



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

LUANNA BERNARDO ROSAS DE LIMA

**AVALIAÇÃO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DEVIDO AO RECALQUE
DIFERENCIAL DE FUNDAÇÕES NO MUNICÍPIO DE JOÃO PESSOA**

JOÃO PESSOA

2021

LUANNA BERNARDO ROSAS DE LIMA

**AVALIAÇÃO DE PATOLOGIAS ESTRUTURAIS DEVIDO AO RECALQUE
DIFERENCIAL DE FUNDAÇÕES NO MUNICÍPIO DE JOÃO PESSOA**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Coordenação do Curso de Engenharia Civil da
Universidade Federal da Paraíba, como um dos
requisitos obrigatórios para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr^a. Cibelle Guimarães Silva
Severo

JOÃO PESSOA

2021

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

L732aa Lima, Luanna Bernardo Rosas de.

AValiação de manifestações patológicas devido ao
recalque diferencial de fundações no município de João
Pessoa / Luanna Bernardo Rosas de Lima. - João Pessoa,
2021.

77 f. : il.

Orientação: Cibelle Guimarães Silva Severo.
TCC (Graduação) - UFPB/CT.

1. Manifestações patológicas. 2. Solo. 3. Fundação. 4.
Recalque. 5. Investigações geotécnicas. I. Severo,
Cibelle Guimarães Silva. II. Título.

UFPB/BSCT

CDU 62

FOLHA DE APROVAÇÃO

LUANNA BERNARDO ROSAS DE LIMA

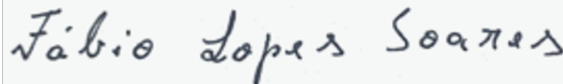
AVALIAÇÃO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DEVIDO AO RECALQUE DIFERENCIAL DE FUNDAÇÕES NO MUNICÍPIO DE JOÃO PESSOA

Trabalho de Conclusão de Curso em 05/07/2021 perante a seguinte Comissão Julgadora:



Aprovado

Cibelle Guimarães Silva Severo
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB



Aprovado

Fábio Lopes Soares
Universidade Federal da Paraíba



Aprovado

Aline Flávia Nunes Remígio Antunes
Universidade Federal da Paraíba



Prof.ª Andrea Brasiliano Silva
Matrícula Siape: 1549557
Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil

Dedico este trabalho à mulher da minha vida,
minha avó Arlinda, que me ensinou na prática
sobre humildade, perseverança e luta.

*“Se avexe não
Amanhã pode acontecer tudo, inclusive nada
Se avexe não
Que a lagarta rasteja até o dia em que cria asas
Se avexe não
Que a burrinha da felicidade nunca se atrasa
Se avexe não
Amanhã ela para na porta da sua casa
Se avexe não
Toda caminhada começa no primeiro passo
A natureza não tem pressa, segue seu compasso
Inexoravelmente chega lá
Se avexe não
Observe quem vai subindo a ladeira
Seja princesa ou seja lavadeira
Pra ir mais alto, vai ter que suar”*

(Flávio José)

AGRADECIMENTOS

Agradeço, acima de qualquer coisa, à Deus, meu fiel amigo e protetor, o pilar necessário da minha vida, que me dá toda força e coragem para trilhar os meus sonhos. E a Nossa Senhora, minha companheira inigualável, responsável por toda calma diante das tribulações.

Agradeço à minha mãe Luzia e ao meu pai Napoleão, por vencerem tantos obstáculos em prol do melhor pra mim, por todo apoio, amor e suporte necessário em todos os momentos da minha vida e, acima de tudo, por tornarem os meus sonhos, nossos.

Agradeço à minha avó Arlinda, razão de tudo que sou hoje, por ter me ensinado na simplicidade a importância da educação, do respeito e da resiliência.

Agradeço às minhas tias-mães, Ana, Célia, Penha e Rosineide e ao meus tios-pais Bernardo Filho (*in memoria*) e Pedro Meira por toda confiança, cuidado e zelo. Me orgulho em saber que o pouco que ainda sou hoje, tem muito deles.

Agradeço à minha avó Ceci e à minha tia Vanda por tanto carinho e orgulho depositados em mim, essencial nos dias de escuridão.

Agradeço à toda minha família, em especial aos meus irmãos: Lara, Luan e Vitória e aos meus primos-irmãos: Pedrossian, Elayna, Alysson, Janine e Fabinha, por estarem sempre ao meu lado, vibrando com minhas conquistas como se fossem suas.

Agradeço à minha professora orientadora Cibelle Guimarães pela paciência e confiança e aos professores da UFPB que me ensinaram com maestria a vencer todos os processos dessa caminhada: Andrea, Aline, Fábio e Clovis.

Agradeço as minhas irmãs da vida: Ana Luiza e Marília, por serem tão importantes em minha caminhada e serem meu refúgio seguro quando necessário. E aos meus amigos irmãos: Evaldo e Matheus Rabello, por confiarem em mim.

Agradeço aos meus amigos de curso, que tornaram esses 5 anos mais leves: Vitória, Paulinha, Ray, Larissa, Dudu, Rafa, Thiaguinho, Thiago Medeiros, Laissa, Ana, Alexandre e em especial, minha amiga-irmã que foi peça fundamental para que eu chegasse até aqui: Ana Emilia.

Agradeço aos profissionais do colégio Santa Dorotéias por terem me ensinado com maestria o que realmente deve ter valor nessa vida, juntamente com as amizades que tive o prazer de construir lá, em especial: Sthefany, Hadassa, Débora, Larissa, Teteu, Thayna e Liz.

RESUMO

Inerente ao desenvolvimento populacional atrelado ao avanço tecnológico está a expansão da construção civil. No entanto, a utilização de novas tecnologias no campo construtivo, nos processos e materiais de construção, não resultou, na mesma proporção, em construções com níveis de qualidade ou de vida útil maiores. Um significativo índice de manifestações patológicas das mais variadas espécies vem sendo identificadas nas edificações, problemas oriundos devido a um planejamento precário, estudos (geotécnicos, arquitetônicos e estruturais) insuficientes e menor controle sobre processo produtivo. As manifestações patológicas podem ocorrer das mais variadas formas e nos diversos elementos da edificação, sendo as mais recorrentes decorrentes das características do solo que surgem pela negligência nas etapas de caracterização do comportamento do mesmo, além da errônea análise, falta de projeto e má execução das fundações, responsáveis por transmitir as cargas das edificações para o solo. Com isso, o presente estudo busca avaliar as manifestações patológicas devido ao recalque diferencial de fundação no Município de João Pessoa, de acordo com relatos das ocorrências feitas à Defesa Civil do Município, tendo como objetivo analisar as possíveis origens do recalque e avaliar as anomalias das edificações. Através disso, foi possível identificar que fissuras e rachaduras foram as anomalias mais predominantes de acordo com os casos estudados, além da observação importante da necessidade de investigações geotécnicas e acompanhamento de um profissional técnico mesmo em obras de pequeno porte, para evitar problemas maiores como colapso da estrutura.

