios**. Rio de Janeiro, 1983.

_____. **NBR 13208: Estacas: Ensaio de Carregamento Dinâmico**. Rio de Janeiro, 1994.

_____. **NBR 14931: Execução de Estruturas de Concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR ISO 9000: Normas de Gestão da Qualidade e da Garantia da Qualidade.** Rio de Janeiro, 2000.

_____. **NBR ISO 9001: Sistemas de Gestão da Qualidade: Requisitos.** Rio de Janeiro, 2000.

_____. **NBR NM 67: Concreto - Determinação Da Consistência pelo Abatimento do Tronco de Cone.** Rio de Janeiro, 1998.

BELUSSO, Anderson.; SCHLOSSER, Thais Vanessa. **Determinação da Eficiência do Ensaio SPT em Diversas Profundidades de Solo na Cidade de Cascavel.** Cascavel, 2015.

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos Solos e suas Aplicações.** Rio de Janeiro: Livros Técnicos E Científicos Editora, 6ª edição, 1988.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT. **Levantamento Visual Contínuo para Avaliação da superfície de Pavimentos Flexíveis e Semirrígidos - Norma DNIT 008/2003 - PRO.** Rio de Janeiro, 2003.

EUGENIO, Alexandre dos Santos. **Sistema de Controle De Qualidade na Construção de Edificações Residenciais: Processo de Atualização de Informações para Evitar Repetição de Falhas Técnicas.** São Paulo, 2008.

HACHICH, Waldemir. **Fundações, Teoria e Prática** / Frederico F. Falconi, José Luis Saes, Régis G. O. Frota, Celso S. Carvalho, Sussumu Niyama. São Paulo: Câmara Brasileira do Livro, 1998.

LAPA, Reginaldo. **Praticando os 5S e Programa 5S,** São Paulo: Qualitymark Editora, 1998.

LIKER, Jeffrey. **O Modelo Toyota, Os 14 Princípios de Gestão do maior Fabricante do Mundo.** São Paulo: Bookman, 2006.

MAGALHÃES, Juliano M. **As 7 Ferramentas Da Qualidade,** 2016.

MILITITSKY, Jarbas. **Patologia das Fundações** / Jarbas Milititsky, Nilo Cesar Consoli, Fernando Schnaid. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

PINTO, Carlos de Souza. **Curso Básico de Mecânica dos Solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

SEBRAE, **Ferramentas Da Qualidade**, 2005. Disponível em: <<http://www.dequi.eel.usp.br/~barcza/FerramentasDaQualidadeSEBRAE.pdf>> Acesso em: 23 de Maio de 2016.

SERPA, **Análise de árvore de falhas – AAF**. Disponível em: <<http://www.portaleducacao.com.br/biologia/artigos/42909/analise-de-arvore-de-falhas-aaf>> Acesso em: 15 de Maio de 2016.

SCHLITTLER, Carlos Alberto. **Ferramentas da Qualidade – Folha de verificação**. Santa Maria, 2013. Disponível em: <<http://koeso.com.br/2013/10/ferramentas-da-qualidade-folha-de-verificacao/>> Acesso: 23 de Maio de 2016.

SILVA, Jane Azevedo. **Apostila de Controle da Qualidade I**. Juiz de Fora, 2006.

VELLOSO, Dirceu. A. **Fundações: critérios de projeto, investigação do subsolo, fundações superficiais, fundações profundas**/Dirceu de Alencar Velloso, Francisco de Rezende Lopes. São Paulo: Oficina dos Textos. 2011.

WIEBBELLING, Vanessa. **Desenvolvimento de Uma Árvore de Falhas de Patologias em Fundações**. Cascavel, 2014.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Aplicação do Programa de Controle de Qualidade na Execução da Obra X.

EXECUÇÃO DAS FUNDAÇÕES EM ESTACA											
Obra: Obra X, localizada na Av. Carlos Gomes, na cidade de Cascavel, Estado do Paraná. (Alvenaria Convencional + Alvenaria Estrutural)											
IDENTIFICAÇÃO DO ELEMENTO DE FUNDAÇÃO: E114 D30cm P=13,0m (Estaca Escavada com Trado Mecânico)					Data: 27/09/2016		Hora: 08h40min				
Empresa Responsável: xxxxxxxx Fund. Geo. LTDA			Responsável Técnico: VINICIUS LORENZI		Equipe de apoio: xxxxxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx						
Conferente: LAUREN ANE DALMAS CEREZA											
DESCRIÇÃO					PARAMETRO		S	N	NA	SC	
1- Os funcionários estão utilizando os EPI's necessários para a atividade?							X			1	
2- A empresa contratada dispõe de um engenheiro responsável atuante e presente durante a execução de todos os elementos de fundação?							X			3	
3- A equipe de execução possui experiência e qualificação no serviço?							X			2	
4- Os elementos de fundação executados foram os mesmos dispostos em projeto?							X			3	
5- Os elementos de fundação foram executados com a dimensão e geometria corretas?							X			3	
6- Foi feito o controle de prumo durante as escavações da fundação?								X		2	
7- A cota de paralisação do elemento de fundação é condizente ao definido em projeto?							X			3	
8- Foi feita a limpeza do solo superficial excedente, evitando tensões não previstas na parede do elemento?								X		2	
9- Se utilizado trado mecânico com grandes diâmetros e pequenas profundidades, foi feita a remoção do solo fofo no fundo do furo, com a compactação da ponta da estaca?									X	2*	
10- Caso o solo seja saturado ou não coesivo, houve proteção (revestimento, lama) da parede da escavação?									X	3*	
11- Se necessária a readequação de projeto na execução da fundação profunda, no caso de aparecimento de matacões ou blocos de solo/rocha rígido, foi informado ao projetista e o mesmo tomou as devidas providências (redimensionamento)?									X	3*	
12- As armaduras foram bem posicionadas utilizando espaçadores?								X			3
13- Foi realizado ensaios de corpo de prova e <i>Slump Test</i> para a rastreabilidade do concreto utilizado no elemento estrutural?							X				2

14-	A concretagem foi feita logo após a perfuração/escavação do solo?		X			3
15-	Foi feito o monitoramento da concretagem dos elementos estruturais da fundação, por um engenheiro ou responsável técnico?		X			2
16-	Houve paralisação durante a concretagem do elemento de fundação?			X		*
17-	Foi executada junta de trabalho entre edificações construídas na divisa?				X	3*
18-	A cabeça do elemento de fundação foi devidamente preparada?				X	3
19-	No caso de estacas pré-moldadas, houve cuidado no manuseio, descarga, colocação e proteção da estaca durante a cravação?					3*
20-	Na execução do elemento estrutural, os materiais utilizados (agregados) foram os determinados em projeto?		X			3
21-	Foi feito algum ensaio de integridade de estaca?				X	3*
21.1	- Caso realize o ensaio de integridade, o mesmo apresentou algum problema de sectionamento?				X	*
22-	Foi realizado ensaio de prova de carga? OBS: Em obras com menos de 100 estacas atribui-se automaticamente 3 PONTOS, pois não é necessária a realização do ensaio nesta situação. Em obras com mais de 100 estacas deve-se realizar o ensaio e caso este não seja feito, perde-se 3 PONTOS.				X	3*
COMENTARIOS (problemas encontrados durante o processo ou observações relevantes verificadas durante a conferência)						
LEGENDA		INSPECIONADO POR: LAUREN ANE D. CEREZA				
S – SIM (Conforme)		ASSINATURA: xxxxxxxxxx				
N – NÃO (Inconformidade)						
NA – NÃO APLICA		AVALIADO POR: LAUREN ANE D. CEREZA				
SC – ÍNDICE DE IMPORTÂNCIA		() APROVADO (X) REPROVADO				
(*) – CASOS ESPECÍFICOS ANALISADOS SEPARADAMENTE						

APÊNDICE B – Aplicação do Programa de Controle de Qualidade na execução da Obra Y.

