



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**EVOLUÇÃO DAS FUNDAÇÕES UTILIZADAS NA CIDADE DE
SÃO LUÍS DO MARANHÃO NO PERÍODO DE 1987 A 2011**

Rômulo da Conceição do Rosário
Prof. Dr. Rodrigo da Cruz de Araújo

São Luís - MA

2018

EVOLUÇÃO DAS FUNDAÇÕES UTILIZADAS NA CIDADE DE SÃO LUÍS DO MARANHÃO NO PERÍODO DE 1987 A 2011

Trabalho de Conclusão e Integração Curricular apresentado ao curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Maranhão, com requisito para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo da Cruz de Araújo

Aprovado em / /

Banca Examinadora

Prof. Dr. Rodrigo da Cruz de Araújo (Orientador)
UFMA

Prof. Dr. George Fernandes Azevedo
UFMA

Prof. Dr. Paulo César de Oliveira Queiroz
UFMA

São Luís – MA

2018



Coordenadoria do Curso de Engenharia Civil.
(Campus Bacanga - São Luís)

da Conceição do Rosário, Rômulo.
EVOLUÇÃO DAS FUNDAÇÕES UTILIZADAS NA CIDADE DE SÃO LUÍS
DO MARANHÃO NO PERÍODO DE 1987 A 2011 / Rômulo da
Conceição do Rosário. - 2018.
59 f.

Orientador(a): Rodrigo da Cruz de Araújo.
Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia Civil,
Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2018.

1. Coleta de dados. 2. Fundações. 3. São Luís. I.
da Cruz de Araújo, Rodrigo. II. Título.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter permitido que eu conseguisse chegar até onde cheguei.

À minha mãe, Elizimar Conceição, por sempre me apoiar e guiar nas decisões de minha vida, por sempre me ajudar quando preciso (e até quando não preciso), por ser essa pessoa maravilhosa: sem dúvidas eu não conseguiria chegar até aqui sem seu apoio.

Ao meu pai, José Raimundo, que sempre lutou e batalhou para que seus filhos pudessem ter oportunidades que ele não teve, para realizar seu sonho de ter seus filhos formados e pelas maiores riquezas que ele poderia ter nos deixado: educação e caráter.

Ao meu irmão, Renan Conceição, por ter contribuído na educação que tive de meu pai e minha mãe e por seus conselhos que, mesmo que esporádicos, sempre acabam me fazendo enxergar as situações possíveis de outra maneira.

À minha amiga e namorada Walbenice Marques, pelos conselhos diante da vida acadêmica e fora dela, por sempre me ajudar, por sempre me ouvir, por ser alguém que eu realmente posso contar, não só nas felicidades mas também nas dificuldades. Agradeço por ter conhecido alguém assim. Muito obrigado.

Ao meu grande amigo, Igor Luís, pelos quase vinte anos de amizade dos quais eu não conseguiria expressá-los aqui e por ter me acompanhado nos momentos em que eu mais precisei. Jamais esquecerei disso.

Às minhas amigas Pâmela Oliveira e Letícia Fernanda, pelo companheirismo durante toda essa jornada e pelas risadas proporcionadas mesmo nos momentos difíceis dessa caminhada.

Aos meus amigos Mary Chrystinne, Verônica Costa, Giovana Rabelo, Mariana Lisboa, Jéssica Serrão, Felipe Ferreira e a todos os outros que contribuíram para a minha formação e para a minha vida de alguma forma.

Ao meu orientador, o professor Dr. Rodrigo da Cruz de Araújo por me aceitar e me guiar como seu orientando desde o primeiro ciclo do curso.



Coordenadoria do Curso de Engenharia Civil.
(Campus Bacanga - São Luís)

Ao engenheiro Ricardo Anselmo, por ter nos ajudado neste trabalho nos fornecendo os dados necessários não só para concluí-lo mas também para começa-lo. Esse trabalho realmente não seria possível sem sua ajuda. Muito obrigado.

À construtora Franere, por permitir que nós tivéssemos acesso aos dados que solicitamos para a execução deste trabalho.



**Coordenadoria do Curso de Engenharia Civil.
(Campus Bacanga - São Luís)**

“Nada se consegue sem esforço
próprio e sem uma dedicação à prova
de fraquezas”

Carlos Bernardo González Pecotche

Resumo

As fundações de uma edificação são as estruturas responsáveis por transmitir os esforços provenientes da edificação (e de seu próprio peso próprio) para o solo. Existem vários tipos de fundações, no entanto, essas podem ser divididas em dois grandes grupos: fundações superficiais e fundações profundas. Tais elementos estruturais são fundamentais para a construção civil. Nas últimas décadas, especialmente de meados dos anos 90 até por volta de 2011, a construção civil no Brasil apresentou um grande crescimento. O objetivo desse trabalho foi estudar a evolução da construção civil na cidade de São Luís- MA, especialmente no que se refere aos tipos de fundações adotados em um período de 25 anos. Por meio de coleta de dados secundários, pôde-se fazer o levantamento de quais os tipos de fundações mais utilizados na capital ludovicense. Os dados utilizados incluíram também a identificação da obra, o número de “torres” ou “blocos” de cada empreendimento, número de pavimentos, ano de construção (início e término). A partir do levantamento de dados foram feitas análises dos mesmos, nas quais as informações solicitadas foram correlacionadas buscando-se reconhecer as mudanças nas práticas da construção civil no período, como, por exemplo, em relação à verticalização (aumento no número de pavimentos) ao longo do tempo e ao tipo de fundação relacionado ao período e ao número de pavimentos. Os resultados permitiram identificar tendências, tais como de aumento no padrão de número de torres dos empreendimentos e de inversão no tipo de fundação predominante com o decorrer dos anos.

Palavras-chaves: Fundações Superficiais; Fundações Profundas, Tipos de fundações.

ABSTRACT

The foundations of a building are like structures of information about the emission and the ground. However, the various types of funding, however, can be divided into large groups: surface foundations and deep foundations. Such elements are fundamental for a civil construction. The last few nights, especially from the mid-90's to around 2011, civil construction in Brazil showed a great growth. The objective of this study was to study the evolution of civil construction in the city of São Luís, especially with regard to the types of foundations adopted in a period of 25 years. By collecting secondary data, it was possible to survey the types of foundations most used in the ludovicense capital. The data used also include the identification of the work, the number of "towers" or "blocks" of each development, number of floors, year of construction (beginning and end). From the data collection were made with the same ones, in which the databases were scaled to correlate the changes in the civil construction practices in the period, as for example, in relation to verticalization (increase in the number of floors). the type of foundation related to the period and the number of floors. The results allowed to identify trends, such as an increase in the number of tower towers and the inversion in the type of foundation that predominates over the years.

Keywords: Surface Foundations; Deep Foundations, Types of foundations.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Poço de exploração escorado por cortinas	24
Figura 2: Trados manuais mais utilizados: (a) cavadeira, (b) espiral ou “torcido” e (c) helicoidal	26
Figura 3: Equipamentos para execução de sondagem a percussão: (a) Avanço da sondagem por meio de desagregação e lavagem; (b) Ensaio de penetração dinâmica (SPT).....	28
Figura 4: Ensaio de palheta.....	31
Figura 5: Ensaio do pressiômetro de Ménard.....	32
Figura 6: Layout da lâmina do dilatômetro de Marchetti.....	33
Figura 7: Sistema sapata-solo com profundidade de assentamento h , base B e carregamento P	37
Figura 8: Fundação superficial do tipo bloco	37
Figura 9: Fundação superficial do tipo radier	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Levantamento de obras realizadas em São Luís	41
Tabela 2: Classificação em função do número de pavimentos	44
Tabela 3: Número de blocos por empreendimento no período de 1987-1995 .	45
Tabela 4: Número de blocos por empreendimento no período de 1996-2003 .	45
Tabela 5: Número de blocos por empreendimento no período de 2004-2011 .	46
Tabela 6: Classe das fundações	46

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Percentual de empreendimentos em função do número de pavimentos entre 1987 e 1995	47
Gráfico 2: Percentual de empreendimentos em função do número de pavimentos entre 1996 e 2003	48
Gráfico 3: Percentual de empreendimentos em função do número de pavimentos entre 2004 e 2011	48
Gráfico 4: Fundações superficiais x fundações profundas entre 1987 e 1995 .	49
Gráfico 5: Fundações superficiais x fundações profundas entre 1996 e 2003 .	50
Gráfico 6: Fundações superficiais x fundações profundas entre 2004 e 2011 .	50
Gráfico 7: Percentual dos tipos de fundações dos empreendimentos que possuem até 5 pavimentos.....	51
Gráfico 8: Percentuais dos tipos de fundações dos empreendimentos que possuem de 6 a 10 pavimentos.....	52
Gráfico 9: Percentuais dos tipos de fundações dos empreendimentos que possuem de 11 a 15 pavimentos.....	52
Gráfico 10: Percentuais dos tipos de fundações dos empreendimentos que possuem mais de 15 pavimentos	53

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
CPT	<i>Cone Penetration Test</i>
CPT-U	<i>Piezocone Penetration Test</i>
SPT	<i>Standard Penetration Test</i>
SPT-T	<i>Standard Penetration Test</i> com medidas de torque
NBR	Norma Brasileira

SUMÁRIO

1. Introdução	15
2. Objetivo geral.....	17
2.1. Objetivos específicos	17
3. Formulação do problema e justificativa do trabalho	18
4. Metodologia.....	19
5. Investigação do subsolo	20
5.1. Objetivos básicos da investigação geotécnica	22
5.2. Classificação do métodos de investigação geotécnica.....	23
5.3. Principais métodos de investigação geotécnica.....	23
5.3.1. Poços.....	24
5.3.2. Sondagens a trado	25
5.3.3. Sondagem a percussão e o SPT	27
5.3.4. SPT-T	29
5.3.5. CPT e CPT-U.....	30
5.3.6. O ensaio da palheta (<i>Vane test</i>).....	31
5.3.7. O pressiómetro de <i>Ménard</i>	31
5.3.8. O dilatômetro de Marchetti	32
5.3.9. Os ensaios de carregamento de placa – provas de carga	34
5.3.10. Os ensaios geofísicos, em particular o ensaio de “ <i>Cross-Hole</i> ”	34
6. Fundações.....	35
6.1. Fundações superficiais (rasas ou diretas)	36
6.2. Fundações profundas.....	39
7. Apresentação dos resultados.....	41

8. Análise dos resultados.....	44
8.1. Classificação em função do número de pavimentos das edificações	44
8.2. Número de blocos em função de intervalos cronológicos.....	45
8.3. Classe das fundações.....	46
8.4. Percentual do número de pavimentos dos blocos em função da estratificação cronológica.....	47
8.5. Percentual das classes de fundações de acordo com a estratificação cronológica.....	49
8.6. Tipo de fundação em função do número de pavimentos	51
9. Considerações finais.....	54

1. Introdução

Uma edificação, pensando no contexto estrutural, é um conjunto de elementos estruturais que resistem e transmitem os esforços, de uma maneira progressiva: os elementos estruturais superiores resistem aos seus respectivos esforços e os transmitem para os elementos inferiores. A transmissão dos esforços superiores para os inferiores se dá pelos pilares. No entanto, é necessário um componente que tenha essa mesma função de transmitir tais cargas ao terreno sobre o qual a edificação se apoia. Esse componente é denominado fundação.