Palavras Chaves: Manifestações patológicas, solo, fundação, recalque, investigações geotécnicas.

ABSTRACT

Inherent in population development linked to technological advancement is the expansion of civil construction. However, the use of new technologies in the construction field, in construction processes and materials, has not resulted, in the same proportion, in constructions with higher levels of quality or service life. A significant index of pathological manifestations of the most varied species has been identified in buildings, problems arising from poor planning, insufficient studies (geotechnical, architectural and structural) and lesser control over the production process. Pathological manifestations can occur in the most varied forms and in the various elements of the building, the most recurrent being due to the characteristics of the soil that arise from the negligence in the steps of characterizing its behavior, in addition to erroneous analysis, lack of design and poor execution of foundations, responsible for transmitting the loads of buildings to the ground. Thus, the present study seeks to evaluate the pathological manifestations due to the differential settlement of foundation in the Municipality of João Pessoa, according to reports of occurrences made to the Civil Defense of the Municipality, aiming to analyze the possible origins of repression and evaluate the anomalies of the buildings. Through this, it was possible to identify which fissures and cracks were the most prevalent anomalies according to the cases studied, in addition to the important observation of the need for geotechnical investigations and monitoring by a technical professional even in small works, to avoid major problems such as collapse of the structure.

Keywords: Pathological manifestations, soil, foundation, settlement, geotechnical investigations.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Afloramento de fácies areno-argilosa da Formação Barreiras.	19
Figura 2 - Representação de uma sapata isolada.	27
Figura 3 - Representação da sapata associada retangular.	28
Figura 4 - Representação da sapata corrida.	28
Figura 5 - Bloco de fundação superficial.	29
Figura 6 - Representação do radier.	30
Figura 7 - Fluxograma das etapas de projeto e possíveis causas de patologias.	38
Figura 8 - Problema com a adoção de projeto com perfil de solo inadequado.	40
Figura 9 - Superposição de tensões.	41
Figura 10 - Descarga de água de reservatório em solo colapsível.	42
Figura 11 - Fissuras inclinadas devido ao recalque diferencial entre pilares.	44
Figura 12 – Vida útil de projeto (VUP) em anos.	47
Figura 13 - Organograma da metodologia adotada.	48
Figura 14 - Representação dos imóveis da amostra.	51
Figura 15 - Manifestações patológicas no edifício residencial multifamiliar (Relatório 7).	52
Figura 16 - Manifestações patológicas na residência unifamiliar (Relatório 27).	52
Figura 17 - Fundações com vícios construtivos (pedra não argamassada).	53
Figura 18 - Manifestações patológicas no estabelecimento comercial (Relatório 12).	53
Figura 19 - Manifestações patológicas (Relatório 03).	56
Figura 20 - Manifestações patológicas (Relatório 19).	56
Figura 21 - Manifestações patológicas (Relatório 09).	57
Figura 22 - Manifestação patológica presente no relatório 18.	59
Figura 23 - Manifestação patológica presente no relatório 19.	59
Figura 24 - Manifestações patológicas devido ao recalque por capilaridade excessiva.	61
Figura 25 - Manifestações patológicas devido ao recalque por acomodação do solo.	62
Figura 26 - Manifestação patológica devido ao recalque diferencial por adensamento do solo.	63
Figura 27 - Manifestação patológica devido ao recalque diferencial por falta de compactação do solo.	63
Figura 28 - Manifestações patológicas necessitadas de reparos simples (Relatório 05).	65
Figura 29 - Manifestações patológicas necessitadas de reparos urgentes (Relatório 27).	65
Figura 30 - Imóvel interditado pela Defesa Civil de João Pessoa (Relatório 08).	66
Figura 31 - Residência unifamiliar (Relatório 19).	66

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Porcentagem de acordo com a característica dos imóveis.	51
Gráfico 2 – Porcentagem de acordo com a região de localização do imóvel	54
Gráfico 3 – Porcentagem de acordo com o solo predominante	55
Gráfico 4 – Porcentagem de cada sistema construtivo.	58
Gráfico 5 – Porcentagem de cada origem do recalque.	60
Gráfico 6 – Porcentagem da conclusão do prognóstico dos imóveis.	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Deformações diferenciais aceitáveis.	35
Tabela 2 – Efeitos dos recalques nas estruturas.....	36
Tabela 3 – Classificação das aberturas segundo a sua amplitude.....	37
Tabela 4 – Formas de intervenção para manifestações patológicas.	46

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – *Associação Brasileira de Normas Técnicas*

ASTM – *American Society for Testing and Materials*

APA – *Área de Proteção Ambiental*

CPT – *Cone Penetration Test*

CPTU – *Piezocone Penetration Test*

DMT – *Dilatômetro Linear*

ISO – *International Organization for Standardization*

RQD – *Índice de Qualidade da Rocha*

SPT – *Standard Penetration Test*

VUP – *Vida Útil de Projeto*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
1.1	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	16
2	OBJETIVOS.....	17
2.1	OBJETIVO GERAL.....	17
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
3	REFERENCIAL TEÓRICO.....	18
3.1	FORMAÇÃO GEOTECNICA.....	18
3.1.1	Formação Barreiras.....	18
3.1.2	Aluviões.....	19
3.2	INVESTIGAÇÕES GEOTECNICAS.....	20
3.2.1	Processos de Investigações geotécnicas de campo.....	21
3.2.1.1	Sondagens.....	22
3.2.1.2	Ensaio de cone.....	23
3.2.1.3	Ensaio de palheta (<i>Vane test</i>).....	23
3.2.1.4	Ensaio de placa.....	23
3.2.1.5	Ensaio pressiométrico.....	24
3.2.1.6	Ensaio dilatométrico.....	24
3.2.1.7	Ensaio sísmicos.....	24
3.2.1.8	Ensaio de permeabilidade.....	25
3.2.1.9	Ensaio de perda d'água em rocha.....	25
3.3	FUNDAÇÕES.....	25
3.3.1	Características das Fundações Superficiais.....	26
3.3.1.1	Sapatas.....	26
3.3.1.2	Blocos.....	29
3.3.1.3	Radier.....	29
3.3.2	Características das Fundações Profundas.....	30
3.3.2.1	Estacas pré-moldadas.....	30
3.3.2.2	Estacas moldadas <i>in loco</i>	32
3.3.2.3	Tubulões.....	33
3.4	MOVIMENTO DAS FUNDAÇÕES E SEUS EFEITOS.....	33
3.5	PATOLOGIAS ESTRUTURAIS.....	36
3.5.1	Causas e Características das patologias estruturais de fundação.....	37
3.5.1.1	Investigação do subsolo.....	39
3.5.1.2	Análise e projeto.....	39
3.5.1.3	Execução.....	41
3.5.1.4	Evento pós-conclusão da fundação.....	42
3.5.1.5	Degradação dos materiais.....	42
3.6	ENGENHARIA DIAGNÓSTICA.....	43
3.6.1	Vida útil de projeto.....	46
4	METODOLOGIA.....	48
4.1	COLETA DE DADOS.....	48
4.2	SELEÇÃO DOS DADOS.....	48
4.3	CLASSIFICAÇÃO.....	49
4.4	ANÁLISE DO PROGNÓSTICO.....	49