EXECUÇÃO DAS FUNDAÇÕES EM ESTACA						
Obra: Obra Y, localizada na Rua Haroldo Hamilton, na cidade de Toledo, Estado do Paraná (Alvenaria Convencional)						
IDENTIFICAÇÃO DO ELEMENTO DE FUNDAÇÃO: P4C, D=50cm, P=25,0m, Alt. Concreto=2,97m, Alt. Ferragem=2,47m (Estaca do tipo Hélice Contínua Monitorada)			Data: 20/10/2016	Hora: 08h00min		
Empresa Responsável: ***** Engenharia Geotécnica	Responsável Técnico: Luan A. Maran		Equipe de apoio: xxxxxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxxx			
Conferente: ENG ERNANI MAGNABOSCO LAUREN ANE DALMAS CEREZA						
DESCRIÇÃO			PARÂMETRO			
			S	N	NA	SC
1- Os funcionários estão utilizando os EPI's necessários para a atividade?			X			1
2- A empresa contratada dispõe de um engenheiro responsável atuante e presente durante a execução de todos os elementos de fundação?			X			3
3- A equipe de execução possui experiência e qualificação no serviço?			X			2
4- Os elementos de fundação executados foram os mesmos dispostos em projeto?			X			3
5- Os elementos de fundação foram executados com a dimensão e geometria corretas?			X			3
6- Foi feito o controle de prumo durante as escavações da fundação?			X			2
7- A cota de paralisação do elemento de fundação é condizente ao definido em projeto?			X			3
8- Foi feita a limpeza do solo superficial excedente, evitando tensões não previstas na parede do elemento?			X		X	2
9- Se utilizado trado mecânico com grandes diâmetros e pequenas profundidades, foi feita a remoção do solo fofo no fundo do furo, com a compactação da ponta da estaca?					X	2*
10- Caso o solo seja saturado ou não coesivo, houve proteção (revestimento, lama) da parede da escavação?						3*
11- Se necessária a readequação de projeto na execução da fundação profunda, no caso de aparecimento de matacões ou blocos de solo/rocha rígido, foi informado ao projetista e o mesmo tomou as devidas providências (redimensionamento)?					X	3*
12- As armaduras foram bem posicionadas utilizando espaçadores?						3
13- Foi realizado ensaios de corpo de prova e Slump Teste para a rastreabilidade do concreto utilizado no elemento estrutural?			X			2

14-	A concretagem foi feita logo após a perfuração/escavação do solo?		X			3
15-	Foi feito o monitoramento da concretagem dos elementos estruturais da fundação, por um engenheiro ou responsável técnico?		X			2
16-	Houve paralisação durante a concretagem do elemento de fundação?			X		*
17-	Foi executada junta de trabalho entre edificações construídas na divisa?				X	3*
18-	A cabeça do elemento de fundação foi devidamente preparada?		X			3
19-	No caso de estacas pré-moldadas, houve cuidado no manuseio, descarga, colocação e proteção da estaca durante a cravação?				X	3*
20-	Na execução do elemento estrutural, os materiais utilizados (agregados) foram os determinados em projeto?		X			3
21-	Foi feito algum ensaio de integridade de estaca?				X	3*
21.1-	Caso realizado o ensaio de integridade, o mesmo apresentou algum problema de sectionamento?				X	*
22-	Foi realizado ensaio de prova de carga? OBS: Em obras com menos de 100 estacas atribui-se automaticamente 3 PONTOS, pois não é necessária a realização do ensaio nesta situação. Em obras com mais de 100 estacas deve-se realizar o ensaio e caso este não seja feito, perde-se 3 PONTOS.				X	3*
COMENTÁRIOS (problemas encontrados durante o processo ou observações relevantes verificadas durante a conferência) FUNDAÇÃO EXECUTADA NO SISTEMA HÉLICE CONTÍNUA MONITORADA, O RESULTADO DO MONITORAMENTO FORNECIDO PELO COMPUTADOR FOI ANALISADO PELO ENGENHEIRO RESPONSÁVEL.						
LEGENDA S – SIM (Conforme) N – NÃO (Inconformidade) NA – NÃO APLICA SC – ÍNDICE DE IMPORTÂNCIA (*) – CASOS ESPECÍFICOS ANALISADOS SEPARADAMENTE		INSPECIONADO POR: _____ ASSINATURA: _____				
		AVALIADO POR: _____ (X) APROVADO () REPROVADO				

APÊNDICE C – Aplicação do Programa de Controle de Qualidade na Sondagem da Obra X.

SONDAGEM						
Obra: Obra X, localizada na Av. Carlos Gomes, na cidade de Cascavel, Estado do Paraná (Alvenaria Convencional + Alvenaria Estrutural)						
Localização da Sondagem: Lote 23-A, Quadra 9					Data: 22/03/2016	
Hora: 09h00min						
IDENTIFICAÇÃO DO FURO: SPT1, SPT2, SPT3 e SPT4						
Empresa Responsável: xxxxxxxx Controle Tecnológico		Responsável Técnico: xxxxxxxxxxxx		Equipe de apoio: xxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxx		
Conferente: Vinicius Lorenzi						
TIPO DE SONDAGEM: () TRADO MANUAL (X) PERCUSSÃO						
DESCRIÇÃO		PARAMETRO				
		S	N	NA	SC	
1- Foi realizado o ensaio de sondagem?		X				3
2- A empresa dispõe de um engenheiro ou responsável técnico capacitado, qualificado e experiente para a realização deste serviço?		X				3
3- A empresa dispõe de uma equipe de apoio com experiência e qualificação no serviço?		X				2
4- Os pontos de sondagem foram realizados em locais estratégicos, ou seja, nas áreas mais carregadas da estrutura?		X				3
5- O número de sondagens seguiu o mínimo especificado pela NBR 8036/1985?		X				3
6- O peso do martelo está de acordo com o padronizado?		X				2
7- Houve controle na altura de queda do martelo?		X				2
8- Houve acompanhamento na contagem de golpes do martelo até a profundidade de 45 cm e intermediariamente para cada 15 cm a cada metro perfurado?		X				3
9- A profundidade da investigação foi suficiente, levando em consideração o tipo de edificação, seu carregamento ou a existência de subsolo?		X				3
10- As amostras de solo foram devidamente coletadas, armazenadas e identificadas?		X				3
COMENTÁRIOS (PROBLEMAS ENCONTRADOS DURANTE O PROCESSO OU OBSERVAÇÕES RELEVANTES VERIFICADAS DURANTE A CONFERÊNCIA) SONDAGEM GEOLOGICA A PERCUSSÃO TIPO S.P.T. (STANDARD PENETRATION TEST), 4 Furos de sondagem no terreno, com extração de amostras do tipo TERZAGUI/PECK. Furos limitados a 20,00 m de profundidade. ENTRETANTO O FURO 2 ENCONTROU-SE IMPENETRÁVEL AO TREPANO DE LAVAGEM NA PROFUNDIDADE DE 16,30 m. O NÍVEL D'ÁGUA ESTÁ A 14,70 m DE PROFUNDIDADE.						
LEGENDA S – SIM (Conformidade) N – NÃO (Inconformidade) NA – NÃO APLICA SC – ÍNDICE DE IMPORTÂNCIA (*) – CASOS ESPECÍFICOS ANALISADOS RESPARADAMENTE		INSPECIONADO POR: Vinicius Lorenzi				
		ASSINATURA: _____				
		AVALIADO POR: LAUREN ANEDALMAS CEREZA (X) APROVADO () REPROVADO				

APÊNDICE D - Aplicação do Programa de Controle de Qualidade no Projeto de Fundações da Obra X.