De forma geral, a necessidade de se conhecer as propriedades do solo na engenharia civil advém da grande importância que este possui nas obras de engenharia. Além do aproveitamento do solo como material de construção em diversos tipos de obras, o solo tem como principal função a absorção de carregamentos externos advindos dos elementos estruturais de fundações, (BORGATTO, 2017).

No entanto, da mesma forma que o solo possui grande importância na engenharia civil, ele também é fonte incerteza. Flores (2008) afirma que as características do solo apresentam uma estruturação espacial, podendo ser semelhantes em pontos próximos e tendendo a modificar-se à medida que a distância entre esses pontos aumenta. Essas incertezas são divididas, segundo Vanmarcke (1997), em três: devido a natural heterogeneidade dos solos *in situ*, devido às limitações dos ensaios e informações disponíveis para quantificar as características do solo e devido aos erros de medições.

Tais incertezas afetam diretamente no projeto de dimensionamento de fundações, que, por essa razão, necessita de um fator de segurança elevado com intuito de levar em consideração qualquer imprecisão que possa comprometer a estrutura.

Paralelamente a isso, verifica-se, conforme expõem Fochezatto e Ghinis (2011), que nas últimas décadas a construção civil no Brasil seguiu “uma trajetória de crescimento exponencial, particularmente em termos de produção”.

No mesmo sentido, de acordo com Amorin (2014), o setor cresceu mais de 74% entre 1994 e 2013.

No Maranhão o setor foi responsável por gerar mais de 4 bilhões de reais de valor adicionado bruto em 2011 (IMESC, 2016) e ocupar mais de 60 mil trabalhadores no ano de 2011 (MINISTÉRIO DO TRABALHO, 2011).

São Luís é a capital do estado do Maranhão e principal cidade da região metropolitana e possuía no ano de 2010, um total de 1.014.837 de habitantes e densidade demográfica de 1.215,69 habitantes por quilômetro quadrado, de acordo com os dados do IBGE (2010).

Nesse contexto, esse trabalho visa realizar uma análise sobre a evolução da construção civil e dos tipos de fundações utilizadas em edificações da cidade de São Luís do Maranhão no decorrer de um período de 25 anos. Especificamente, os objetivos são de verificar o número de pavimentos dos edifícios, o tipo de fundação e o ano de realização de diversas construções, buscando correlacionar tais informações a fim de identificar as tendências de mudanças ocorridas no padrão de construção civil da cidade no referido período.

2. Objetivo geral

Esse trabalho visa realizar uma análise sobre a evolução da construção civil e dos tipos de fundações utilizadas em edificações da cidade de São Luís do Maranhão no decorrer de um período de 25 anos.

2.1. Objetivos específicos

- a) Identificar os tipos de fundações mais utilizadas nas edificações de São Luís do Maranhão desde o ano de 1987 até o ano de 2011;
- b) Identificar e classificar as edificações de São Luís do Maranhão quanto a seu uso, quantidade de pavimentos, número de blocos e as datas em que começaram a ser executadas, dentro do período supracitado;
- c) Correlacionar as informações citadas acima a fim de identificar as tendências de mudanças ocorridas no padrão da construção civil da cidade de São Luís do Maranhão no referido período.

3. Formulação do problema e justificativa do trabalho

De forma geral, a necessidade de se conhecer as propriedades do solo na engenharia civil advém da grande importância que este possui nas obras de engenharia. Além do aproveitamento do solo como material de construção em diversos tipos de obras, o solo tem como principal função a absorção de carregamentos externos advindos dos elementos estruturais de fundações, (BORGATTO, 2017).

No entanto, da mesma forma que o solo possui grande importância na engenharia civil, ele também é fonte incerteza. Flores (2008) afirma que as características do solo apresentam uma estruturação espacial, podendo ser semelhantes em pontos próximos e tendendo a modificar-se à medida que a distância entre esses pontos aumenta. Essas incertezas são divididas, segundo Vanmarcke (1997), em três: devido a natural heterogeneidade dos solos *in situ*, devido às limitações dos ensaios e informações disponíveis para quantificar as características do solo e devido aos erros de medições.

Tais incertezas afetam diretamente no projeto de dimensionamento de fundações, que, por essa razão, necessita de um fator de segurança elevado com intuito de levar em consideração qualquer imprecisão que possa comprometer a estrutura.

Desta forma, conhecer com antecedência as práticas de fundações de um determinado local pode contribuir positivamente para obras futuras através da redução de custos e de tempo, além de que pode-se fazer um registro técnico com tais informações, auxiliando assim os profissionais de engenharia civil em futuras edificações, (SALAME, 2003).

4. Metodologia

Para atender o objetivo do trabalho, foi necessário fazer um levantamento de dados relativos às edificações da região de São Luís do Maranhão.

Para realização do trabalho, inicialmente o levantamento de dados contabilizou 61 empreendimentos, que totalizavam mais de 120 torres, uma vez que em diversos casos a construção se referia a condomínios residenciais compostos por dois ou mais prédios. No entanto, do quantitativo inicial a amostra foi reduzida a apenas 41 empreendimentos, totalizando 101 torres, uma vez que somente destas foram identificadas adequadamente as informações referentes às classes de fundações.

As informações utilizadas, relativas a cada obra, foram obtidas diretamente da(s) construtora(s) e consistiram em: identificação da obra, endereço da obra, tipo de edifício (se residencial ou comercial), número de blocos/torres, número de pavimentos, ano de construção (início e término), classe da fundação.

Os dados supracitados abrangeram os anos de 1987 até 2011. Dessa forma, para analisar as mudanças ocorridas ao longo do tempo, optou-se por subdividir a amostra em três intervalos de tempo de mesma duração (de 1987 a 1995, de 1996 a 2003 e de 2004 até 2011).

A partir das informações obtidas, a etapa de análise dos dados consistiu, então, em buscar estabelecer correlações entre elas, tais como: o percentual das edificações em função do número de pavimentos para cada período considerado; o percentual de cada classe de fundações das edificações para cada período; as classes de fundações adotadas (em termos percentuais) em relação ao número de pavimentos da construção, etc.

5. Investigação do subsolo

O engenheiro encarregado de projetar as fundações deve, antes disso, possuir o conhecimento adequado das características e propriedades do solo e, além disso, deve-se estabelecer correlações entre os parâmetros envolvidos, por meio da mecânica dos solos, para que se possa determinar a capacidade de carga e comportamento de deformação associado à camadas de apoio das fundações, (SALAME, 2003).

Isso não ocorre somente no que diz respeito ao projeto de fundações mas sim em toda a mecânica dos solos. Segundo Caputo (1988):

O primeiro requisito para se abordar qualquer problema de Mecânica dos Solos consiste num conhecimento, tão perfeito quanto possível, das condições do subsolo, isto é, no reconhecimento da disposição, natureza e espessura das camadas, assim como das suas características [...]. Tal conhecimento implica, pois, na prospecção do subsolo e na amostragem ao longo do seu decurso.

Essa investigação prévia é tão importante que, segundo CAPUTO(1988), alguém já comparou o engenheiro que a omitisse com um cirurgião que realizaria uma operação sem um prévio diagnóstico ou com um advogado que defenderia uma causa sem o prévio entendimento com o cliente.

Deve-se notar que o engenheiro vai lidar com um material natural sobre o qual pouco pode fazer, uma vez que deve-se aceita-lo como se apresenta, com suas particularidades como suas propriedades e seu comportamento. A partir desse panorama, percebe-se que dele decorre a obrigação das investigações do subsolo do local (VELLOSO & LOPES, 2010).

O projetista de fundações deve se comprometer com o processo de investigação do subsolo desde seu início. No entanto, isso pouco acontece. Ao invés disso, o que geralmente ocorre é a entrega, ao projetista de fundações, um conjunto de informações sobre a estrutura que deseja-se ser executada juntamente com um conjunto de informações sobre as sondagens. Tais sondagens, de acordo com Velloso & Lopes (2010), devem seguir algumas etapas:

- a. Investigação preliminar;

- b. Investigação complementar ou de projeto;
- c. Investigação para a fase de execução.

A investigação preliminar tem o objetivo de se conhecer as principais características do subsolo. Sendo assim, nessa fase geralmente utiliza-se apenas sondagens a percussão (SPT) com exceção nos casos em que se sabe da ocorrência de blocos de rochas. Neste caso é necessário o uso de sondagens mistas (VELLOSO & LOPES, 2010).

Na segunda fase, a de investigação complementar, leva-se em conta as características mais importantes dos subsolos e caracteriza-se as propriedades dos solos do perfil geotécnico pois o projeto de fundações é feito em função de tais informações. Percebe-se então que é necessário realizar mais algumas sondagens, de modo que sempre atendam pelo menos a quantidade mínima, regulamentada pela Norma Brasileira (NBR) 8036/1983 – Programação de sondagens de simples reconhecimento dos solos para fundações de edifícios, que dependerá do tipo da estrutura, de suas características, das condições geotécnicas do solo e da área de projeção em planta da edificação. Além do SPT, nessa etapa realiza-se também o ensaio de penetração de cone (CPT), ensaios de carregamento de placa, etc. “As amostras indeformadas podem ser utilizadas em ensaios de laboratório, os quais devem ser especificados e acompanhados pelo projetista.” (VELLOSO & LOPES, 2010, p. 35).

Na investigação para a fase de execução faz-se a confirmação das medições feitas nas fases anteriores, em particular nas áreas críticas. Nessa fase, o projetista deve participar ativamente ou, no mínimo, estar a par de todas os dados levantados.

Com a finalidade de possibilitar que tais informações sejam conhecidas obtém-se amostras do solo, para se realizar ensaios em laboratórios ou “*in situ*”. Mesmo que se possa optar em estudar os solos em laboratório ou “*in situ*”, Hachich *et al* (1998) afirma que na prática há predominância em se realizar os ensaios em campo, ficando a investigação laboratorial restrita a casos especiais em solos coesivos.