5	RESULTADOS E DISCURSÕES	50
5.1	CLASSIFICAÇÃO DOS PROGNOSTICOS	50
5.1.1	Classificação quanto à característica do imóvel.....	50
5.1.2	Classificação quanto à região de localização e solo predominante	54
5.1.3	Classificação quanto o sistema construtivo	57
5.1.4	Classificação quanto a possível origem do recalque	60
5.1.5	Classificação quanto o prognóstico	63
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	67
7	PUBLICAÇÕES.....	69
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	70
	ANEXO A.....	76

1 INTRODUÇÃO

O considerável desenvolvimento vivido pela construção civil nas últimas décadas, levando em consideração a evolução tecnológica dos materiais de construção e das técnicas de projeto e execução, contribuíram para o declínio da qualidade e da vida útil das edificações, aumentando o número de anomalias nas mesmas (SILVA e JANOV, 2016).

Rezende (2019) afirma que mesmo que anomalias em edificações estivessem presentes por toda evolução da construção civil, esperava-se que, em virtude do maior escopo de recursos incorporados no planejamento e concepção dos projetos, no controle e execução das obras, diminuíssem, proporcionalmente, suas ocorrências.

Segundo Thomaz (1989), as conjunturas socioeconômicas nos países em desenvolvimento, como o Brasil, ocasionaram execuções de obras em menor tempo, não havendo adequações no padrão de controle de materiais e operações, desencadeando uma queda na qualidade das edificações.

O surgimento de uma manifestação patológica em uma edificação pode provir de inúmeros fatores e de diversas fontes, produzidos por meio de causas simples ou combinadas, sendo originados por alguma falha ocorrida em uma das etapas do ciclo de vida da edificação, sendo elas: planejamento, projeto executivo, fabricação fora do canteiro, execução e uso (BOLINA et al., 2019).

Além disso, de acordo com Souza e Ripper (1998) a interação com o meio ambiente (chuva, sol, vento, calor, frio), a falta de manutenção e estudo adequado do solo também são alguns dos fatores que podem contribuir para a deterioração das edificações, e consequentemente, o surgimento de manifestações patológicas.

Helene (1992) afirma que um diagnóstico adequado e completo é capaz de esclarecer todos os sintomas, as causas e as origens. Para cumprir com o objetivo do diagnóstico, é necessário que sejam feitas análises e sejam coletadas informações suficientemente capazes de conduzir o profissional a conclusões seguras, as quais contribuam na identificação da medida corretiva mais adequada para o problema (BOLINA et al., 2019).

Diante das manifestações patológicas existentes, os problemas mais recorrentes são decorrentes das características do solo, sendo a ocorrência de recalques de proporções significativas uma das manifestações patológicas associadas ao binômio solo-fundação mais

expressivas. O recalque é um fenômeno caracterizado pelo rebaixamento de uma edificação, ou parte dela, devido ao adensamento do solo sob sua fundação (REZENDE, 2019). De acordo com Santos (2014) as manifestações patológicas decorrentes dos recalques comprometem além da segurança da estrutura, o entorno da edificação.

Diante do exposto, o presente trabalho busca analisar as manifestações patológicas estruturais decorrentes dos recalques de fundações no município de João Pessoa através de relatórios constituídos pela Defesa Civil local, órgão municipal que atua promovendo ações de prevenção de desastres e ações de emergências.

1.1 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O presente trabalho se organizará em capítulos descritos a seguir:

- a) O atual capítulo aborda a introdução do trabalho.
- b) Em seguida, encontra-se o capítulo 2 que descreve os objetivos que o estudo terá.
- c) O capítulo 3 diz respeito ao referencial teórico, abordando assuntos da natureza geotécnica e sobre a engenharia diagnóstica, com ênfase em recalque de fundações e as manifestações patológicas devido a isso.
- d) Subsequentemente encontra-se o capítulo 4 que aborda a metodologia utilizada para o desenvolvimento da pesquisa.
- e) O capítulo 5 diz respeito aos resultados e discussões do trabalho, descrevendo as análises feitas diante dos relatórios coletados na Defesa Civil de João Pessoa.
- f) Posteriormente, o capítulo 6 aborda a conclusão da pesquisa.
- g) No capítulo 7, encontra-se publicações, relevantes ao assunto do trabalho, feitas pela discente, autora da atual pesquisa.
- h) Por fim, o capítulo 8 lista as referências bibliográficas utilizadas no estudo, seguido do Anexo A.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar as manifestações patológicas possivelmente originadas devido à fatores geotécnicos registradas pela Defesa Civil do município de João Pessoa.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para que o objetivo geral seja alcançado, pretende-se neste trabalho:

- Classificar as amostras quanto ao tipo do imóvel, região de localização, solo predominante, sistema construtivo, idade da edificação, tipo de fundação e a intervenção feita na edificação, analisando a predominância dos fatores no município de João Pessoa;
- Identificar as principais manifestações patológicas decorrentes dos problemas na fundação que acometem os imóveis no município de acordo com os relatórios da Defesa Civil do município de João Pessoa;
- Avaliar as possíveis causas de recalque diferencial dos imóveis na cidade de João Pessoa;

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 FORMAÇÃO GEOTECNICA

Na formação do solo, o fator material de origem influencia em diversos atributos e pode ser dividido em dois grandes grupos: as rochas e os sedimentos. As principais características das rochas que influenciam nos atributos do solo são: composição química e mineralogia, cor e textura (BRADY e WEIL, 2013). As rochas podem ser classificadas como ácidas, que originam solos de textura arenosa com cores amareladas e baixa fertilidade natural e como básicas que, por sua vez, originam solos de textura mais argilosa, cores avermelhadas e maior fertilidade natural (PEREIRA et al., 2019).