PROJETO DE FUNDACÕES						
Obra: Obra X, localizada da Av. Carlos Gomes, na cidade de Cascavel, Estado do Paraná (Alvenaria Convencional + Alvenaria Estrutural)						
Responsável pelo Projeto: Vinicius Lorenzi					Data: 30/06/2016	
Conferente: Vinicius Lorenzi						
DESCRIÇÃO		PARAMETRO	S	N	NA	SC
1-	O engenheiro responsável pelo dimensionamento possui capacitação, qualificação e experiência em projeto?		X			3
2-	As cargas do projeto estrutural condizem com o porte da obra?			X		3
3-	Considerando a presença de nível d'água no terreno, existe um sistema de segurança que possibilite a execução da fundação?				X	3*
4-	A fundação foi dimensionada para todos os elementos do projeto?			X		3
5-	A distância entre os elementos estruturais de fundação seguiu a mínima determinada pela NBR 6122/2010?		X			3
6-	Considerando a presença de aterro, foi considerado o efeito da sobrecarga que este exerce sobre as fundações?				X	3*
7-	As armaduras foram dimensionadas considerando todos os esforços, condizente com a boa prática?			X		3
8-	No caso de peças muito esbeltas, foram considerados os efeitos de flambagem (encurvatura), quando submetida a esforços de compressão axial?				X	3*
9-	No projeto, a legenda indica os elementos básicos para execução da fundação? (profundidade, dimensão, geometria, armaduras, etc.)?		X			3
10- Qual o sistema de fundação adotado? ESTACA ESCAVADA MECANICAMENTE						
COMENTARIOS (problemas encontrados durante o processo ou observações relevantes verificadas durante a conferência)						
LEGENDA		INSPECIONADO POR: Vinicius Lorenzi				
S – SIM (Conforme)		ASSINATURA:				
N – NÃO (Inconformidade)						
NA – NÃO APLICA		AVALIADO POR: LAUREN ANE D. CEREZA				
SC – ÍNDICE DE IMPORTÂNCIA		() APROVADO (X) REPROVADO				
(*) – CASOS ESPECÍFICOS ANALISADOS SEPARADAMENTE						

APÊNDICE E - Manual Simplificado de Sondagem, Projeto e Execução.

MANUAL SIMPLIFICADO SONDAGEM, PROJETO E EXECUÇÃO (SAPATA E ESTACA)

O seguinte Manual elaborado pela autora deste trabalho traz, de forma resumida, as diretrizes para a execução de sapatas e alguns tipos de estacas, em virtude da maior utilização desses sistemas de fundação na região Oeste do Paraná. As particularidades da utilização dos equipamentos devem ser verificadas com o fabricante e operador. Os procedimentos de segurança e utilização de EPI's podem ser verificados nas normativas NR 18 - Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria na Construção e NR 06 - Equipamento de Proteção Individual.

1) Investigação geotécnica e projeto

A primeira etapa de qualquer edificação é a realização do planejamento e projeto, considerando o programa de investigação, número de furos de sondagem, profundidade de exploração e capacidade de carga. É necessário a reunião de dados de origem pedológico, geotécnico, geológico e outros, dependendo de cada situação, que são coletados e analisados por profissionais especializados a fim de identificar as características e condições de determinado local.

Mediante a diversa variedade de ensaios e técnicas de determinação das características de cada tipo de solo, o seguinte Manual apresenta apenas as diretrizes para a realização do ensaio preliminar, já que os ensaios complementares dependem das particularidades de cada local e da disponibilidade de equipamentos e laboratórios específicos, que na maioria das vezes são realizados por empresas terceirizadas.

Para a determinação das solicitações ou cargas de projeto devem-se considerar as cargas permanentes e acidentais, além dos efeitos do empuxo, atrito, outras solicitações e principalmente o comportamento de cada tipo de solo.

Tendo posse desses dados, o profissional responsável pela elaboração do projeto calcula as formas em que as cargas serão transferidas, verificando os coeficientes de segurança para ruptura e deformação do solo, por meio de métodos numéricos. A partir disso, são adotados modelos ou correlações empíricas adequadas para a determinação da solução mais viável, com embasamento nas normativas correspondentes.

Neste Manual será apresentada a sondagem de simples reconhecimento de acordo com a NBR 8036 (ABNT, 1983) e pela NBR 6484 (ABNT, 2001), no qual o procedimento inicial se dá pelo estudo da planta baixa da edificação, sendo a investigação distribuída igualmente em toda a área do projeto.

a) Determinação da quantidade de furos de sondagem

Tem-se como parâmetro inicial para o estabelecimento do número de furos de sondagem o seguinte critério:

- 1 furo de sondagem a cada 200m², quando a edificação contiver até 1200m² de área;
- 1 furo de sondagem para cada 400m², se a edificação contiver entre 1200m² e 2400m² de área;
- Acima de 2400m² de área, o número de furos e a distância das sondagens dependerão do acordo feito entre as partes (projetista, empreendedor, engenheiro);
- Na inexistência de planta, para verificar a viabilidade da construção em determinado local, fixa-se a distância mínima de 100m para cada furo de sondagem, com no mínimo 3 furos.
- Se caso o número de sondagens for superior a 3, realizam-se os furos de inspeção cada qual em um alinhamento diferente. A profundidade de cada furo de sondagem depende das características da estrutura, como suas dimensões em planta, cargas atuantes, assim como peculiaridades do solo e topografia local.

Entretanto, o responsável pelo projeto deve ter conhecimento da necessidade de mais furos de sondagem em casos de edificações especiais, relevos e solos característicos, determinando assim a quantidade, distância, profundidade e alinhamento dos furos.

b) Realização do ensaio de SPT

O ensaio consiste na utilização de um tripé, composto por um peso de 65 kgf a 75 cm de altura, possibilitando que um amostrador Terzaghi seja introduzido no solo. O amostrador é fixado a uma haste a ser emendada conforme o amostrador penetra no solo. Emprega-se o trado-concha ou cavadeira manual até a profundidade de 1 m, seguindo a instalação do tubo de revestimento dotado de sapata cortante até essa profundidade.

No decorrer da perfuração, intercaladas às de ensaio e amostragem, utiliza-se trado helicoidal até atingir o nível d'água. Se o avanço da perfuração for inferior a 50 mm após 10

min de operação ou no caso de solo não aderente ao trado, faz-se uso do método de perfuração por circulação de água (lavagem).

Ao atingir a cota de ensaio e amostragem, a composição de perfuração necessita ser suspensa na altura de 0,20 m do fundo do furo, mantendo-se a circulação de água por tempo suficiente, até remoção de todas as impurezas do interior do furo.

Se houver necessidade de descer a composição de perfuração ou fazer a instalação de um novo segmento de revestimento, estes são medidos com 10 mm de erro. Se a parede do furo estiver instável, é obrigatória, para ensaios e amostragens subsequentes, a descida de tubo de revestimento (50 cm do fundo do furo) ou lama de estabilização.

c) Amostragem e SPT

A cada metro de perfuração, a partir de 1 m de profundidade, são colhidas amostras dos solos por meio do amostrador-padrão, descendo livremente no furo de sondagem até ser apoiado no fundo, devendo cotejar a profundidade correspondente com a que foi medida anteriormente. No caso de incoerência (2 cm) entre as duas medidas, retira-se a composição e repete-se a limpeza do furo.