Tanto a escolha do método e da técnica como a amplitude das investigações devem levar em consideração as dimensões e finalidades da obra, características do terreno, dados sobre as investigações geotécnicas anteriores e da observação do comportamento das estruturas existentes nas proximidades (CAPUTO, 1988).

5.1. Objetivos básicos da investigação geotécnica

De acordo com Salame (2003), os principais objetivos buscados por meio de um programa de investigação de geotécnica para obras de engenharia são:

- a) Identificação das camadas ao longo da profundidade do subsolo, determinando suas espessuras, profundidades, inclinações e extensões;
- b) Classificação das camadas, de acordo com sua composição, grau de compactação ou consistência, granulometria e coloração;
- c) Informações associadas à ocorrência de água no subsolo, com registro do nível do lençol freático;
- d) Definição dos índices e parâmetros geotécnicos dos solos, principalmente relacionados à resistência ao cisalhamento, compressibilidade e permeabilidade das camadas;
- e) Identificação da superfície rochosa, com determinação de sua profundidade, classificação, espessura, existência de falhas e do estado de decomposição e alteração.

Mesmo que as informações citadas acima sejam as principais isso não significa que elas são suficientes para atender as necessidades do projeto de determinada obra. Cada edificação tem sua especificidade, podendo então não precisar de algumas dessas informações ou podendo precisar de informações não mencionadas acima.

5.2. Classificação do métodos de investigação geotécnica

A investigação do solos para projeto de fundações geralmente é feita mediante sondagens que permitem conhecer a variação da resistência do solo, à medida que a profundidade aumenta, por meio de descrições das camadas, (VELOZO, 2010).

Além disso existem também os ensaios em laboratório sobre amostras deformadas e indeformadas de solo que caracterizam sua resistência mecânica, deformabilidade, permeabilidade e expansibilidade que, segundo Salame (2003), são classificados em:

- a) Ensaio diretos: São aqueles baseados em procedimentos que possibilitam a extração de amostras deformadas ou indeformadas das camadas ao longo da profundidade do solo, podendo ser executada por meio de métodos manuais ou mecânicos. Alguns exemplos: ensaio de cisalhamento direto, triaxial, adensamento.
- b) Ensaio semi-diretos: São métodos que sem possibilitarem a extração de amostras, buscam a identificação de informações do solo através de correlações indiretas associadas ao processo de execução do ensaio. Alguns exemplos: *Standard Penetration Test*, ensaio de cone, ensaio de palheta.
- c) Ensaio indiretos: São processos de determinação de algumas características e propriedades do subsolo através de correlações geológicas e análises geofísicas. Alguns exemplos: *Cross-Hole*, métodos geoeletricos.

5.3. Principais métodos de investigação geotécnica

Dentre os processos de investigação do subsolo, os mais utilizados, segundo Hachich *et al* (1998) e Velloso & Lopes (2010), são:

- Poços;
- Sondagens a trado;
- Sondagens a percussão;

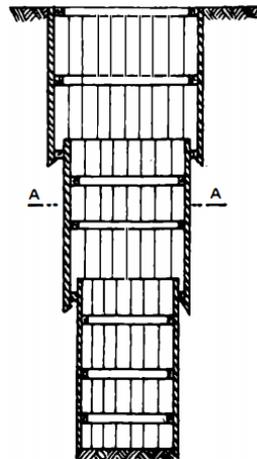
- O “*Standard Penetration Test*”, SPT;
- O “*Standard Penetration Test*” complementado com medidas de torque, SPT-T;
- O “*Cone Penetration Test*”, CPT;
- O “*Piezocone Penetration Test*”, CPT-U;
- O ensaio da palheta, “*Vane test*”;
- Os pressiômetros;
- O dilatômetro de Marchetti;
- Os ensaios de carregamento de placa – provas de carga;
- Os ensaios geofísicos, em particular o ensaio de “*Cross-Hole*”.

Os ensaios de campo de palheta, o *Vane Test*, é realizado somente em casos excepcionais uma vez que é indicado para argilas moles, (VELLOSO & LOPES, 2010).

5.3.1. Poços

Os poços (figura 1) são escavações manuais, que geralmente não possuem escoramento, cujo avanço nas camadas de solo se dá até que se encontre o nível de água ou até onde o subsolo possua uma certa consistência (VELLOSO & LOPES, 2010).

Figura 1: Poço de exploração escorado por cortinas



Fonte: Extraído de CAPUTO (1988)

Sobre os poços:

A técnica que melhor satisfaz aos fins de prospecção é, sem dúvida, a abertura de poços de exploração, pois não só permite uma observação *in loco* das diferentes camadas como, também, a extração de boas amostras. O seu emprego, no entanto, encontra-se, na prática, limitado pelo seu elevado custo, o qual o torna, às vezes, economicamente proibitivo, exigindo onerosos trabalhos de proteção a desmoronamentos e esgotamento d'água, quando a prospecção precisar descer abaixo do nível d'água (CAPUTO, 1988,p 192).

A norma que trata desse tipo de sondagem é a NBR 9604/1986 – Abertura de poço e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas. Sobre os poços: trata-se de uma escavação vertical de seção circular ou quadrada, quando projetada em um plano horizontal, com dimensões mínimas suficientes para permitir o acesso de um observador, visando a inspeção de paredes e fundo, e retirada de amostras representativas deformadas e indeformadas, (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1986). Para que seja possível que um operador consiga adentrar no poço, a mesma NBR afirma que, quando for quadrado, deve possuir 1,0 metro de lado. Já no caso de poços circulares, esses devem possuir um diâmetro mínimo de 1,2 metros.

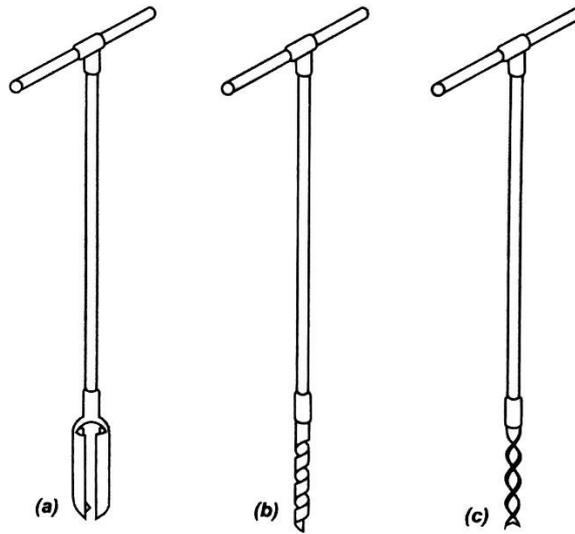
5.3.2. Sondagens a trado

Segundo Velloso & Lopes (2010):

“As sondagens a trado são perfurações executadas com um dos tipos de trado manuais [...]. A profundidade está limitada à profundidade do nível d'água, e as amostras retiradas são deformadas”.

Essa investigação geralmente não possui grande profundidade devido ser caráter manual (figura 2).

Figura 2: Trados manuais mais utilizados: (a) cavadeira, (b) espiral ou “torcido” e (c) helicoidal



Fonte: Extraído de VELLOSO & LOPES (2010)

A definição e execução desse tipo de sondagem, segundo Salame (2003), é feita da seguinte forma:

Escavações diretas através da perfuração por giro manual de uma broca tipo helicoidal, cavadeira ou torcida, ligada a uma haste de ferro ou aço de 1/2" ou 3/4" de diâmetro, geralmente até 3,0 metros de profundidade ou até atingir solo impenetrável ou o nível do lençol freático, com retirada de amostras deformadas, utilizado em reconhecimento rápido e de baixo custo, para análise das camadas superficiais. (p. 68)

Mesmo que geralmente a profundidade dessa investigação atinja o valor de 3,0 metros, ela pode ir além disso. No entanto, o equipamento utilizado possui suas limitações. Além disso, há também o dificuldade de penetrar em camadas mais profundas, uma vez que a resistência do solo tende a aumentar proporcionalmente à profundidade do mesmo. Existe também o fato de que esse tipo de sondagem está atrelada a pequenas investigações, quando a superestrutura prevista em projeto não seja de edifícios tão altos, (CHAVES,2004).

Essas amostras são caracterizadas pelo processo tátil-visual e anotadas no relatório que comumente os operadores descrevem o nível de dificuldade da escavação, podendo ser fácil, médio ou difícil. Sendo assim, essa sondagem não quantifica os parâmetros do solo. Entretanto, ela possui sua contribuição que,

quando associada aos dados da sondagem SPT, possibilitam traçar o perfil geológico do subsolo estudado (CHAVES, 2004).

As sondagens a trado, assim como os poços, são realizadas a partir da fase de viabilidade técnico-econômica de um empreendimento, podendo o critério de espaçamento entre os furos de uma sondagem e outra variar de acordo com a complexidade da região, fase de estudo do projeto e com as normas e diretrizes executivas estabelecidas pelos órgãos regionais (VELOZO, 2010).

De acordo com Chaves (2004), as informações do solo que se obtém por meio de sondagens a trado são:

- Tipo de solo;
- Detecção e profundidade do nível de água;
- Grau de dificuldade de escavação;
- Indicação de possível afloramento de rochas.

5.3.3. Sondagem a percussão e o SPT

A sondagem a percussão se caracteriza por perfurações feitas no solo que tem a capacidade de ultrapassar o nível d'água e também solos relativamente compactos, (VELLOSO & LOPES, 2010). No entanto, esse tipo de sondagem normalmente não ultrapassa matacões e blocos de rochas, podendo ser detida por pedregulhos.

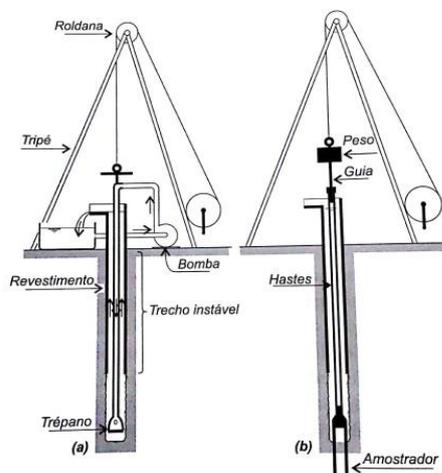
A estabilidade do solo a ser amostrado exigirá, ou não, que a perfuração seja revestida com o intuito de que a escavação não se vede devido as forças exercidas pelo maciço terroso.

A NBR 6484/2001, Solo – Sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio, caracteriza o procedimento como sendo a cravação ou perfuração dinâmica de um amostrador padrão, a cada metro, resultando na determinação do tipo de solo, de um índice de sua resistência mecânica, e também da existência ou não do lençol freático.