Ainda de acordo com Pereira et al. (2019) o outro grande grupo responsável pela origem do solo são os sedimentos, formados a partir da intemperização das rochas e atuação de processos erosivos, sendo muitas vezes transportados e depositados ao longo da paisagem. Os sedimentos podem ser classificados como coluviais que são aqueles produzidos pela intemperização e erosão nos pontos mais altos da paisagem e depositados ao longo das encostas e como aluviais que, por sua vez, são depositados em ocasião de transbordamento dos rios sendo sedimentos de natureza diversa.

3.1.1 Formação Barreiras

Segundo Lima (2010), a unidade estratigráfica denominada Barreiras tem idade atribuída ao Mioceno e é constituída de depósitos sedimentares de origem predominantemente continental, apesar de sedimentos de origem marinha encontrados no litoral do Pará. O depósito da formação barreiras aflora ao longo da costa brasileira, desde o estado do Rio de Janeiro até o estado do Amapá (SUGUIO e NOGUEIRA, 1999).

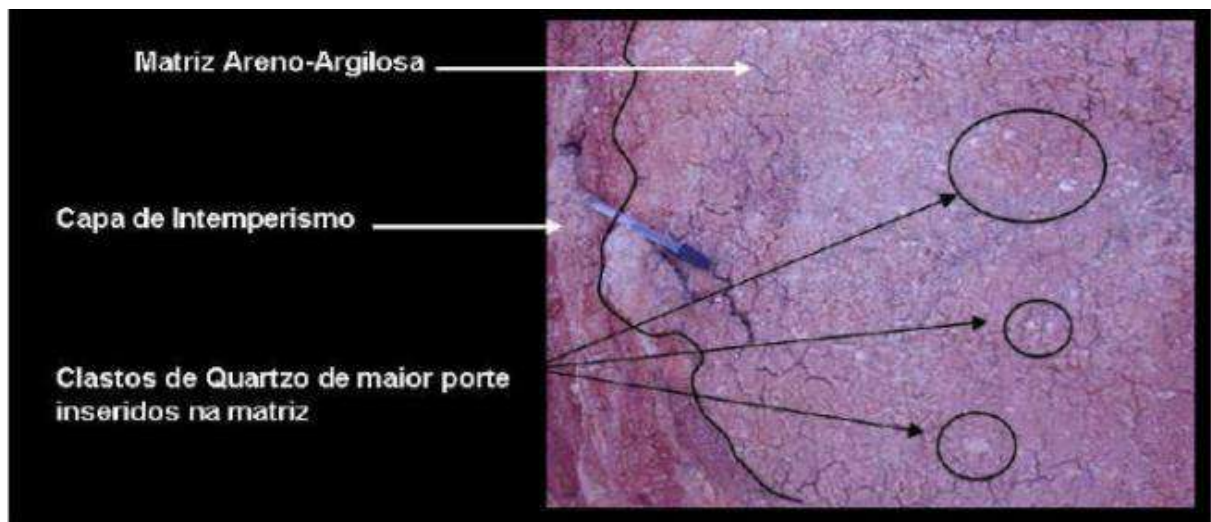
Para a definição e interpretação correta da origem e história dos depósitos sedimentares é importante a identificação das várias fácies da mesma em uma dada sequência estratigráfica pois permite a discussão acerca da gênese de rochas sedimentares e o motivo pelo qual se acumulam em certos lugares, além de suas relações mútuas (CHRISTOFOLETTI, 1981).

No contexto do estado da Paraíba, sabe-se que o substrato geológico é formado predominantemente por rochas Pré-Cambrianas, que ocupam 80% do seu território,

complementado por bacias sedimentares, rochas vulcânicas cretáceas, coberturas plataformais paleógenas/neógenas e formações superficiais quaternárias (BRASIL, 2002). Levando em consideração o município de João Pessoa, capital Paraibana, a geomorfologia do município pode ser dividida em dois grupos de morfoesculturas: os Baixos Planaltos Costeiros (inseridos na macrocompactação dos Tabuleiros Litorâneos), esculpidos sobre sedimentos areno-argilosos mal consolidados da Formação Barreiras, e a Baixada Litorânea, formados sobre cobertura aluvial (BEZERRA, 2018).

De acordo com Alheiros et al. (1989) a deposição dos sedimentos da Formação Barreiras se deu através de sistemas fluviais entrelaçados desenvolvidos sobre leques aluviais. A fácies de leques é constituída por conglomerados polimíticos de coloração creme-avermelhada, com seixos e grânulos subangulosos de quartzo e blocos de argila retrabalhada, em corpos tabulares e lenticulares de até um metro de espessura, intercalados com camada siltico-argilosa menos espessa, como representado na Figura 1 abaixo.

Figura 1 - Afloramento de fácies areno-argilosa da Formação Barreiras.



Fonte: MOURA (2005)

A predominância dessa fácies areno-argilosa e das suas características básicas supracitadas ao longo de falésias, desperta a necessidade da análise do solo para a construção, tendo em vista o melhor andamento da obra, para que não haja problemas futuros dependendo do perfil geotécnico local.

3.1.2 Aluviões

Os depósitos aluvionares, constituem uma área onde houve acúmulo de sedimentos clásticos (fragmentos de outras rochas), os quais podem possuir tamanhos granulométricos dentre cascalho, areia ou lama. Esses foram depositados por um sistema fluvial (rios a cursos d'água), no leito (fundo) ou margens das drenagens (CORREIA, 2019).

Os terraços aluvionares são formados em ambientes com relevos variados. Podem ocorrer entre relevos íngremes com gradiente baixo da linha de drenagem, resultando numa redução da força da corrente diminuindo, conseqüentemente, a habilidade do curso d'água em carrear os sedimentos maiores (Hardgrove et al., 2009).

De acordo com o Plano de Manejo da APA (2014) os solos aluvionares podem ser distróficos (média ou baixa fertilidade) ou eutróficos (elevada fertilidade natural), dependendo da saturação de bases que apresenta e variam consideravelmente a textura, que pode ser arenosa média ou argilosa, de acordo com o tipo de sedimento de origem. Quando argilosos, podem apresentar horizontes gleizados (acinzentados) e podem ocorrer pastagens implantadas sobre a zona argilosa. Já em áreas arenosas ocorre baixa retenção de água e baixos teores de nutrientes, dificultando sua utilização. O lençol freático próximo à superfície é outro fator impeditivo.

3.2 INVESTIGAÇÕES GEOTECNICAS

Conforme Brito e Gomes (2018), as investigações geotécnicas são essenciais em qualquer obra de engenharia civil, uma vez que esta possibilita ao homem compreender os fenômenos geológicos de formação da crosta terrestre e solucionar os importantes problemas postos por diversos ramos da engenharia e tecnologia.