Coloca-se a cabeça de bater e, utilizando o tubo de revestimento como referência, marca-se na haste um segmento de 45 cm dividido em três trechos iguais de 15 cm. Apóia-se o martelo sobre a cabeça de bater, anotando-se a penetração do amostrador no solo. Continua a operação do amostrador-padrão até 45 cm de penetração por sucessivos impactos do martelo padronizado caindo livremente de uma altura de 75 cm. Anota-se o número de golpes necessários à cravação de cada segmento de 15 cm do amostrador-padrão.

Quando a cravação atingir 45 cm, o índice de resistência à penetração N é expresso como a soma do número de golpes requeridos para a segunda e a terceira etapas de penetração de 15 cm, adotando-se os números obtidos nestas etapas mesmo quando a penetração não tiver sido de exatos 15 cm.

Se, com a aplicação do primeiro golpe do martelo, a penetração for maior que 45 cm, o resultado da cravação do amostrador deve ser expresso pela relação deste golpe com a respectiva penetração. Quando a penetração for incompleta, o resultado da cravação do amostrador é expresso pelas relações entre o número de golpes e a penetração para cada 15 cm de penetração.

Se a penetração do amostrador, com poucos golpes, for muito superior aos 45 cm ou quando não puder distinguir nas três penetrações parciais de 15 cm, o resultado da cravação deve ser expresso pelas relações entre o número de golpes e a penetração correspondente.

As amostras devem ser colocadas em recipiente hermético com identificação: designação ou número do trabalho; local da obra; número da sondagem; número da amostra; profundidade da amostra; e números de golpes e respectivas penetrações do amostrador.

Depois de realizado o ensaio de sondagem e caracterizado o solo, deve-se levar em consideração outros fatores, os quais influenciam diretamente do desempenho da edificação: Levantamento planialtimétrico; Geologia e geotecnia (SPT); Interferência de construções vizinhas; Caracterização da própria estrutura da edificação; Cargas no geral; Disponibilidade comercial (disponibilidade de equipamentos e materiais).

2) Execução dos elementos de fundação

Para a garantia da qualidade de todo o sistema de fundação é essencial a contratação de profissionais experientes e qualificados além da disponibilização, por parte da empresa, de cursos e treinamentos para a capacitação da equipe de execução.

Outro ponto importante da qualidade nesta etapa é o controle do concreto utilizado. O início do processo de controle deve ser feito com a verificação e conferência de todas as características presentes na nota fiscal, estando estas condizentes com o pedido realizado pelo projetista disposto em projeto.

Além da verificação do lacre, deve-se fazer a rastreabilidade do concreto, realizando o *Slump Test* e a moldagem do corpo-de-prova de cada carga, conforme disposto na NBR 5738 (ABNT, 2003) – Concreto: Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova e na NM 67 (ABNT, 1998) – Concreto: Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.

De acordo com a NBR 14931 (ABNT, 2004) - Execução de estruturas de concreto: Procedimento, o processo de concretagem do elemento de fundação deve seguir um plano de concretagem, que garante o fornecimento da quantidade adequada de concreto bem como as características necessárias à estrutura, prevendo a área ou o volume concretados em função do tempo de trabalho, a relação entre lançamento, adensamento e acabamento, as juntas de concretagem (se necessárias) e o acabamento final.

Uma equipe qualificada e equipamentos adequados possibilitam que o concreto se mantenha plástico e livre de juntas não previstas durante a concretagem. Para isso, a equipe de trabalhadores deve ser suficiente para assegurar que as operações de lançamento, adensamento e acabamento do concreto sejam realizadas corretamente, assim como os equipamentos adequados ao processo e em quantidade suficiente, possibilitando que o trabalho seja desenvolvido sem atrasos.

A inspeção e liberação das armaduras e de outros itens da estrutura são feitas antes da concretagem. A documentação dessa inspeção deve ser desenvolvida e aprovada pelas partes envolvidas antes do início dos trabalhos. Cada um desses aspectos deve ser cuidadosamente examinado, de modo a assegurar que está de acordo com o projeto, as especificações e as normas técnicas. Para cada um dos sistemas de fundação, estão disponíveis na bibliografia existente, outras fichas para controle de execução e concreto, que complementam este Programa de Controle de Qualidade. Foram selecionados para a elaboração deste Manual os sistemas de fundação mais utilizados na região Oeste do Paraná.

a) Sapata

A execução das sapatas é menos complexa que das estacas. O início da execução consiste na locação dos elementos de acordo com o projeto e a escavação manual da área, removendo o solo excedente de perto da cava. Com a dimensão e profundidade conferidas por um responsável técnico, faz-se a compactação da área escavada. Uma camada de 5 cm de espessura de concreto magro é depositada no fundo da cava e nivelada com a régua, garantindo que a umidade do solo não entre em contato com a armadura.

Depois de conferidas as medidas e o nível checado, é iniciada a colocação das armaduras, utilizando espaçadores. Estas devem ser colocadas cuidadosamente na cava para que os ferros não entrem em contato com o solo lateral. É indispensável a presença de um responsável técnico durante toda a execução. Com o auxílio de arames, os ferros utilizados no arranque são devidamente posicionados. A concretagem é realizada depois de todos esses processos serem aprovados pelo responsável técnico.

b) Trado manual ou mecânico

Equipamentos utilizados: Betoneira (ou caminhão betoneira), carrinho de mão, enxada, prumo, nível bolha, funil, máquina perfuratriz mecânica ou hidráulica, marretas, metro/trena, pá, trado.

O procedimento inicia-se com a locação do elemento de fundação, realizado por meio do gabarito de madeira que indica os eixos das estacas a serem escavadas. Após a indicação dos pontos exatos a serem perfurados pelo responsável técnico, com o terreno nivelado e limpo, faz-se a instalação e nivelamento vertical do equipamento, e inicia-se a rotação do trado, até a profundidade indicada em projeto. Não é necessário o uso de revestimento. Esse tipo de fundação somente poderá ser utilizado em solos coesivos acima do nível d'água.

Deve-se realizar o controle de prumo durante o processo, e no final, a verificação da profundidade pelo engenheiro ou responsável técnico. O solo superficial, ou seja, o depositado no nível do terreno, deve ser retirado de perto do furo e o solo fofo presente no fundo do furo deve ser removido ou apiloado com soquete, no caso de pequenas profundidades e diâmetros superiores a 50 cm.

Após a compactação da ponta da estaca e verificação feita por responsável técnico da cota de assentamento, é feita a colocação da armadura, utilizando espaçadores, garantindo que esta não chegue até o fundo da escavação. Com o posicionamento correto da armadura, inicia-se a concretagem, que deve ser realizada logo após a escavação do solo, sem atrasos ou paralisações. Depois de adquirida a resistência determinada em projeto, deve-se fazer o preparo da cabeça da estaca, onde é removido o concreto contaminado.

c) Hélice contínua

Equipamentos utilizados: Bomba de injeção de concreto, centralizador do trado, instrumento de medida, limpador do trado, mangueiras de acoplagem da bomba, perfuratriz, pá carregadeira, sensores, trado contínuo.

Depois da locação pelo gabarito, realizada da mesma forma que as anteriores, e posicionamento do equipamento, é iniciada a perfuração da estaca por meio da introdução por rotação e uma haste com a hélice. Neste tipo de fundação, em algumas situações, é necessária a utilização de uma tampa provisória para evitar a entrada de solo e água no tubo, sendo esta retirada antes da concretagem.

É importante certificar-se de que a ponta do trado durante sua introdução atinja um solo que garanta a formação da bucha para que o concreto injetado permaneça abaixo da ponta do trado. O avanço do equipamento é sempre inferior a um passo por giro sendo que a relação entre avanço e rotação decresce conforme aumentam as características mecânicas do solo. Assim, é possível a perfuração em solos coesivos e arenosos, com lençol d'água e atravessando solos resistentes.