O SPT é, provavelmente, o ensaio mais conhecido e utilizado no mundo, reconhecido como sendo uma rotineira e econômica ferramenta de investigação geotécnica. Ele serve como indicativo da densidade de solos granulares e é aplicado também na identificação da consistência de solos coesivos, além de rochas brandas. No entanto, a tendência observada nos últimos anos é que ele seja substituído pelo SPT-T, uma vez que este é mais completo (HACHICH *et al.*, 1998) e (SCHNAID & ODEBRECHT, 2012).

Esse método de investigação do subsolo consiste na cravação de um amostrador normalizado (o amostrador padrão citado anteriormente) cujo nome original é Raymond-Terzaghi através de colisões de um peso de 65 kgf caindo a uma altura de 75 cm (figura 3a e 3 b). Anota-se o número de golpes necessários para que se penetre 45 cm do amostrador no solo em 3 conjuntos de 15 cm (VELLOSO & LOPES, 2010).

Figura 3: Equipamentos para execução de sondagem a percussão: (a) Avanço da sondagem por meio de desagregação e lavagem; (b) Ensaio de penetração dinâmica (SPT)



Fonte: Extraído de VELLOSO & LOPES (2010)

Embora se possa obter mais informações por meio desse tipo de sondagem, Chaves (2004) afirma que utilizam-se apenas os seguintes dados:

- Tipo de solo (caracterização táctil-visual);
- Profundidade do nível d'água;

- N – índice de resistência mecânica do solo quantificado a partir do número de golpes realizados para a cravação dos 30 cm finais do amostrador.

Esse ensaio mostra grande praticidade uma vez que sua larga implementação tornou possível que se fizessem correlações entre o N com outros parâmetros como a resistência do solo à compressão e módulo de elasticidade. Isso implica em uma redução nos custos de investigações geotécnicas visto que tais correlações dispensam a execução de outros ensaios, (CHAVES, 2004).

5.3.4. SPT-T

A medida do torque é efetuada ao término de cada ensaio de penetração SPT, (HACHICH, W. *et al*, 1998). Possui basicamente:

- Torquímetro: ferramenta que mede o torque;
- Chave soquete: ferramenta utilizada para atarraxar e desatarraxar pinos e porcas;
- Disco centralizador: disco de aço que possui um furo central que tem por objetivo manter a sondagem a percussão centralizada em relação ao tubo guia ou revestimento;
- Pino adaptador: tarugo sextavado de aço.

Esse tipo de sondagem, de acordo com Hachich *et al* (1998), é executada da seguinte forma:

Cravado o amostrador padrão, conforme prevê a norma brasileira NBR 6484, retira-se a cabeça de bater, coloca-se o disco centralizador [...] e rosqueia-se na mesma luva, onde estava acoplada a cabeça de bater, o pino adaptador [...]. Encaixa-se o pino na chave soquete de medida tal que se ajuste perfeitamente ao sextavado. Acopla-se o torquímetro à chave soquete. Inicia-se o movimento de rotação da haste de uma polegada através de um operador, usando-se o torquímetro como braço de alavanca. (p. 122)

É necessário que outro operador fique de prontidão durante a execução dessa investigação para anotar os valores de torque máximo necessário para sobrepujar a adesão entre o solo e o amostrador marcados pelo torquímetro e

notificar o operador que executa a sondagem para que ele interrompa a rotação quando essa leitura for alcançada, (PEIXOTO, 2001).

5.3.5.CPT e CPT-U

Os ensaios de cone e piezocone, CPT e CPT-U, respectivamente, são conhecidos internacionalmente como algumas das ferramentas mais importantes para a investigação geotécnica. Os resultados de tais ensaios podem ser utilizados para determinar a estratigrafia do perfil dos solos e suas propriedades, particularmente nos casos em que se tratarem de argilas moles (SCHNAID & ODEBRECHT, 2012).

Tais ensaios consistem basicamente, de acordo com a NBR 12069/1991, na cravação de um cone no solo a uma velocidade de 20 mm/s \pm 5mm/s. A seção transversal do cone é de 10 cm², podendo também ser de 15 cm² para equipamentos mais robustos e de 5 cm² para casos especiais. Os procedimentos de ensaio do CPT e CPT-U são os mesmos mas o que os diferencia um do outro são, segundo Schnaid & Odebrecht (2012), os equipamentos:

- a) Cone mecânico ou simplesmente cone: caracterizado pela medida, na superfície, via transferência mecânica por meio de hastes, dos esforços necessários para cravar a ponta cônica e do atrito lateral cone-solo;
- b) Piezocone: caracterização das mesmas medidas do cone mecânico e ainda possibilita a contínua monitoração das pressões neutras geradas durante o processo de cravação.

O CPT ou CPT-U devem ser utilizados quando os responsáveis pelas investigações geotécnicas acharem relevante que haja um estudo mais detalhado do terreno.

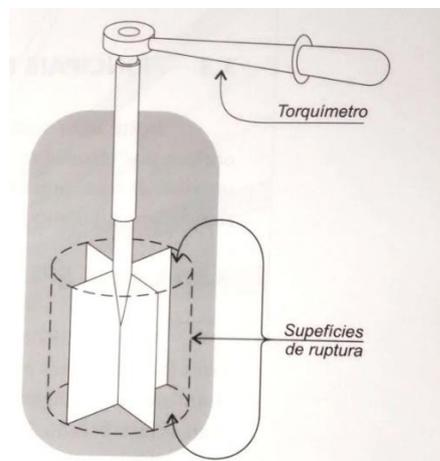
5.3.6. O ensaio da palheta (*Vane test*)

O ensaio de palheta, também conhecido como *vane test*, é utilizado para caracterizar argilas moles, tendo, assim, seu uso limitado. Segundo Schnaid & Odebrecht (2012):

O ensaio de palheta visa determinar a resistência não-drenada do solo *in situ*. Para tanto, utiliza uma palheta de seção cruciforme que, quando cravada em argilas saturadas de consistência mole a rija, é submetida a um torque necessário para cisalhar o solo por rotação em condições não-drenadas. É necessário, por tanto, um conhecimento prévio da natureza do solo onde será realizado o ensaio, não só para avaliar sua aplicabilidade, como para, posteriormente, interpretar adequadamente os resultados (p. 128).

Neste ensaio (figura 4), admite-se que a ruptura do solo se dá na superfície de um cilindro de diâmetro d e altura h , onde o torque necessário para isso é medido, e é tradicionalmente empregado quando se quer determinar a resistência ao cisalhamento não drenada de depósitos de argilas (VELLOSO & LOPES, 2010) e (SCHNAID & ODEBRECHT, 2012).

Figura 4: Ensaio de palheta



Fonte: Extraído de Velloso & Lopes (2010)

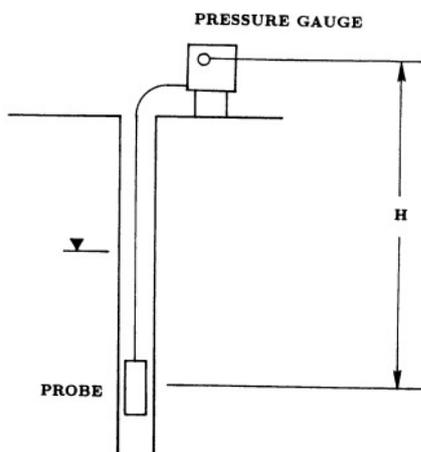
5.3.7. O pressiômetro de *Ménard*

O termo pressiômetro foi utilizado pela primeira vez pelo engenheiro francês *Louis Ménard* em 1955, para definir um elemento de forma cilíndrica projetado para aplicar uma pressão uniforme nas paredes de um furo de

sondagem, através de uma membrana flexível, (SCHNAID & ODEBRECHT, 2012).

O ensaio do pressiômetro de *Ménard*, por não possuir norma brasileira, deve ser executado de acordo com a norma ASTM D 4719-87 – *Standard test method for pressuremeter testing in soils*, que o caracteriza basicamente como a introdução de uma sonda cilíndrica em um furo aberto no solo e na aplicação de uma pressão na sonda de tal forma que ela expanda e comprima horizontalmente o solo em contato com sua superfície em contato com este último (figura 5).

Figura 5: Ensaio do pressiômetro de Ménard



Fonte: Extraído de ASTM D 4719-87

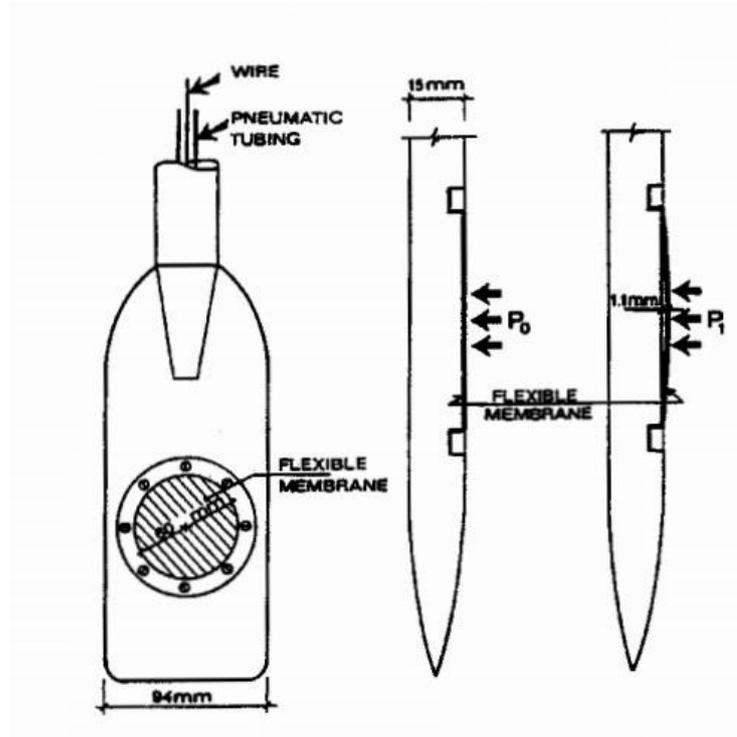
Sobre os ensaios pressiométricos, eles se propõem a medir o módulo de deformação transversal, que se utiliza no cálculo de recalques, e a pressão-limite que corresponde à ruptura dos terrenos, que influencia nos cálculos de estabilidade de fundações, (CAPUTO,1988).