A investigação geotécnica tem como principais objetivos determinar a extensão, profundidade e espessura das camadas do subsolo, descrevendo o solo de cada camada, compactidade ou consistência, cor e outras características perceptíveis, além de determinar a profundidade do nível do lençol freático, lençóis artesianos ou suspensos, informar sobre a profundidade da superfície rochosa e sua classificação, estado de alteração e variações e gerar dados sobre propriedades mecânicas e hidráulicas dos solos ou rochas como a compressibilidade, resistência ao cisalhamento e permeabilidade (SOARES, 2020).

Segundo Fernandes (2019), a causa mais frequente de problemas de fundação é a ausência de investigação do solo, uma vez que é implantado um carregamento sobre ele sem o conhecimento da capacidade de carga. De acordo com isso, Alonso (1991) cita que:

“Não se deve elaborar qualquer projeto de fundação sem que a natureza do subsolo seja conhecida, através de ensaios geotécnicos de campo, tais como sondagens de simples reconhecimento, ensaios de penetração estática, provas de cargas em protótipos etc.”

Para Marangon (2018) é fundamental a participação de um projetista de fundação na definição do plano de investigação geotécnica tendo em vista que sua experiência o credencia na escolha correta do tipo de investigação necessária, otimizando assim custos e tempo, e melhorando a qualidade dos resultados a serem encontrados.

A norma ABNT NBR 6122/2019 especifica que para qualquer edificação deve ser feita uma campanha de investigação geotécnica preliminar, constituída no mínimo por sondagens a percussão (com SPT – *standard penetration test*), que visa a determinação da estratigrafia e classificação dos solos, a posição do nível da água e a medida do índice de resistência à penetração N_{SPT} , de acordo com a ABNT NBR 6484. Em função dos resultados obtidos, pode ser necessária uma investigação complementar de campo. Conforme a norma, os ensaios de campo visam determinar parâmetros de resistência, deformabilidade e permeabilidade dos solos, sendo que alguns deles também fornecem a estratigrafia local. A norma ABNT NBR 6122/2019, ainda diz que:

“Em função dos resultados obtidos na investigação geotécnica preliminar, devido a peculiaridades do subsolo ou do projeto, ou ambos, ou ainda, no caso de dúvida quanto à natureza do material impenetrável a percussão, pode ser necessária uma investigação complementar, através da realização de sondagens adicionais, instalação de indicadores de nível d’água, piezômetros, ou outros ensaios de campo (sondagens rotativas, CPT, CPTU, DMT, geofísicas e outros) e de laboratório.”

3.2.1 Processos de Investigações geotécnicas de campo

Conforme Marangon (2018) o objetivo principal da investigação geotécnica de campo é fornecer parâmetros geotécnicos para o dimensionamento das fundações, utilizando-se do conhecimento acadêmico e da experiência profissional.

3.2.1.1 Sondagens

De acordo com Brito e Gomes (2018) a sondagem é um método de investigação geológica, realizada de maneira denominada “*in situ*”, ou seja através do contato direto com o solo, sendo um procedimento de válida importância para determinar as propriedades físicas do solo no planejamento executivo do projeto.

A NBR 8036/1983, norma para a programação de sondagens de simples reconhecimento para fundações de edifícios, afirma que deve ser realizada, no mínimo, uma sondagem para cada 200 m² de área da projeção do edifício em planta, até 1200 m². Para áreas entre 1200 m² e 2400 m² deve ser feita uma sondagem para cada 400 m² que excederem 1200 m². Acima de 2400 m², deve ser estabelecido um critério para o estabelecimento do número de sondagens em função das características próprias da obra. Além disso, a norma recomenda que sob quaisquer circunstâncias devem ser realizadas no mínimo duas sondagens para área inferior a 200 m², e três para área entre 200 m² e 400 m².

3.2.1.1.1 Sondagens mistas e rotativas

Conforme a NBR 6122/2019 devem ser programadas sondagens mistas (percussão e rotativa) quando há dúvidas no que diz respeito à natureza do material impenetrável à percussão. A norma ainda afirma que:

“Em se tratando de maciço rochoso, rocha alterada ou mesmo solo residual jovem, as amostras coletadas devem indicar suas características principais, incluindo-se eventuais descontinuidades, indicando: tipo de rocha, grau de alteração, fraturamento, coerência, xistosidade, porcentagem de recuperação e o índice de qualidade da rocha (RQD). Sempre que possível deve ser feita a determinação do NSPT.”

3.2.1.1.2 Sondagem a percussão com medida de torque

Segundo a NBR 6122/2019 neste tipo de investigação é feita a medida do torque necessário, ao final da medida da penetração do amostrador, para rotacioná-lo (SPT-T). A medida serve para caracterizar o atrito lateral entre o solo e o amostrador.

3.2.1.2 Ensaio de cone

O ensaio de penetração de cone (CPT) consiste na medição do esforço necessário à cravação, sob velocidade constante, no solo, de um cone penetrômetro padronizado (MARANGON, 2018). De acordo com isso, a NBR 6122/2019 afirma que:

“Deve ser executado conforme as ASTM D2435/D2435M e ASTM D5778. Este ensaio consiste na cravação contínua de uma ponteira composta de cone e luva de atrito. É usado para determinação da estratigrafia e pode dar indicação da classificação do solo. Propriedades dos materiais ensaiados podem ser obtidas por correlações, sobretudo em depósitos de argilas moles e areias sedimentares.”

De acordo com Santos (2014), o CPTU (piezocone penetration test) além de medir as resistências de ponta e lateral, mede-se ainda a pressão intersticial da água.

3.2.1.3 Ensaio de palheta (*Vane test*)

Conforme Nogueira (2021) o ensaio de palheta é usado para a determinação da resistência não drenada dos solos moles. Consiste na cravação de uma palheta em formato de cruz, com rotação fixa de 6° por minuto, em profundidade pré-determinadas. O objetivo do ensaio é indicar o valor da resistência ao cisalhamento.

A ABNT NBR 10905/1989 menciona que a norma do ensaio de palheta aplica-se a solos argilosos moles e rijos, saturados, onde permite a determinação da resistência em condições de drenagem impedida. A norma ainda afirma que é necessário o conhecimento da natureza do solo ensaiado para que seja avaliada a aplicabilidade do ensaio e interpretar adequadamente os resultados.

3.2.1.4 Ensaio de placa

Segundo a ABNT NBR 6122/2019 o ensaio de placa tem como objetivo caracterizar a deformabilidade e resistência do solo sob carregamento de fundações rasas, sendo assim uma

prova de carga direta sobre o terreno. A ABNT NBR 6489 é a norma responsável pela execução da prova de carga direta sobre o terreno de fundação.