Depois de alcançada a profundidade disponível no projeto e da mesma verificada pelo engenheiro ou responsável técnico no computador do equipamento, inicia-se a concretagem do elemento de fundação por bombeamento do concreto via haste tubular. Como o concreto é bombeado sob pressão, a tampa provisória é expulsa e o trado começa a ser retirado, sem rotação, garantindo a continuidade do fuste da estaca. Na retirada do trado, deve-se controlar a velocidade de subida. Conforme o trado é removido, o solo presente na

hélice do trado é removido por um limpador mecânico, sendo retirado do estaqueamento por uma escavadeira.

Neste sistema de fundação, a armadura só pode ser posicionada depois da concretagem, sendo que esta é introduzida pelos funcionários, utilizando espaçadores.

d) Strauss

Equipamentos utilizados: Betoneira (ou caminhão betoneira), cabos de aço, coroa, enxada, guincho, pá, sonda ou piteira, soquete ou pilão, tripé, revestimento.

Como os outros tipos de fundação, o processo de execução da estaca hélice contínua inicia-se com a locação dos elementos, estando de acordo com o projeto e amparados pelas linhas esticadas do gabarito, indicando seus eixos no cruzamento destas linhas.

Posiciona-se o equipamento e então é iniciada a perfuração até atingir a cota de 2 metros do furo, onde será introduzido o tubo de revestimento, popularmente chamando de coroa, que possui diâmetro interno correspondente à estaca. Depois disso é colocada uma sonda (piteira) no interior do tubo que, por meio de golpes, irá remover o solo localizado abaixo desta coroa.

Com a cravação deste tubo, é introduzido outro tubo na parte superior do anterior e inicia-se a introdução da sonda novamente, até que atinja a profundidade exigida em projeto, sendo então eliminada a água e a lama presentes no fundo do furo.

As armaduras são colocadas nos últimos 2 m das estacas, permitindo a passagem interna de um pilão. A concretagem feita à percussão inicia-se com o preenchimento de um tudo de 1 m de concreto, que será apiloado por meio do pilão, no interior da coroa, evitando o contato com o solo e formando um bulbo da base da estaca. Esse processo é feito novamente, com a remoção dos tubos de revestimento, até atingir a cota desejada.

e) Preparação da cabeça da estaca

O preparo do topo da estaca é muito importante quando se deseja minimizar as patologias das fundações. A cabeça da estaca depois de concretada, muitas vezes, apresenta-se em uma cota diferente em relação ao projeto, dificultando a execução do bloco. O concreto do topo da estaca é de qualidade ruim, pois no último trecho da concretagem, há a segregação do material ou a contaminação pelo solo, fazendo com que a concretagem exceda a cota de arrasamento. Deve-se, então, romper o concreto excedente, usando martelos rompedores ou pneumáticos. Nas proximidades da cota exata, deve-se utilizar rompedores menores ou ponteiras.

Em alguns casos, utiliza-se fluido estabilizante nos elementos de fundação, sendo necessária a concretagem excedente de 50 cm em relação à cota. Caso não seja possível realizar esse processo, rompe-se o concreto até onde o mesmo não esteja contaminado, fazendo a reconstituição estrutural do elemento.

Outro caso especial é a utilização de estacas do tipo hélice contínua monitorada em que a concretagem é feita até o nível do terreno, necessitando que o concreto seja rompido para a execução do bloco de coroamento. Pode-se romper o concreto nas primeiras idades, fazendo a escavação do bloco de coroamento, tendo os devidos cuidados para não danificar o elemento de fundação.

f) Ensaio de integridade

O ensaio de integridade tem por objetivo a determinação da variedade das características do concreto em estacas de fundação, no decorrer da profundidade, por meio de propagação de ondas acústicas longitudinais, gerando efeitos de dilatação e compressão nos materiais.

O ensaio é realizado por meio da colocação de um equipamento denominado acelerômetro de alta sensibilidade na parte superior da estaca, com a aplicação de golpes com um martelo de mão.

Esses golpes criam uma onda de tensão que percorre o elemento de fundação e sofre reflexão, ocasionando variações na aceleração medida pelo sensor em relação ao tempo, quando encontra qualquer variação de características dos materiais, seja o peso específico, o módulo de elasticidade ou a área da seção.

Já que a velocidade de propagação da onda é conhecida, bem como o tempo entre o golpe aplicado e a chegada da reflexão, através do fuste, determina-se a localização desta variação.

g) Provas de Carga

Existem duas maneiras de se saber se a fundação é capaz de transferir sua carga ao solo. Para isso são realizadas provas de carga estáticas ou dinâmicas. Em virtude do baixo prazo de execução, bem como o baixo custo do ensaio, neste Manual apresenta-se o ensaio de prova de carga dinâmico.

Segundo a NBR 13208 (ABNT, 1994) o ensaio de carregamento dinâmico em estacas a aparelhagem necessária para a realização do ensaio consiste em:

- Dispositivo de aplicação da força de impacto, ou seja, qualquer martelo ou dispositivo similar de cravação, que provoque deslocamento permanente ou mobilize a resistência das camadas de solo atravessadas pela estaca, onde o impacto é aplicado de forma centrada e axialmente ao topo da estaca;
- Dispositivo para obtenção das respostas dinâmicas, com o uso de transdutores ou qualquer outro dispositivo que forneça valores de deformação, aceleração ou deslocamento, em relação ao tempo;
- Equipamentos para aquisição, registro e tratamento de dados.

O ensaio consiste em:

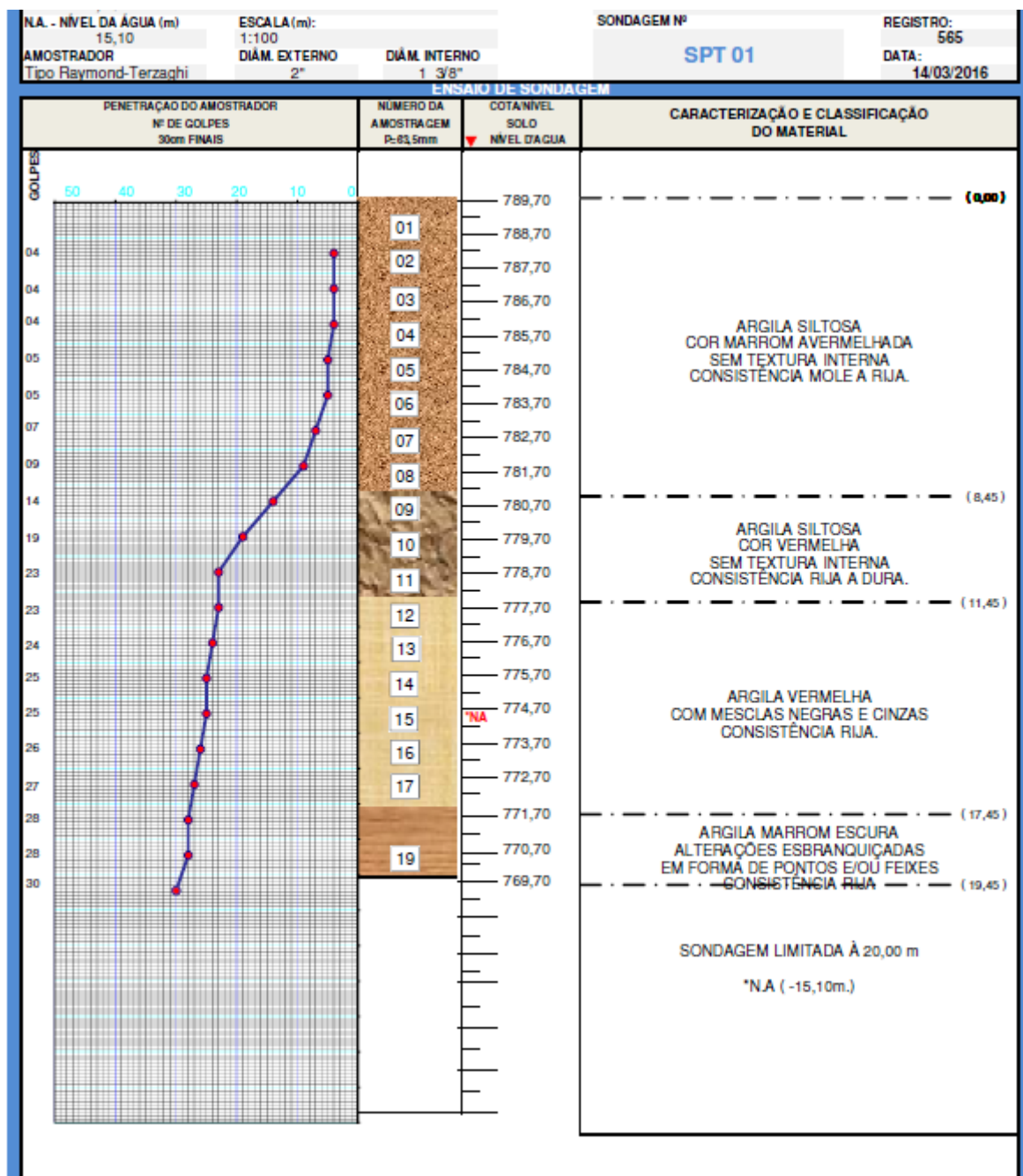
- 1) Preparação da estaca, estando seu topo plano e perpendicular ao eixo, não contendo materiais de resistência inferior. Nas estacas cravadas recomenda-se marcar nas mesmas fixas, para executar um diagrama de gravação;
- 2) Instalação dos transdutores (no mínimo 04) instalados a uma distância mínima de 02 diâmetros do topo da estaca, numa mesma seção transversal, aos pares, em direções opostas ao eixo, detectando e compensando os efeitos do momento fletor, calibrados com exatidão de $\pm 2\%$;
- 3) Medições durante a recravação, feitas a partir dos registros da correspondência entre os golpes e as penetrações da estaca, além da altura de queda do martelo, resistência a penetração ou de repique e demais dados relevantes;
- 4) Avaliação da capacidade de carga, sendo a instrumentação realizada durante uma recravação da estaca, decorrido um período suficiente para a ocorrência da variação de resistência do solo. A capacidade de carga deve ser estimada a partir de um ou dois golpes no início da recravação, utilizando energia igual ou um pouco superior a usada no fim da cravação;
- 5) Determinação da velocidade de propagação da onda, determinado por métodos adequados para cada estaca, exceto a de aço;
- 6) Verificação da qualidade dos dados (proporcionalidade entre curvas de força e velocidade, impedância da estaca no impacto);
- 7) Registro e análise dos dados, como diagrama de cravação, resistência a penetração e repique, incluindo a máxima energia transferida, verificação da integridade da estaca, verificação da capacidade de carga e curvas de transferência de carga no momento do ensaio, sendo utilizados procedimentos de interpretação dos dados reconhecidos em nível nacional e/ou internacional, avaliando a capacidade de carga pelo método simplificado (CASE) ou pelo método numérico (CAPWAP).

ANEXOS

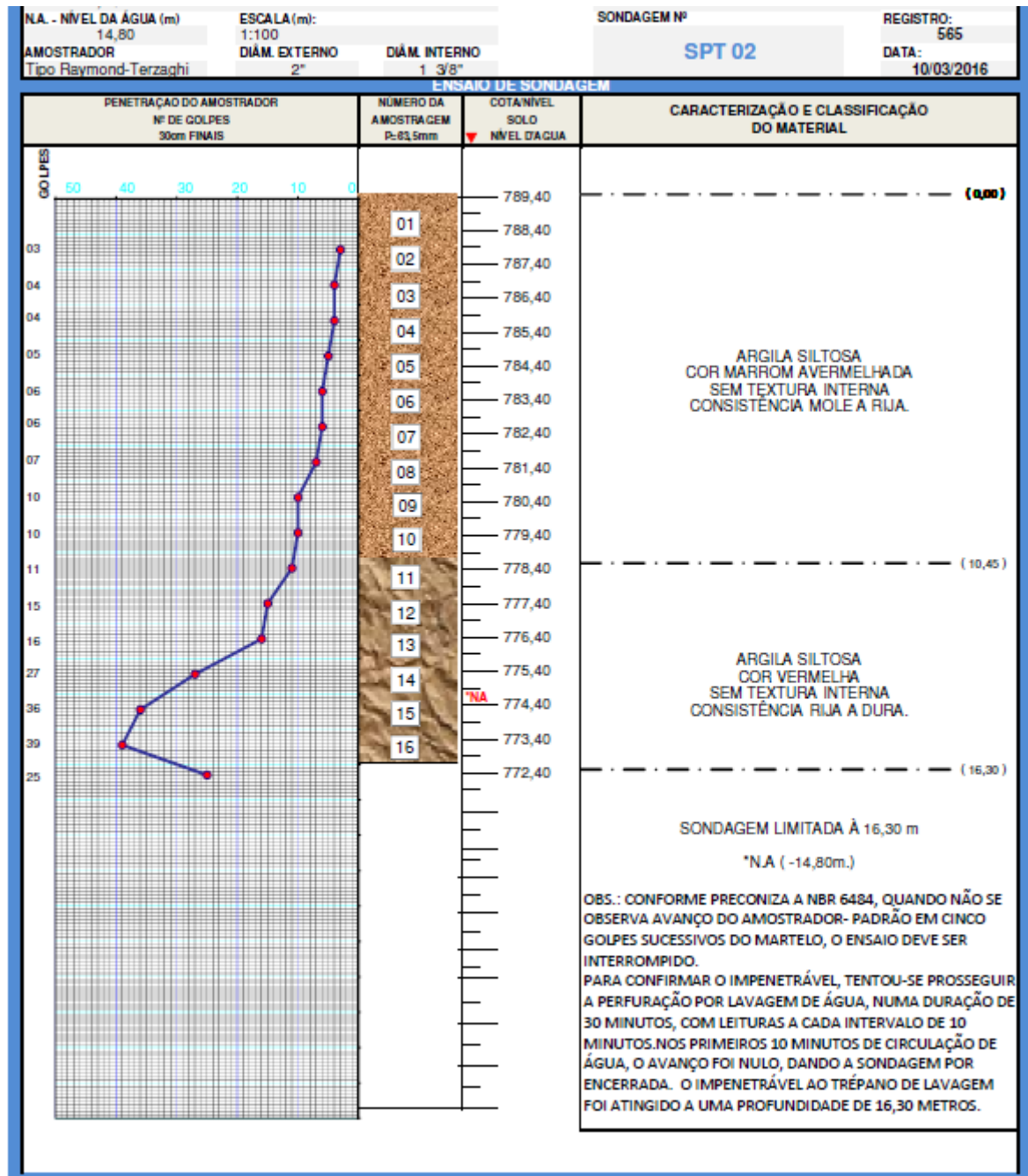
ANEXO A – Relatório de Estaqueamento (ABEF, 2012).