5.3.8.O dilatômetro de Marchetti

O dilatômetro foi desenvolvido pelo professor Silvano Marchetti, na Itália, em 1975, para estimar a tensão horizontal do solo *in situ* e outros parâmetros geotécnicos como o coeficiente de empuxo no repouso, módulo de elasticidade, ângulo de atrito interno de areias, entre outros (ALMEIDA, 1998). O equipamento

consiste em uma lâmina metálica plana de 94 mm de largura, 15 mm de espessura e aproximadamente 235 mm de comprimento, contendo uma membrana circular de aço montada em uma das faces (figura 6).

Figura 6: Layout da lâmina do dilatômetro de Marchetti



Fonte: Extraído de Almeida (1998)

Os procedimentos desse ensaio não são regulamentados por normas brasileiras mas sim pela *American Society for Testing and Materials (ASTM)* – D 6635-01 – *Standard test method for performing the flat plate dilatometer test* e pela norma europeia *Eurocode 7 – Geotechnical Design – part 3 – Design assisted by field testing – section 9 – Flat dilatometer test (DMT)*, que afirmam, basicamente, que tal ensaio consiste na cravação segmentada do dilatômetro no solo, geralmente em intervalos de 20 cm, e a cada interrupção efetuam-se duas leituras. A velocidade de penetração do equipamento no solo não é padronizada mas geralmente usa-se a velocidade de 20 mm/s.

5.3.9. Os ensaios de carregamento de placa – provas de carga

O ensaio de carregamento de placa, também conhecido como ensaio por prova de carga em placa, é uma das melhores maneiras de determinar características relativas à deformação do solo. No Brasil é comum que se utilize placas circulares de ferro fundido ou de aço com diâmetro de 80 cm ou 30 cm, mas pode ser utilizado também placas quadradas cujo lado é de 30 cm, (HACHICH *et al.*, 1998).

Este ensaio, descrito pela NBR 6489/1968 – Prova de carga direta sobre terreno de fundação, consiste basicamente em aplicar uma carga sobre determinada superfície do terreno e medir seu assentamento vertical (DONATO *et al.*, 2012), por meio de uma placa rígida com uma área não inferior a 0,5 m², instalada sobre o solo na mesma cota prevista no projeto de fundações. Essa carga é aplicada verticalmente sobre o centro da placa em estágios, medindo-se a deformação do solo à medida que o carregamento é incrementado. Os resultados são apresentados em um gráfico de pressão x recalque, (RUSSI, 2007). Já não são mais tão utilizados quanto antes (HACHICH *et al.*, 1998).

5.3.10. Os ensaios geofísicos, em particular o ensaio de “Cross-Hole”

Dos ensaios geofísicos, aqueles em que não há necessidade de perfuração do material a ser estudado, o que possui maior relevância, afirmam Hachich *et al.* (1998), é o ensaio “Cross-Hole”, caracterizado pela colocação de uma fonte mecânica geradora de ondas em um furo e, no mínimo, dois geofones em outros dois furos alinhados e no mesmo nível do primeiro que, com os registros de chegada das ondas, calcula-se suas velocidades de propagação que possibilitarão o cálculo do módulo de Young, cisalhamento máximo, e coeficiente de Poisson (ROCHA, 2013).

6. Fundações

As fundações, na engenharia civil, são elementos estruturais que transmitem as forças provenientes de uma edificação para o solo. Geralmente, esses elementos recebem as cargas das estruturas por intermédio dos pilares. Entretanto, isso também pode acontecer via paredes estruturais, (SALAME, 2003). Ao passo que a estabilidade global da edificação depende da capacidade de carga dessas subestruturas, seu desempenho é de suma importância para a edificação como um todo.

Para se executar um projeto de fundações, é imprescindível que o projetista tenha em mãos os elementos necessários ao projeto que, de acordo com Velloso & Lopes (2010), são:

1. Topografia da área
 - a. Levantamento topográfico (planialtimétrico);
 - b. Dados sobre taludes e encostas no terreno (ou que possam atingir/influenciar o terreno).
2. Dados geológicos-geotécnicos
 - a. Investigação do subsolo (preliminar e complementar);
 - b. Outros dados geológicos-geotécnicos (mapas, fotos aéreas e de satélites, levantamentos aerofotográficos, artigos ou dados de qualquer espécie que demonstrem relevância de acordo com experiências anteriores na localidade em questão, etc.).
3. Dados sobre construções vizinhas
 - a. Número de pavimentos, cargas médias de cada pavimento;
 - b. Tipo das estruturas e de suas fundações;
 - c. Desempenho das fundações;
 - d. Informações sobre o subsolo;
 - e. Possíveis consequências de escavações ou vibrações ocasionadas pela nova obra.
4. Informações da estrutura a construir
 - a. Tipo e uso da estrutura;
 - b. Sistemas estruturais (hiperestaticidade, flexibilidade, etc.);

- c. Sistema construtivo (convencional, pré-moldada, etc.);
- d. Cargas.

Os conjuntos de 1 a 3 devem ser cuidadosamente avaliados pelo projetista da(s) fundação(ões) e, no caso do conjunto 4, é necessário que essas informações sejam discutidas entre o responsável pelo dimensionamento do projeto da subestrutura e com o da superestrutura, haja vista a inevitável interação desses elementos, onde deve-se levar em conta as deformações admissíveis, fatores de segurança, etc. (HACHICH *et al.*, 1998).

Além de todas essas informações o projetista das subestruturas deve ter em mente que o dimensionamento e a execução das mesmas devem sempre estar de acordo com as normas técnicas e com os códigos de obras locais.

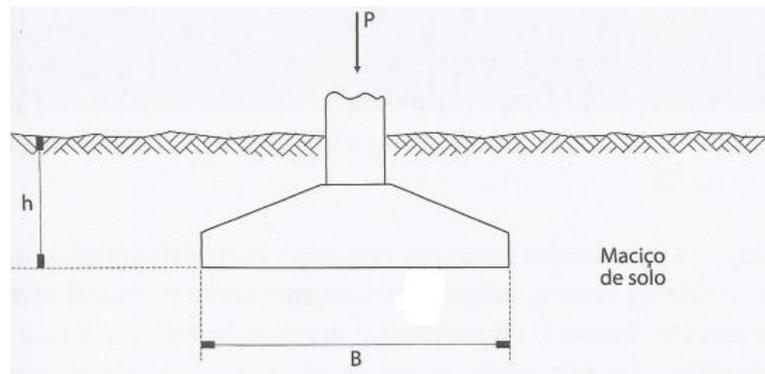
6.1. Fundações superficiais (rasas ou diretas)

Segundo Moreira (2011): “As fundações diretas, [...], são elementos de fundação em que a carga é transmitida ao terreno, predominantemente pelas pressões distribuídas sob a base da fundação”. A NBR 6122/1996 – Projeto e execução de fundações, complementa a definição já dada ao afirmar que a profundidade de assentamento da fundação em relação ao terreno é inferior a duas vezes a menor dimensão desse elemento estrutural.

Ainda de acordo com a NBR 6122/1996, existem vários tipos de fundações diretas. São elas:

- a) Sapata: elemento de fundação de concreto armado dimensionado de modo que as tensões de tração nele produzidas sejam resistidas pela armadura. Pode possuir espessura constante ou variável e possuir base quadrangular, retangular ou trapezoidal quando vista em planta (figura 7);

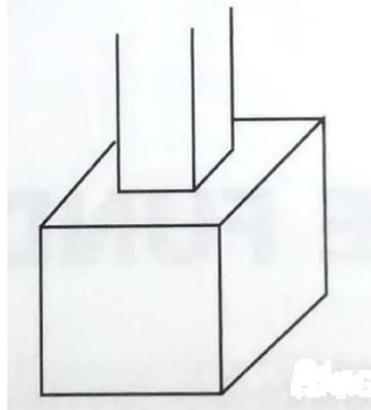
Figura 7: Sistema sapata-solo com profundidade de assentamento h , base B e carregamento P



Fonte: Modificado de Cintra, Aoki & Albiero (2011)

- b) Bloco: elemento de fundação de concreto dimensionado de forma que as tensões de tração nele produzidas possam ser resistidas pelo concreto, não havendo então a necessidade de possuir armadura. Pode ter faces verticais ou não e possui base quadrada ou retangular quando vista em planta (figura 8);

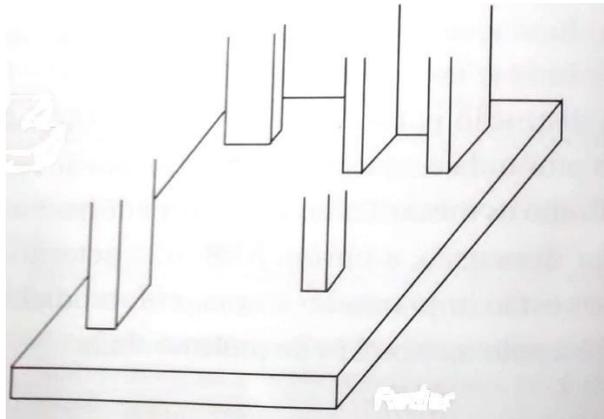
Figura 8: Fundação superficial do tipo bloco



Fonte: Modificado de Velloso & Lopes (2010)

- c) Radier: elemento de fundação que abrange todos os pilares da obra (figura 9);

Figura 9: Fundação superficial do tipo radier



Fonte: Modificado de Velloso & Lopes (2010)

- d) Sapata associada ou radier parcial: Sapata comum a vários pilares cujos centros, em planta, não estejam alinhados;
- e) Viga de fundação: elemento de fundação comum a vários pilares cujos centros, em planta, estejam alinhados;
- f) Sapata corrida: sapata sujeita à ação de uma carga distribuída linearmente.

Além disso, as fundações diretas podem ser divididas, segundo (SALAME, 2003), em:

- a) Contínuas: quando uma das dimensões da base se estende em uma direção e recebem carregamentos distribuídos;
- b) Isoladas: quando as dimensões da base tem valores próximos entre si e trabalham com carregamentos pontuais.

Essas divisões acima possuem subdivisões, de acordo com (SALAME, 2003), podendo ser:

- a) Rígidas: quando sua altura tem dimensões próximas às dimensões da base. Alicerce corrido e bloco, por exemplo.
- b) Semiflexíveis: nos casos em que sua altura é consideravelmente inferior às dimensões da base. Sapata, radier e viga de fundação, por exemplo.

6.2. Fundações profundas

A NBR 6122/1996 dá a seguinte definição para fundações profundas:

Elemento de fundação que transmite a carga ao terreno pela base (resistência de ponta), por sua superfície lateral (resistência de fuste) ou por uma combinação das duas, e que está assente em profundidade superior ao dobro de sua menor dimensão em planta, e no mínimo 3 metros, salvo justificativa (p. 2)

Essa mesma NBR afirma que não há distinção nítida entre tubulão, estaca e caixão. No entanto, aqui será definido apenas a fundação profunda do tipo estaca.