3.2.1.5 Ensaio pressiométrico

O ensaio pressiométrico consiste na medição da pressão necessária à expansão de uma câmara sonda cilíndrica introduzida no terreno, dentro de perfurações, e tem como objetivo determinar as características de pressão x variação volumétrica do material (MARAGON, 2018). A ABNT NBR 6122/2019 ainda afirma que:

“Dependendo do modo de inserção do pressiômetro no solo, pode ser classificado como pressiômetro em pré-furo (ou de Ménard), autoperfurante. O ensaio permite a obtenção de propriedades de resistência e tensão-deformação do material.”

3.2.1.6 Ensaio dilatométrico

O ensaio Dilatômetro de Marchetti (DMT) permite obter parâmetros geotécnicos de resistência e deformabilidade e podem ser utilizados em vários tipos de solos, granulares ou coesivos, de pouco até muito densos e de mole até solos duros respectivamente. De acordo com Marchetti (1975) o DMT é um ensaio carga-deformação, com a deformação controlada. A ABNT NBR 6122/2019 diz que:

“O ensaio dilatométrico (dilatômetro de Marchetti) consiste na cravação de uma lâmina, que possui um diafragma. Este diafragma é empurrado contra o solo pela aplicação de uma pressão de gás. O ensaio pode ser usado para determinação da estratigrafia e pode dar indicação da classificação do solo. Propriedades dos materiais ensaiados podem ser obtidas por correlação, sobretudo em depósitos de argilas moles e areias sedimentares.”

3.2.1.7 Ensaios sísmicos

De acordo com a ABNT NBR 6122/2019 os ensaios sísmicos são: crosshole, downhole e cone sísmico. São realizados em profundidades pré-estabelecidas e fornecem, basicamente, a

velocidade de propagação da onda cisalhante, onde de acordo com estes dados é possível estimar o módulo de elasticidade transversal inicial, G_o , do solo.

3.2.1.8 Ensaios de permeabilidade

Os ensaios de permeabilidade em furos de sondagens consistem na medida da vazão, representada pelo volume d'água absorvido ou retirado, durante um intervalo de tempo, em função da aplicação de diferenciais de pressão induzida por colunas d'água, resultante da injeção ou da retirada de água do furo (WILSON, 1999).

3.2.1.9 Ensaio de perda d'água em rocha

Segundo Amancio (2013) o ensaio de perda d'água sob pressão tem como objetivo a determinação da condutividade hidráulica (H) dos maciços rochosos, ou seja, determina a perda de pressão provocada pelo atrito da água com as paredes da tubulação.

3.3 FUNDAÇÕES

A fundação é responsável pela transmissão de cargas da construção até o solo. Seu comportamento a longo prazo pode ser afetado por inúmeros fatores, iniciando por aqueles decorrentes do projeto propriamente dito, que envolve o conhecimento do solo, passando pelos procedimentos construtivos e finalizando por efeitos de acontecimentos pós-implantação, incluindo sua possível degradação (MILITITSKY et al., 2015).

Segundo Barros (2011) o sistema de fundações é formado pelo elemento estrutural do edifício que fica abaixo do solo e pelo maciço de solo envolvente sob a base e ao longo do fuste, tendo a função de suportar com segurança as cargas provenientes da edificação.

De acordo com Milititsky et al. (2015) o custo usual de uma fundação é variável, dependendo das cargas e condições do subsolo, podendo situar-se na faixa de 3 a 6% do custo da obra para a qual serve de elemento de base, ou, em casos especiais, dependendo do tipo de

estrutura a ser suportada, das solicitações correspondentes e condições adversas de subsolo, pode-se chegar a percentagens superiores atingindo de 10 a 15% do custo total.

3.3.1 Características das Fundações Superficiais

Segundo Rebello (2008) a decisão pelo tipo de fundação requer o conhecimento do solo, propiciado pela sondagem, sendo assim, define-se como fundação direta ou rasa aquela em que as cargas da edificação (superestrutura) são transmitidas ao solo logo nas primeiras camadas, necessitando que elas tenham resistência suficiente para suportar essas cargas.

As fundações diretas são executadas em valas rasas, com profundidade máxima de 3,0 metros, e caracterizadas por blocos, sapatas e radiers (BARROS, 2011). Ainda de acordo com Barros (2011) o que caracteriza principalmente uma fundação rasa ou direta é o fato de a distribuição de carga do pilar para o solo ocorrer pela base do elemento de fundação, sendo que, a carga aproximadamente pontual que ocorre no pilar, é transformada em carga distribuída, num valor tal, que o solo seja capaz de suportá-la.

3.3.1.1 Sapatas

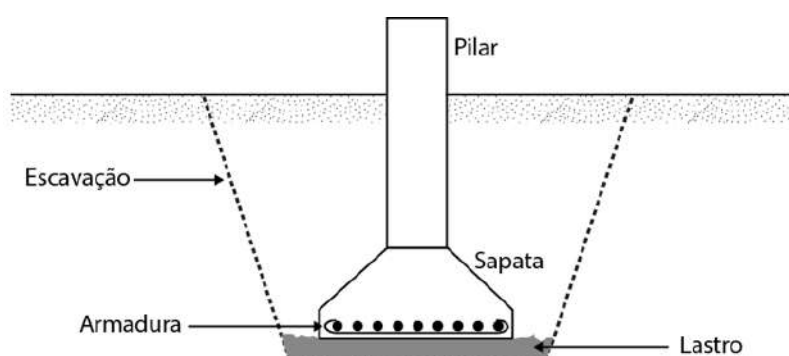
De acordo com a ABNT NBR 6122/2019 sapatas são elementos de fundação rasa, de concreto armado, dimensionado de modo que as tensões de tração nele resultantes sejam resistidas pelo emprego de armadura especialmente disposta para esse fim. A ideia é que a carga atuante sobre a sapata se distribua pela sua área de contato com o solo, aplicando neste uma tensão no máximo igual à tensão admissível do solo (taxa do solo) (REBELLO, 2008).

Conforme Bastos (2019) a sapata é o elemento de fundação superficial mais comum, devido à grande variabilidade existente na configuração e forma dos elementos estruturais que nela se apoiam, podendo ser classificadas como sapatas isoladas, corridas, associadas, entre outras. Além disso, Botelho e Carvalho (2007) afirmam que a sapata é um dos tipos de fundação mais usado, pelo seu baixo custo e por não exigir equipamento especializado. O procedimento executivo de uma sapata consiste na escavação, seguido pelo lançamento de um lastro de concreto magro, montagem das formas, colocação das armaduras e concretagem, após isso é retirado as formas e feito o reaterro.