[illegible]

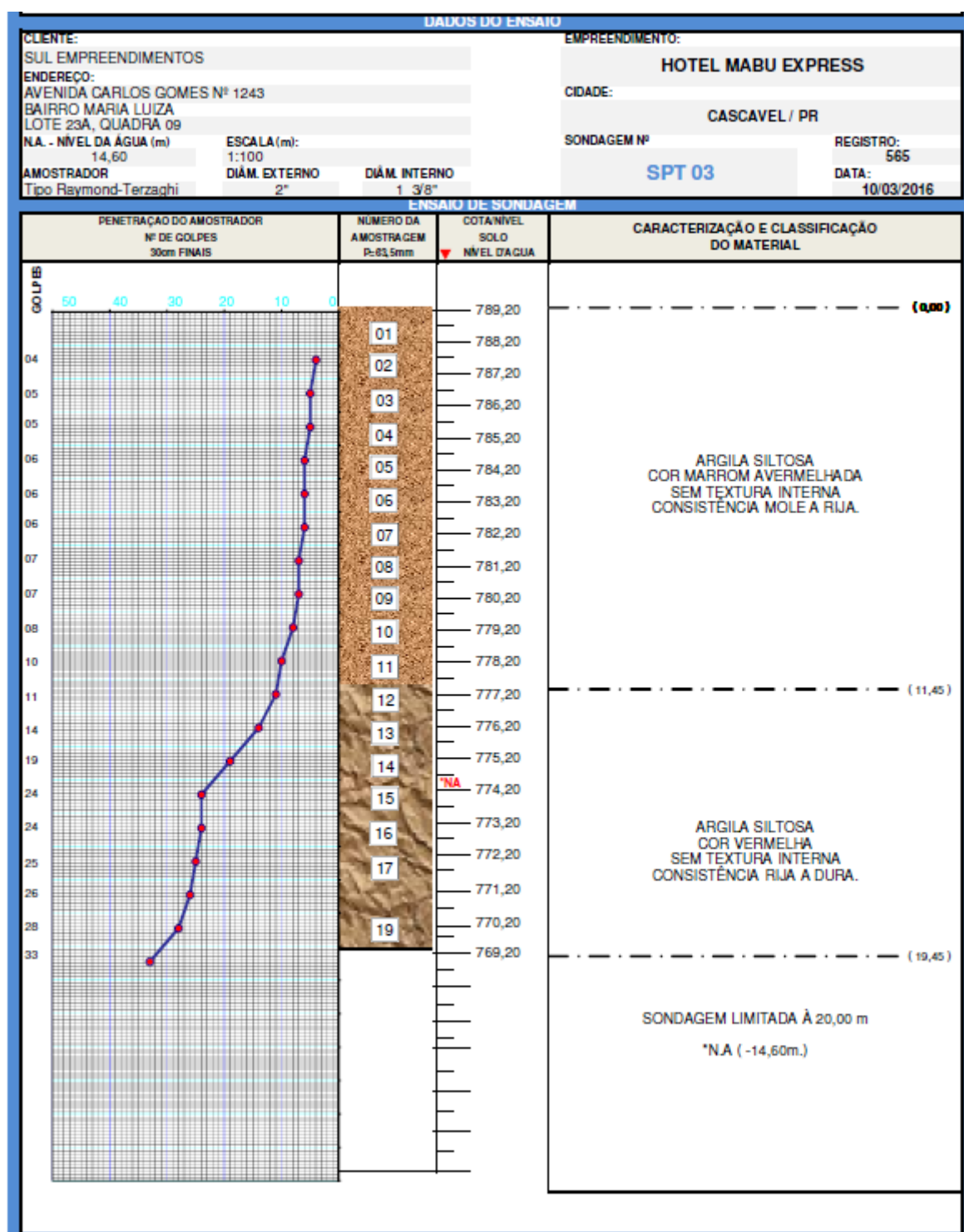
ANEXO B - Dados do Ensaio de Sondagem SPT 01 (FUNGEO, 2016).



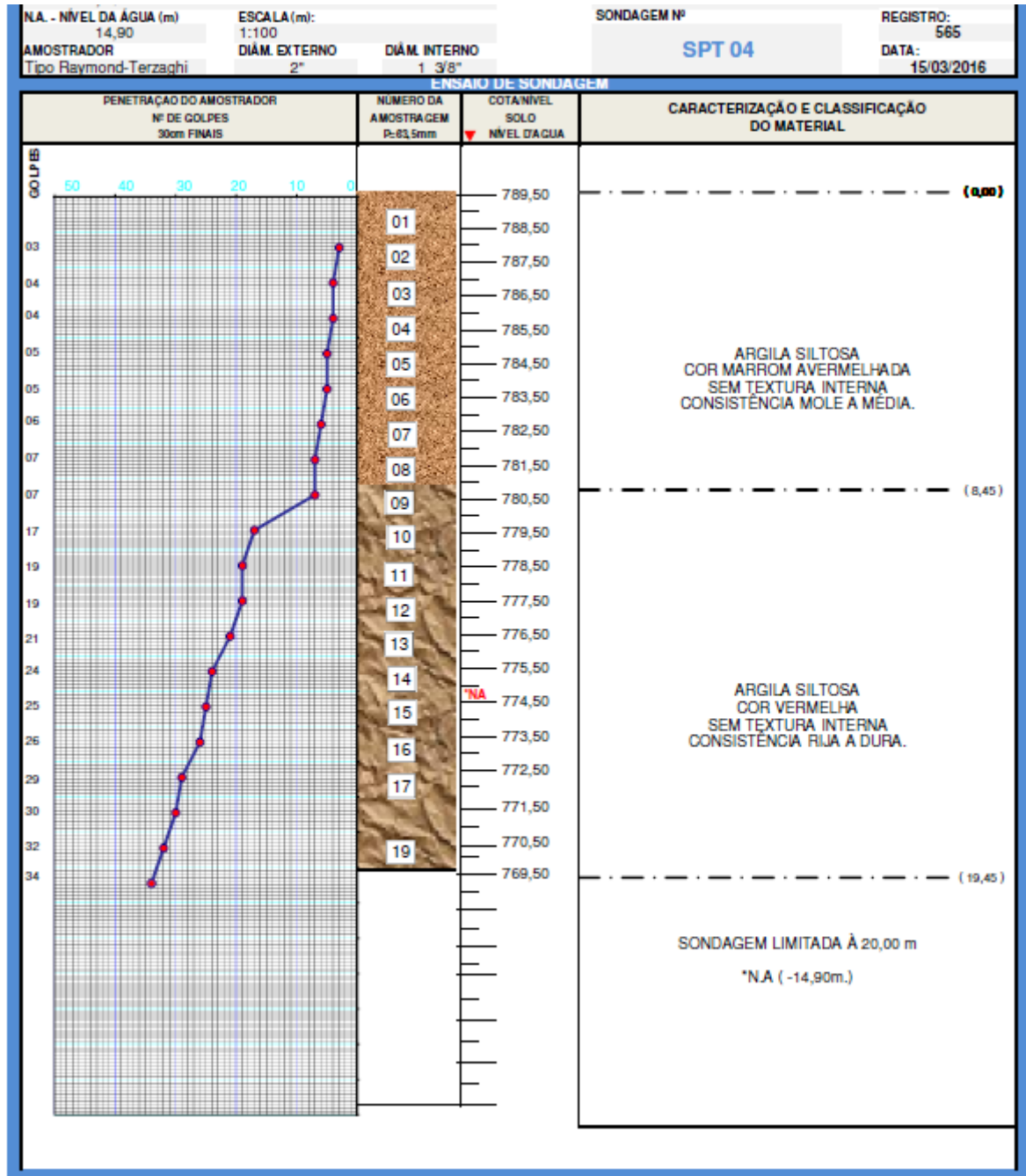
ANEXO C – Dados do Ensaio de Sondagem SPT 02 (FUNGEO, 2016).