6.2.1. Estacas

São elementos de fundação profunda executados inteiramente por equipamentos ou ferramentas, sem que, em qualquer fase da execução, haja descida do operário, segundo a NBR 6122/1996.

As estacas pode ser classificadas de acordo com vários critérios, de acordo com a NBR 6122/1996, em:

- a) Quanto ao material
 - i. Estacas de concreto pré-moldadas
 - ii. Estacas de concreto armado;
 - iii. Estacas de concreto centrifugado;
 - iv. Estacas de concreto protendido;
 - v. Estacas de aço;
 - vi. Estacas de madeira;
 - vii. Estacas Mistas.
- b) Quanto ao processo executivo
 - a. Percussão: processo executivo em que a própria estaca ou molde é introduzido no solo do terreno por meio de golpes de martelo;

- b. Prensagem: processo executivo em que a estaca ou seu molde é introduzida no solo do terreno por meio da pressão exercida por um macaco hidráulico;
- c. Escavada, com injeção: processo executivo em que injeta-se um produto aglutinante sob pressão, geralmente utiliza-se calda de cimento ou argamassa de cimento e areia.
- d. Vibração: processo executivo desenvolvido para estacas metálicas, consiste no uso de um martelo dotado de garras que gira rapidamente, transmitindo assim à estaca uma vibração de alta frequência que possibilita sua cravação. Esse processo executivo tem suas desvantagens uma vez que a vibração pode afetar obras vizinhas.

7. Apresentação dos resultados

As informações apresentadas neste tópico são referentes a edificações na cidade de São Luís do Maranhão. Os dados serão apresentados em forma de tabela, como já afirmado na metodologia.

Tabela 1: Levantamento de obras realizadas em São Luís

	Identificação da obra	Tipo de edificação (residencial / comercial/ outros)	Nº de Blocos	Nº de pavimentos	Classe da fundação	Início da construção
1	CONDOMÍNIO PORTO DO SOL	Residencial	2	6	Superficial	jan/87
2	EDIFÍCIO CEL. ONOFRE	Residencial	1	7	Superficial	nov/89
3	RESIDENCIAL QUINTAS DO SOL 1a ETAPA	Residencial	10	4	Superficial	out/89
4	EDIFÍCIO MANOEL DIAS DE OLIVEIRA	Residencial	1	13	Superficial	set/93
5	RESIDENCIAL GARVEY PARK	Residencial	1	13	Superficial	out/93
6	EDIFÍCIO VIÑA DEL MAR	Residencial	1	13	Superficial	mar/94
7	EDIFÍCIO SAN MARINO	Residencial	1	11	Superficial	mai/94
8	EDIFÍCIO LIDO	Residencial	1	17	superficial	mai/95
9	EDIFÍCIO PORTAL DA ENSEADA	Residencial	1	17	superficial	jul/95
10	EDIFÍCIO PORTOBELLO	Residencial	1	17	Superficial	dez/95
11	NUMBER ONE FLAT RESIDENCE	Residencial	1	Mais de 15	Superficial	dez/96
12	EDIFÍCIO RUBERVAL PALMEIRA	Residencial	1	17	Superficial	dez/96
13	EDIFÍCIO CHAMPS ELYSÉES	Residencial	1	17	Superficial	set/98
14	EDIFÍCIO HERBENE REGADAS	Residencial	1	17	Superficial	set/99
15	EDIFÍCIO PORTAL DA LAGOA	Residencial	1	9	profunda	set/99
16	CENTRO EMPRESARIAL MENDES FROTA	Comercial	1	13	Superficial	out/99

**Coordenadoria do Curso de Engenharia Civil.
 (Campus Bacanga - São Luís)**

	Identificação da obra	Tipo de edificação (residencial / comercial/ outros)	Nº de Blocos	Nº de pavimentos	Classe da fundação	Início da construção
17	AMERICAN FLAT RESIDENCE	Hotel	1	Mais de 15	Superficial	jun/00
18	ED. MANOEL PALMEIRA	Residencial	1	18	Superficial	ago/00
19	EDIFÍCIO BELLAGIO	Hotel	1	13	Superficial	out/00
20	ED. ELZA REGADAS	Residencial	1	17	Superficial	out/01
21	ED. FRANCISCO NEVES REGADAS	Residencial	1	16	profunda	dez/01
22	ED. JORNALISTA PIRES SABÓIA	Residencial	1	17	Superficial	jan/03
23	ED. SEBASTIÃO BARRETO DE BRITO	Residencial	1	17	profunda	fev/03
24	EDIFICIO BALI	Residencial	1	17	profunda	mar/04
25	EDIFICIO MADRI	Residencial	1	17	superficial	jun/04
26	ED. TWO TOWERS	Residencial	1	17	profunda	mar/05
27	ED. SAINT LOUIS HOTEL	Hotel	1	12	profunda	set/05
28	ED. JOSE TACITO DE ALMEIDA ANDRADE	Residencial	1	17	superficial	out/05
29	ED. TWO TOWER ENDEEL GABRIEL	Residencial	1	17	Profunda	jul/11
30	ED. CARLOS GASPAR	Residencial	1	18	superficial	jan/07
31	ED. JOSÉ GONÇALVES DOS SANTOS FILHO	Residencial	1	17	Profunda	jan/08
32	ED. BAHREIN	Residencial	1	19	Superficial	dez/07
33	RIO ANIL SHOPPING	Comercial	1	3	Profunda	mar/08
34	SOFT INN HOTEL	Hotel	1	15	Profunda	jul/08
35	OFFICE TOWER	Comercial	1	14	Profunda	fev/10
36	GRAND PARK PARQUE DAS ÁGUAS FRANERE - GAFISA	Residencial	10	10	Profunda	set/08

Coordenadoria do Curso de Engenharia Civil.
(Campus Bacanga - São Luís)

	Identificação da obra	Tipo de edificação (residencial / comercial/ outros)	Nº de Blocos	Nº de pavimentos	Classe da fundação	Início da construção
37	GRAND PARK PARQUE DAS ÁRVORES FRANERE - GAFISA	Residencial	10	10	Profunda	set/08
38	GRAND PARK PARQUE DOS PÁSSAROS FRANERE - GAFISA	Residencial	12	10	Profunda	set/08
39	DUBAI RESIDENCE FRANERE - GAFISA	Residencial	2	15	Profunda	dez/08
40	COSTA ARAÇAGY RESIDENCE FRANERE – TENDA	Residencial	11	13	Profunda	dez/08
41	VARANDAS GRAND PARK FRANERE E GAFISA	Residencial	11	10	Profunda	jul/11

Fonte: Próprio autor (2018)

8. Análise dos resultados

Neste capítulo serão analisados os resultados apresentados no capítulo anterior. Serão apresentados os imóveis em função do número de pavimentos, da quantidade de blocos, da classe de fundações e, além disso, essas informações serão correlacionadas. Será levado em conta também uma divisão cronológica desde o ano de 1987, ano da data de início do primeiro imóvel, até 2011, data de início do último imóvel contabilizado no capítulo anterior (tabela 1).

8.1. Classificação em função do número de pavimentos das edificações

Levando em consideração todas as edificações já apresentadas no capítulo anterior, estas foram organizadas em uma tabela que relaciona o número de pavimentos, divididos em intervalos da seguinte forma: até 5 pavimentos, de 6 a 10 pavimentos, de 11 a 15 pavimentos e com mais de 15 pavimentos; e o percentual de construções existentes em cada um dos intervalos (tabela 2).

Tabela 2: Classificação em função do número de pavimentos

Nº de pavimentos	Nº de torres	Percentual
Até 5 pavimentos	11	10,89
De 6 a 10 pavimentos	47	46,53
De 11 a 15 pavimentos	22	21,78
Mais de 15 pavimentos	21	20,79
Total	101	100,00

Fonte: próprio autor (2018)

Observa-se que poucos foram os empreendimentos que apresentaram 5 ou menos pavimentos. Ocorreu uma pequena diferença numérica entre aqueles que possuem de 11 a 15 pavimentos e os com mais de 15 pavimentos. No entanto, a maior discrepância se dá ao comparar-se os imóveis que possuem de 6 a 10 pavimentos com os demais, verificando-se que essa faixa sozinha corresponde a quase 50% do total.

8.2. Número de blocos em função de intervalos cronológicos

Tendo em vista que a data de início da construção da primeira edificação apresentada (tabela 1) foi no ano de 1987 (condomínio Porto do Sol) e a última edificação se iniciou em 2011 (Varandas Grand Park Franere e Gafisa), representando um período de 25 anos, os números de blocos construídos em todos esses anos foram divididos em 3 intervalos de tempo: do ano de 1987 a 1995, de 1996 a 2003 e de 2004 a 2011.

Conforme mencionado anteriormente, o total de 101 blocos corresponde a apenas 43 empreendimentos diferentes. Dessa forma, as tabelas 3, 4 e 5 apresentam, então, o número de empreendimentos com suas respectivas quantidade de blocos construídos em cada período, indicando ainda os percentuais que tais quantidades representam em relação aos totais (de empreendimentos e de blocos).

Tabela 3: Número de blocos por empreendimento no período de 1987-1995

Quantidade de Empreendimentos	% do total de Empreendimentos	Quantidade de Blocos	Total de Blocos	% do Total de Blocos
1	10%	2	2	10%
1	10%	10	10	50%
8	80%	1	8	40%

Fonte: Próprio autor (2018)

Destaca-se que, no período mais remoto da amostra considerada, o padrão geral dos empreendimentos era de possuírem apenas um bloco.

Tabela 4: Número de blocos por empreendimento no período de 1996-2003

Quantidade de Empreendimentos	% do total de Empreendimentos	Quantidade de Blocos	Total de Blocos	% do Total de Blocos
13	100%	1	13	100%

Fonte: Próprio autor (2018)

Novamente, nesse período o padrão dos empreendimentos continuou sendo de construções com apenas um bloco, com 100% da amostra apresentando essa característica.

Tabela 5: Número de blocos por empreendimento no período de 2004-2011

Quantidade de Empreendimentos	% do total de Empreendimentos	Quantidade de Blocos	Total de Blocos	% do Total de Blocos
12	66,67%	1	12	17,65%
1	5,56%	12	12	17,65%
1	5,56%	2	2	2,94%
2	11,11%	10	20	29,41%
2	11,11%	11	22	32,35%

Fonte: Próprio autor (2018)

No período mais recente, nota-se o surgimento de uma nova tendência, na qual os empreendimentos passam a apresentar maior número de blocos, nos chamados “condomínios clubes”. Verifica-se que, para esse intervalo de anos, pouco mais de 27% dos empreendimentos já são constituídos por condomínios com mais de 10 blocos, enquanto as construções com apenas um bloco, apesar de ainda predominantes, passam a ter sua participação relativa diminuída, representando agora apenas dois terços da amostra.