- Sapata Isolada

A sapata isolada é a mais comum nas edificações, sendo aquela que transmite ao solo as ações de um único pilar (BASTOS, 2019) como ilustrado na Figura 2. As dimensões da sapata isolada são determinadas pelas cargas aplicadas e pela resistência do solo, de forma que as tensões no solo sejam no máximo iguais à sua tensão admissível (REBELLO, 2008).

Figura 2 - Representação de uma sapata isolada.



Fonte: Adaptado (BOTELHO e CARVALHO, 2007).

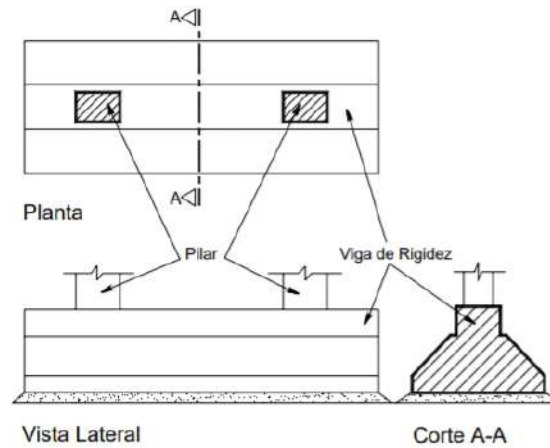
- Sapata Associada

De acordo com a ABNT NBR 6122/2019 as sapatas associadas são aquelas comum a dois ou mais pilares, quando não alinhados e desde que representem menos de 70% das cargas da estrutura.

Também conhecida como sapata combinada, as sapatas são chamadas associadas quando não é possível projetá-la isoladamente para cada pilar, pois eventualmente os pilares muito próximos podem ter suas respectivas sapatas se sobrepondo, tornando necessário o emprego de uma sapata única para dois ou mais pilares (FALCONI et al., 1998). Para que a distribuição de tensões no solo seja uniforme, é necessário que o centro de gravidade da sapata coincida com o centro de gravidade das cargas dos pilares (REBELLO, 2008).

Usualmente, as sapatas associadas são projetadas com viga de rigidez (enrijecimento), cujo eixo passa pelo centro de cada pilar (ALVA, 2007) como representado na Figura 3.

Figura 3 - Representação da sapata associada retangular.

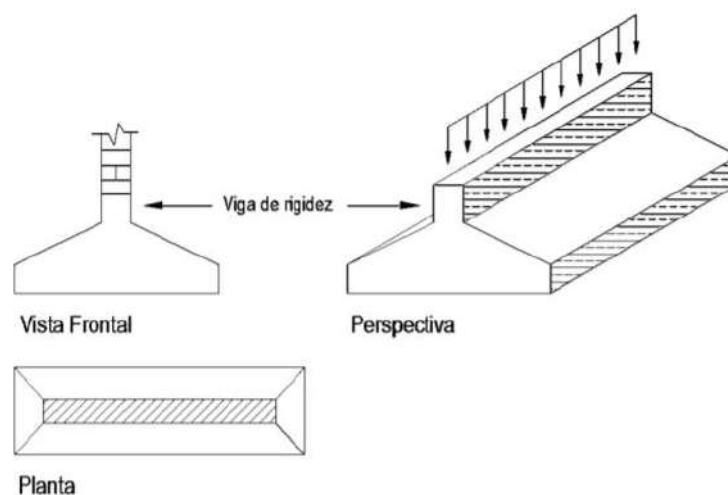


Fonte: ALVA, 2007.

- Sapata corrida

A ABNT NBR 6122/2019 afirma que sapata corrida é aquela sujeita à ação de uma carga distribuída linearmente ou de três ou mais pilares ao longo de um mesmo alinhamento, desde que representem menos de 70% das cargas da estrutura. São empregadas para receber as ações verticais de paredes, muros, ou elementos alongados que transmitem carregamento uniformemente distribuído em uma direção (ALVA, 2007). Na Figura 4 encontra-se a representação da sapata corrida.

Figura 4 - Representação da sapata corrida.



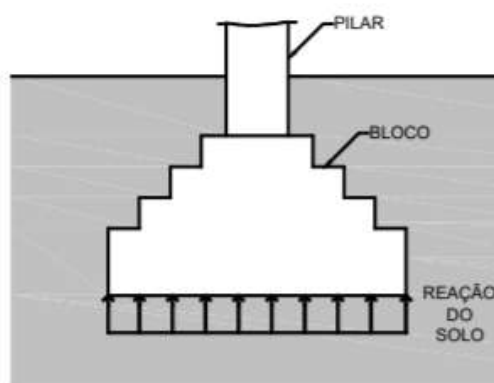
Fonte: CARVALHO, 2015.

3.3.1.2 Blocos

Segundo Braga (2009) o bloco é um elemento de concreto simples, dimensionado de forma que as tensões de tração geradas sejam resistidas pelo concreto, sem necessidade da colocação de armadura.

Para que as tensões de tração sejam resistidas pelo concreto, elas precisam ser baixas, de modo que a altura do bloco necessita ser relativamente grande, assim, o bloco trabalhará preponderantemente à compressão (BASTOS, 2019). Encontra-se na Figura 5 a representação do bloco de fundação superficial.

Figura 5 - Bloco de fundação superficial.



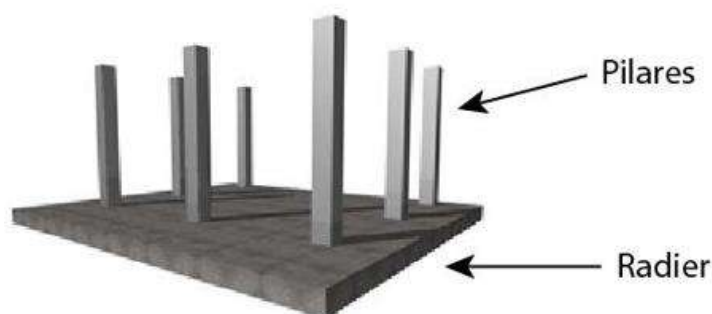
Fonte: BASTOS, 2019.

3.3.1.3 Radier

De acordo com a ABNT NBR 6122/2019 radier é o elemento de fundação rasa dotado de rigidez para receber e distribuir mais do que 70% das cargas da estrutura. A carga recebida da superestrutura é distribuída uniformemente pela fundação ao solo, logo esse tipo de fundação pode ser utilizado em diferentes tipos de solo, sendo uma alternativa vantajosa em alguns casos ao invés da utilização de fundações profundas (GERAB, 2011).

Conforme Ribeiro (2010) o radier é empregado quando o solo tem baixa capacidade de carga; as áreas das sapatas se aproximam umas das outras; deseja-se uniformizar os recalques ou quando a área das sapatas for maior que a metade da área de construção. Na Figura 6 encontra-se a representação da fundação em radier.