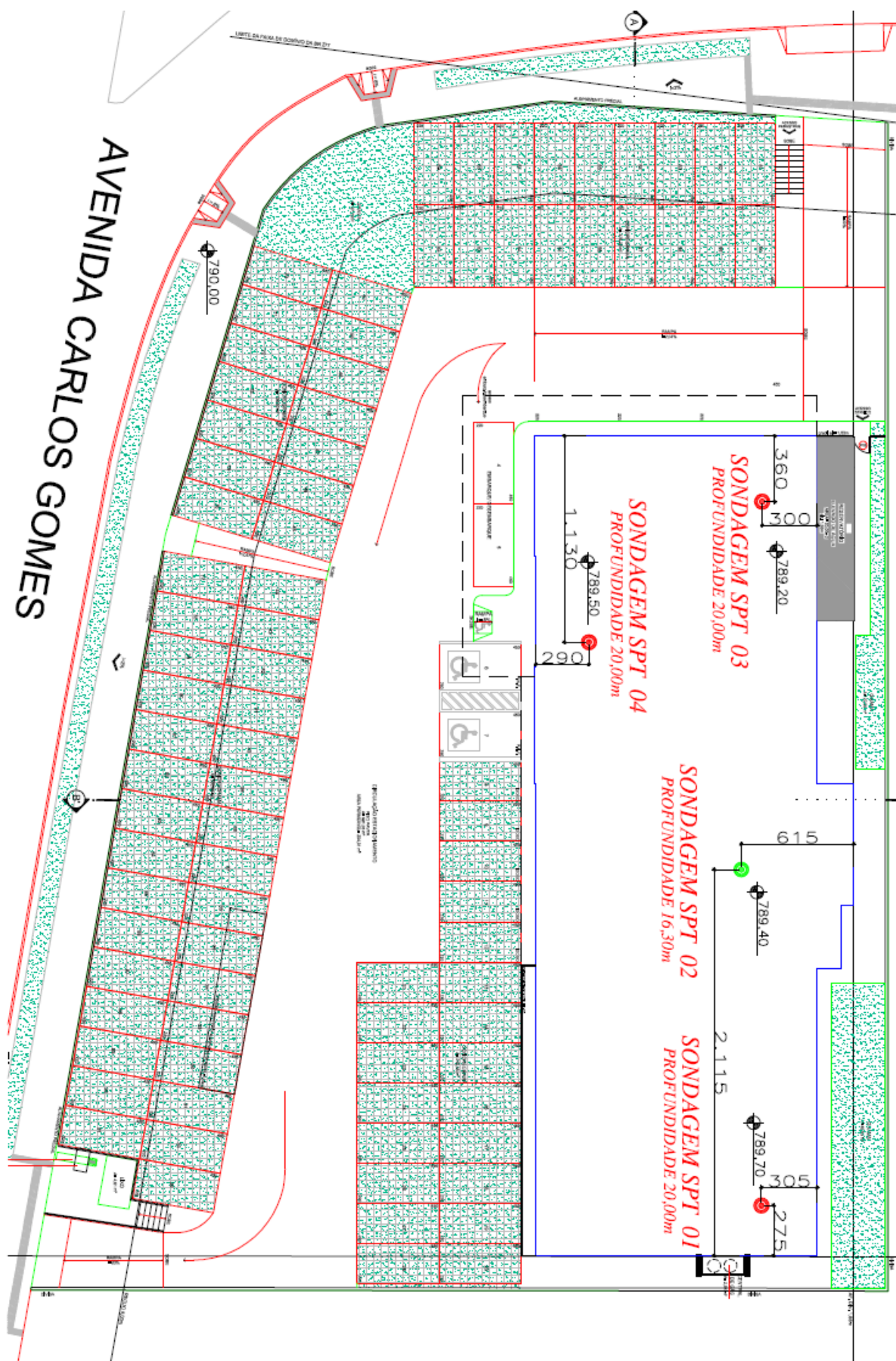
ANEXO D - Dados do Ensaio de Sondagem SPT 03 (FUNGEO, 2016).



ANEXO E– Dados do Ensaio de Sondagem SPT 04 (FUNGEO, 2016).



ANEXO F – Localização dos Pontos de Sondagem (FUNGEO, 2016).



ANEXO G – Tabela de Cargas (FUNGEO, 2016).

Pilar									
Nome	Seção (cm)	X (cm)	Y (cm)	Carga Máx. (kN)	Carga Mín. (kN)	Mx (kN.m)	My (kN.m)	Fx (kN)	Fy (kN)
P1	35x60	1911.50	1714.00	409	375	0	0	3	6
P2	35x60	2547.00	1714.00	295	257	0	0	4	5
P3	35x60	17.50	1509.00	415	387	0	0	3	6
P4	35x60	322.00	1509.00	640	613	0	0	4	2
P5	35x60	637.00	1509.00	619	581	0	0	5	5
P6	35x60	952.00	1509.00	628	609	0	0	5	3
P7	35x60	1267.00	1509.00	706	661	0	0	4	6
P8	35x60	1582.00	1509.00	898	844	0	0	4	4
P9	35x60	1911.50	1447.00	713	673	0	0	5	7
P10	35x60	2547.00	1447.00	551	516	0	0	4	6
P11	25x60	1901.50	1079.50	562	492	0	0	2	7
P12	14x60	2142.00	1069.50	436	376	0	0	3	5
P13	25x60	2382.50	1079.50	572	507	0	0	3	5
P14	35x60	2547.00	1079.50	432	399	0	0	2	6
P15	55x55	27.50	979.50	1149	1115	0	0	7	7
P16	55x55	637.00	979.50	2352	2283	0	0	12	9
P17	55x55	1267.00	979.50	1494	1436	0	0	11	8
P18	35x55	1582.00	992.00	1136	1076	0	0	9	5
P19	25x60	1901.50	899.50	496	441	0	0	3	6
P20	14x60	2142.00	899.50	399	343	0	0	3	5
P21	25x60	2382.50	899.50	289	232	0	0	3	5
P22	35x60	1504.50	652.00	609	496	0	0	7	3
P23	35x60	1659.50	652.00	571	489	0	0	7	4
P24	35x80	1907.00	629.50	1045	965	0	0	8	7
P25	35x60	2154.50	652.00	600	518	0	0	7	5
P26	35x60	2309.50	652.00	602	491	0	0	7	5
P27	35x60	2547.00	639.50	680	632	0	0	6	6
P28	55x55	27.50	559.50	1144	1110	0	0	6	7
P29	55x55	637.00	559.50	2375	2309	0	0	11	10
P30	55x55	1267.00	559.50	1417	1355	0	0	9	8
P31	35x60	17.50	30.00	416	387	0	0	3	6
P32	35x60	322.00	30.00	640	614	0	0	5	3
P33	35x60	637.00	30.00	617	579	0	0	5	6
P34	35x60	952.00	30.00	628	608	0	0	5	3
P35	35x60	1267.00	30.00	675	630	0	0	4	7
P36	35x60	1582.00	30.00	921	874	0	0	5	4
P37	35x60	1907.00	30.00	807	755	0	0	5	8
P38	35x60	2232.00	30.00	949	895	0	0	5	5
P39	35x60	2547.00	30.00	508	475	0	0	3	7
P40	20x60	2275.50	1734.00	323	307	0	0	4	2
P41	20x60	2275.50	1447.00	631	593	0	0	5	2

ANEXO H – Projeto de Fundações com as Estacas Acompanhadas Circuladas em Amarelo
(FUNGEO, 2016).