No que diz respeito ao número de blocos em função dos anos (intervalo de anos) o intervalo mais antigo apresentou mais blocos que o segundo. Já o período mais atual registrado, do ano de 2004 até 2011, prevaleceu sobre os demais, correspondendo a mais de dois terços do total.

8.3. Classe das fundações

Considerando as duas classe de fundações, as superficiais e as profundas, será mostrado a seguir o percentual que cada uma dessas classes relativas aos 101 blocos aqui analisados (tabela 6).

Tabela 6: Classe das fundações

	Número de blocos	Percentual
Superficiais	34	33,66
Profundas	67	66,34
Total	101	100,00

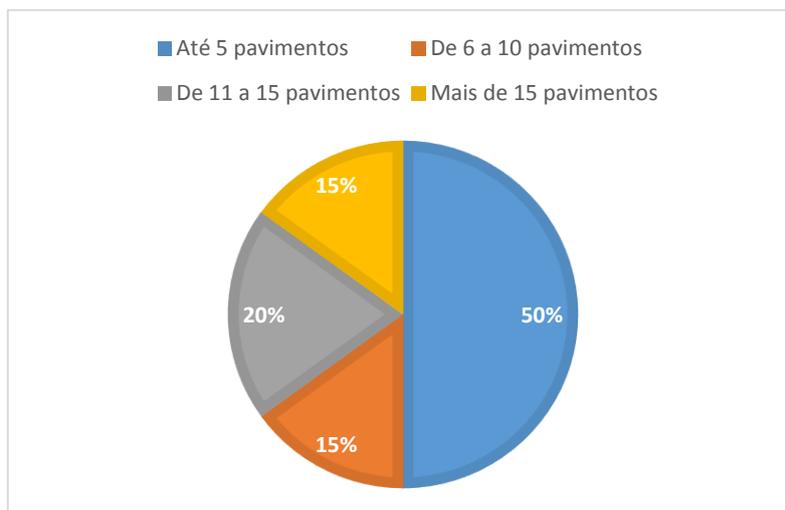
Fonte: Próprio autor (2018)

Observa-se então a predominância entre a utilização de fundações profundas sobre as fundações superficiais.

8.4. Percentual do número de pavimentos dos blocos em função da estratificação cronológica

A fim de verificar a existência de uma tendência das edificações em relação às suas quantidades pavimentos, foi feita a correlação entre o número de pavimentos, levando em consideração os intervalos de até 5 pavimentos, de 6 e 10 pavimentos, de 11 a 15 pavimentos e mais de 15 pavimentos, dos empreendimentos (tabela 1) de acordo com os intervalos cronológicos adotados (1987 a 1995, de 1996 a 2003 e de 2004 a 2011) (gráfico 1).

Gráfico 1: Percentual de empreendimentos em função do número de pavimentos entre 1987 e 1995

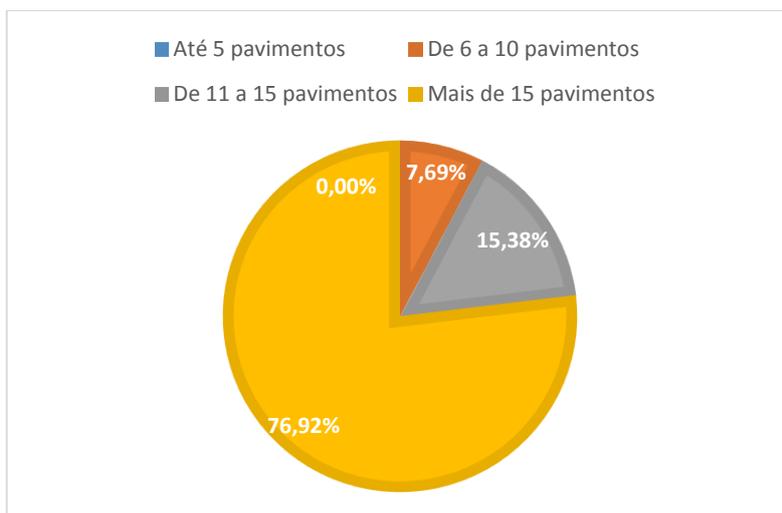


Fonte: Próprio autor (2018)

Percebe-se, nesse período, a predominância entre os edifícios com até 5 pavimentos sobre os demais. Tal predominância chama atenção, uma vez que, no levantamento geral, construções com esse número de pavimentos são as menos encontradas

No intervalo de tempo intermediário, entre os anos de 1996 e 2003, tem-se os resultados indicados no gráfico 2.

Gráfico 2: Percentual de empreendimentos em função do número de pavimentos entre 1996 e 2003

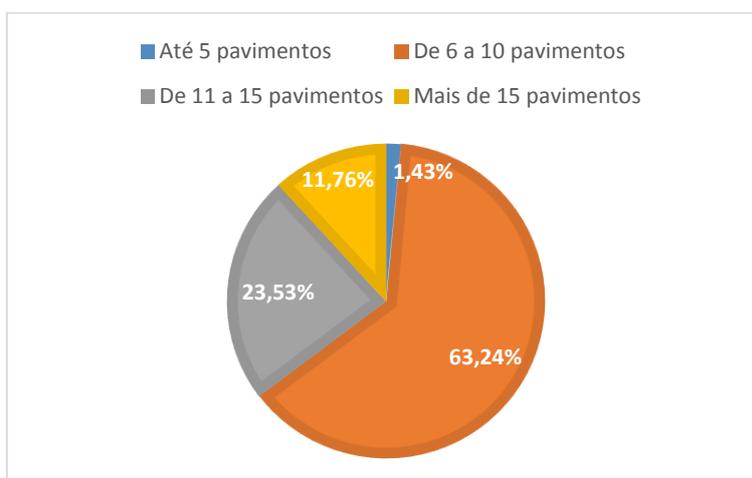


Fonte: Próprio autor (2018)

Nesta comparação há um certo desequilíbrio uma vez que os imóveis com mais de 15 pavimentos possuem uma diferença significativa quando comparado aos demais. Observa-se também que, neste período, não há edificações que possuem 5 ou menos pavimentos.

O gráfico 3 apresenta os resultados para o último intervalo, entre os anos de 2004 e 2011.

Gráfico 3: Percentual de empreendimentos em função do número de pavimentos entre 2004 e 2011



Fonte: Próprio autor (2018)

Dessa vez os edifícios que possuem de 6 a 10 pavimentos predominaram, seguidos por aqueles de 11 a 15 pavimentos. E novamente, os edifícios com 5 ou menos apresentaram uma ocorrência muito inferior à dos demais.

8.5. Percentual das classes de fundações de acordo com a estratificação cronológica

Aqui serão correlacionados os dados referentes às classes de fundações apresentadas na tabela 1 com seus respectivos anos, divididos nos mesmos intervalos cronológicos mostrados anteriormente. Apresenta-se, no gráfico 4, as análises referentes ao intervalo de 1987 a 1995:

Gráfico 4: Fundações superficiais x fundações profundas entre 1987 e 1995



Fonte: Próprio autor (2018)

Para o primeiro período, chama a atenção o fato de haver predominância absoluta das fundações superficiais, com todos os vinte blocos desse período possuindo fundações dessa classe.

No intervalo seguinte, de 1996 a 2003, tem-se os resultados indicados no gráfico 5.

Gráfico 5: Fundações superficiais x fundações profundas entre 1996 e 2003



Fonte: Próprio autor (2018)

Observa-se que ainda houve predominância das fundações superficiais mesmo que a representatividade das fundações profundas tenha aumentado.

Por fim, o gráfico 6 corresponde ao intervalo de 2004 até 2011.

Gráfico 6: Fundações superficiais x fundações profundas entre 2004 e 2011



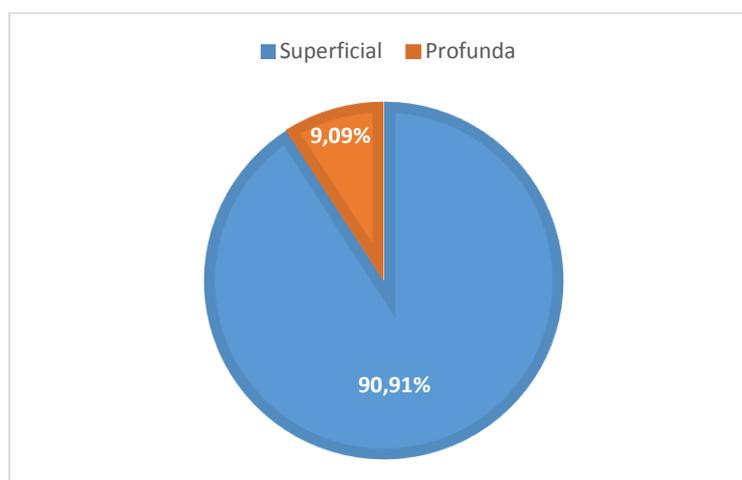
Fonte: Próprio autor (2018)

Já no último período avaliado as fundações profundas predominaram, apresentando um aumento de mais de 70% em relação a sua representatividade no período de tempo anterior.

8.6. Tipo de fundação em função do número de pavimentos

Neste tópico os dados a serem relacionados são tipo das fundações e a quantidade de pavimentos, de acordo com o mesmo intervalo já utilizado anteriormente. O gráfico 7 refere-se às edificações que possuem até 5 pavimentos.

Gráfico 7: Percentual dos tipos de fundações dos empreendimentos que possuem até 5 pavimentos



Fonte: próprio autor (2018)

Percebe-se que para os empreendimentos mais baixos houve a predominância das fundações rasas. Ressalta-se que o percentual de construções que adotaram fundação profunda, nessa situação, refere-se na verdade a um único empreendimento, o qual tem um caráter diferenciado, por tratar-se de um shopping, ou seja, uma construção que apesar de ter poucos pavimentos não se configura como de pequeno porte.

Para as edificações que possuem de 6 até 10 pavimentos, tem-se o gráfico 8.

Gráfico 8: Percentuais dos tipos de fundações dos empreendimentos que possuem de 6 a 10 pavimentos

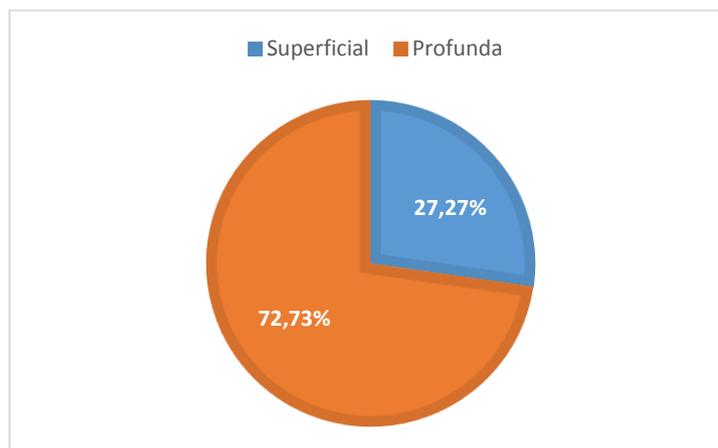


Fonte: Próprio autor (2018)

Percebeu-se uma inversão no percentual das fundações em relação ao gráfico anterior, em que desta vez as fundações profundas prevaleceram.

Os percentuais das fundações das edificações que possuem de 11 a 15 pavimentos são apresentados no gráfico 9.

Gráfico 9: Percentuais dos tipos de fundações dos empreendimentos que possuem de 11 a 15 pavimentos



Fonte: Próprio autor (2018)

Novamente as fundações profundas possuíram maior representatividade que as rasas.

Já para o último caso, referente aos empreendimentos com mais de 15 pavimentos, os resultados são apresentados no gráfico 10.

Gráfico 10: Percentuais dos tipos de fundações dos empreendimentos que possuem mais de 15 pavimentos



Fonte: Próprio autor (2018)

A utilização de fundações superficiais preponderou sobre as profundas com uma diferença de quase 50%, a despeito de tratar-se do intervalo referente aos prédios de maior número de pavimentos

9. Considerações finais

A tabela 1 mostra que dos 101 torres contabilizados neste trabalho 47 deles, que representam 46,53%, possuem entre 6 e 10 pavimentos. A cidade de São Luís ainda hoje não possui edificações do tipo “arranha-céu”, com número realmente elevado de pavimentos. Para a amostra estudada o bloco que apresentou a maior quantidade possui 19 pavimentos.

No que diz respeito à análise do número de construções em cada período percebe-se a predominância de edifícios construídos no intervalo entre os anos de 2004 a 2011, representando 67,33%. Tal percentual reflete um período recente de grande expansão da construção civil, relacionado a um momento em que a economia do país se encontrava “aquecida”, proporcionando alta de valores do metro quadrado, repercutindo em grande número de empreendimentos lançados. Destaca-se também que mesmo tendo havido um quantitativo menor de empreendimentos entre os anos de 1987 e 1995, seu número de torres foi maior que aqueles construídos entre 1996 e 2003.

Em relação à comparação do número de pavimentos das edificações em cada período, os resultados obtidos mostram que houve uma tendência de edifícios com até 5 pavimentos no primeiro intervalo de tempo. Já no período seguinte, a tendência foi de edifícios com 15 pavimentos ou mais para que então, entre os anos de 2004 e 2011, prevalecessem os edifícios com 6 a 10 pavimentos. É natural que com o decorrer do tempo as edificações passem a ser mais verticais uma vez que o crescimento populacional ocorre constantemente ocasionando uma maior demanda por edificações de forma geral. No entanto, esse aumento do número de empreendimentos altos não ocorreu no último período. Uma possível explicação pode estar relacionada ao número de empreendimentos e torres construídos em cada período. Observa-se que no segundo período foram poucos empreendimentos e o padrão eram torres únicas (e em geral com poucos apartamentos por andar) que, por isso, “precisavam” ser mais altas do ponto de vista de investimento da construtora. Já no último período, o número de pavimentos pode ter voltado a decrescer porque os empreendimentos passaram a ter mais torres (conforme tabela 5).

Sobre a classe de fundações utilizados nos edifício de maneira geral, percebeu-se a predominância das fundações profundas sobre as superficiais. Os resultados mostram, entretanto, que grande parte das fundações rasas foram utilizadas entre os dois primeiros intervalos de tempo, de 1987 a 1995 e de 1996 a 2003, períodos em que tal classe de fundações predominava em relação às profundas. Já entre os anos de 2004 e 2011 observou-se a inversão da tendência, com o percentual de torres que adotaram fundações profundas superando significativamente os que adotaram superficiais. Notou-se também que desses últimos empreendimentos apenas um deles possui 5 pavimentos ou menos. Isso pode ser um indicativo de que, com o decorrer dos anos, a construtora em questão tenha optado por utilizar fundações profundas.

Por fim, a relação entre o tipo de fundação adotada e o número de pavimentos indica uma predominância de fundações superficiais para os torres com até 5 pavimentos, o que é esperado. Já as fundações profundas predominaram para construções de 6-10 e 11-15 pavimentos, que reflete uma tendência natural de se necessitar de fundações profundas à medida que ocorre a verticalização da cidade. Destaca-se aqui o resultado encontrado para prédios com mais de quinze pavimentos, em que foi verificada adoção majoritária de fundações superficiais, contrariamente ao que seria esperado para edifícios de maior porte. Uma possível explicação pode ser justamente o fato de que a maior parte dos edifícios com mais de 15 pavimentos foram construídos no segundo período considerado, no qual aparentemente as soluções em fundações superficiais tinham a preferência nas construções locais, ao menos no que se refere à amostra estudada, talvez por questões referentes à limitação de opções de fundações profundas no mercado local naquele momento.

Referências

ABNT – Associação Brasileira de normas técnicas. Abertura de poço e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas. NBR 9604, Set. 1986.

_____. Programação de sondagens de simples reconhecimento dos solos para fundações de edifícios. NBR 8036, Jun. 1983.

_____. Projeto e execução de fundações. NBR 6122, Mai. 1996.

_____. Prova de carga direta sobre terreno de fundação. NBR 6489, Dez. 1968.

_____. Solo – Ensaio de penetração de cone *in situ* (CPT). NBR 12069, Jun. 1991.

_____. Sondagem a trado. NBR 9603, Set. 1988.

_____. Sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio. NBR 6484, Fev. 2001.

ALMEIDA, Neemias Jardim. **Metodologia de Previsão de Capacidade de Carga Vertical e Horizontal com o Dilatômetro de Marchetti**. (161 f.) Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) – Universidade de Brasília, Brasília, 1998.

Amorin, K. (2014). Construção civil cresceu 74,25% nos últimos anos, revela estudo do SindusCon-MG. Construção Mercado: negócios de incorporação e construção. Disponível em: <http://construcaomercado.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/negocios/construcao-civil-cresceu-7425-nos-ultimos-20-anos-revela-estudo-323993-1.aspx>. Acesso em: jul/2018.

ASTM Standard D4719-87. (1988). "Standard Test Method for Pressuremeter Testing in Soils". Annual book of ASTM Standards. American Society for Testing and Materials. Vol. 04.08. Philadelphia.

BORGATTO, A. V. A. **Mecânica dos solos**. Rio de Janeiro: Estácio, 2017.

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. Vol. 1. 6 ed. Rio de Janeiro: LTC editora, 1988.

CINTRA, José Carlos A.; AOKI, Nelson; ALBIERO, José Henrique. **Fundações diretas: projeto geotécnico**. 1 ed. Oficina de textos, 2011.

CHAVES, R. A. **Fundações de torres de linhas de transmissão e de telecomunicação**. (214 f.) Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004.

DONATO, M., MUHAMMAD, D., THOMÉ, A., CONSOLI, N. Ensaio de placa com medidas diretas de tensão. In: Geosul – VIII Simpósio de prática de engenharia geotécnica da região SUL, 2012, Porto Alegre/RS. **Anais...** Porto Alegre: UNIJUÍ: 2012.

FLORES, E. A. F. **Análises probabilísticas da estabilidade de taludes considerando a variabilidade espacial do solo**. (178 f.). Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

Fochezatto, A. e Ghinis, C. P. **Determinantes do crescimento da construção civil no Brasil e no Rio Grande do Sul: evidências da análise de dados em painel**. Ensaio FEE, Porto Alegre, v. 31, Número Especial, p. 648-678, jun. 2011.

HACHICH, W., FALCONI, F. F., SAES, J. L., FROTA, R. G. Q., CARVALHO, C. S., NIYAMA, S. **Fundações: teoria e prática**. 2 ed. São Paulo: Pini, 1998.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo 2010. Disponível em: < <https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/sociais/populacao/9662-censo-demografico-2010.html?=&t=resultados>>. Acesso em: jul/2018.

IMESC. Produto Interno Bruto do Estado do Maranhão – Período 2010 a 2014. Produt. Inter. Brut. do Maranhão, São Luís, V. 11, p. 1-42, 2016. Disponível em: http://imesc.ma.gov.br/src/upload/publicacoes/DivulgacaoPIB_2014.pdf. Acesso em: jul/2018.

Ministério do Trabalho. RELAÇÃO ANUAL DE INFORMAÇÕES SOCIAIS – RAIS 2011, 2011 – Disponível em: <ftp://ftp.mtps.gov.br/pdet/rais/2011/estaduais/MA.pdf>. Acesso em: jul. 2019.

MOREIRA, M. M. P. **Capacidade de carga em fundações superficiais.** (133 f.). Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2011.

PEIXOTO, A. S. P. **Estudo do ensaio SPT-T e sua aplicação na prática de engenharia de fundações.** (510 f.) Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2001.

ROCHA, B. P. **Emprego do ensaio SPT sísmico na investigação de solos tropicais.** 2013. (117 f.) Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

RUSSI, D. **Estudo do comportamento de solos através de ensaio de placa de diferentes diâmetros.** 2007. (149 f.). Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

SALAME, A. M. **Mapeamento das fundações mais usadas na cidade de Belém – PA: Aspectos gerais e proposta preliminar de mapeamento de soluções utilizadas em casos recentes.** 2003. (182 f.). Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2003.

SCHNAID, F.; ODEBRECHT, E. **Ensaio de campo e suas aplicações à engenharia de fundações**. 2 ed. São Paulo: Oficina de textos, 2012.

VANMARCKE, E. H. **Probabilistic Modelling of Soils Profiles**. Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE. Vol. 103, 1997. Pag. 1227-1246.

VELOZO, L. T. **Metodização do estudo das fundações para suportes de linha de transmissão**. (153 f.) Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro, 2010.

VELLOSO, D. A.; LOPES, F. R. **Fundações: critérios de projeto, investigação do subsolo, fundações superficiais, fundações profundas**. São Paulo: Oficina de textos, 2010.