Figura 6 - Representação do radier.



Fonte: SANTOS, 2014.

3.3.2 Características das Fundações Profundas

As fundações indiretas ou profundas são aquelas que transferem a carga por efeito de atrito lateral do elemento com o solo e por meio de um fuste (BARROS, 2011). De acordo com a ABNT NBR 6122/2019, fundação profunda é:

“Elemento de fundação que transmite a carga ao terreno ou pela base (resistência de ponta) ou por sua superfície lateral (resistência de fuste) ou por uma combinação das duas, sendo sua ponta ou base apoiada em uma profundidade superior a oito vezes a sua menor dimensão em planta e no mínimo 3,0 m; quando não for atingido o limite de oito vezes, a denominação é justificada. Neste tipo de fundação incluem-se as estacas e os tubulões.”

Segundo Santos (2014) é adotada a fundação profunda quando não for possível obter a tensão admissível ao projeto em pequenas profundidades, onde a mesma pode ser classificada em fundações moldadas *in loco* ou pré-moldadas. As fundações moldadas *in loco* são executadas furando o solo e depois preenchendo o furo com concreto, podendo ser armadas ou não, já as fundações pré-moldadas são executadas na indústria e são cravadas no solo por equipamentos apropriados (REBELLO, 2008). Além disso, Miranda (2014) afirma que essas fundações têm a função de transmitir as cargas da superestrutura para as camadas mais profundas do solo, e podem ser de dois tipos: tubulões ou estacas.

3.3.2.1 Estacas pré-moldadas

Conforme a ABNT NBR 6122/2019 as estacas pré-moldadas ou pré-fabricadas de concreto são aquelas introduzidas no terreno por golpes de martelo de gravidade, de explosão, hidráulico ou por martelo vibratório.

- Estaca pré-moldada de madeira

De acordo com Santos (2017) as estacas de madeira são constituídas por troncos de árvores retilíneos que antes da sua cravação no solo, tem que passar por um processo de preparação em suas extremidades, superfície lateral e tratamento com produtos preservativos.

Antes da difusão da utilização do concreto, as estacas de madeiras eram empregadas quando a camada de apoio se encontrava em grandes profundidades, sendo necessário a imersão total das mesmas abaixo do nível de água (submersa) ou totalmente acima, sendo importante garantir que o nível de água não variasse ao longo da vida útil (MIRANDA, 2014).

Segundo Santos (2014) durante a cravação é recomendado o emprego de uma ponteira metálica, a fim de facilitar a penetração e proteger a madeira, assim como é utilizado na cabeça da estaca um anel cilíndrico de aço que evita seu rompimento pelos golpes do pilão.

- Estaca pré-moldada de Concreto

As estacas pré-moldadas de concreto possuem um rigoroso controle de qualidade na sua fabricação e na sua cravação, sendo assim, são uma excelente opção de fundação (JÚNIOR, 2007). Esse modelo de estaca pode ser produzido em concreto armado ou concreto protendido, sendo concretadas por meio de fôrmas verticais, horizontais ou pela utilização de um processo de centrifugação utilizado para os modelos de seções vazadas (MELO, 2018).

- Estaca pré-moldada de aço

De acordo com Júnior (2007) os perfis de aço são muito utilizados nas obras de solos que envolvem contenções e fundações pois garantem a aplicação do material com excelente qualidade e com grande resistência estrutural, além de ser uma solução de fácil manuseio quanto a manipulação e quanto a implantação dos perfis, visto que não é necessário vibração quando a instalação é feita por meio de percussão ou perfurações com equipamentos rotativos.

Miranda (2014) afirma que uma vantagem da estaca pré-moldada de aço é o fato de atingirem maiores profundidade quando comparadas as estacas pré-moldadas de concreto, proporcionando uma capacidade de carga maior, já que resistem bem à percussão.

Segundo Caputo (2012) as estacas metálicas devem resistir à corrosão, seja pela sua própria constituição, seja por tratamento adequado, como, por exemplo, uma pintura com tinta à base de óxido de chumbo.

3.3.2.2 Estacas moldadas *in loco*

Soares (2020) afirma que as estacas moldadas *in loco* são concretadas no próprio terreno, após a execução do furo, e possui uma grande vantagem sobre as pré-moldadas pois permitem a concretagem no comprimento estritamente necessário.

- Estaca Franki

As estacas Franki são moldadas através da cravação de um tubo suprido com areia e pedra, formando uma bucha na ponta inferior da mesma, onde o tubo é socado por um pião com peso entre 1 a 4 toneladas, até atingir a profundidade estabelecida. A bucha forma uma espécie de vedação, impedindo a entrada de solo e água no tubo (SANTOS, 2017).

- Estaca escavada

Conforme Barros (2011) as estacas escavadas são executadas através de torres metálicas, apoiadas em chassis metálicos ou acoplados em caminhões, onde são empregados guinchos, conjunto de tração e haste de perfuração, podendo esta ser helicoidal em toda a sua extensão ou trados acoplados em sua extremidade.

- Estaca Raiz

De acordo com a ABNT NBR 6122/2019 a estaca raiz é uma estaca moldada *in loco*, armada e preenchida com argamassa de cimento e areia, executada por perfuração rotativa ou rotoperussiva, revestida integralmente, no trecho em solo, por um conjunto de tubos metálicos recuperáveis.

- Estaca Hélice-contínua

A estaca hélice contínua, de acordo com a ABNT NBR 6122/2019 é uma estaca moldada *in loco* executada por meio de um trado helicoidal, que é inserido no terreno por rotação, e injeção de concreto pela própria haste central do trado.

Segundo Júnior (2007) este tipo de estaca tem conquistado o mercado de fundações devido às inúmeras vantagens que elas apresentam sobre as outras estacas como: grande velocidade de execução, ausência de vibrações e ruídos excessivos.

3.3.2.3 Tubulões

De acordo com Barros (2011) os tubulões são elementos estruturais de fundação profunda, geralmente dotados de uma base alargada, construídos concretando-se um poço revestido ou não, aberto no terreno com um tubo de aço de diâmetro mínimo de 70cm de modo a permitir a entrada e o trabalho de um homem. Sua escolha pode ser feita levando-se em conta o tipo de solo a ser penetrado, a posição do nível de água, o custo e o prazo disponível para a execução das fundações

- Tubulões a céu aberto

Os tubulões a céu aberto podem ser executados com escavação manual ou mecânica de um poço até que seja encontrado terreno firme de boa qualidade, onde será feito o alargamento da base objetivando-se a distribuição das cargas de maneira uniforme no terreno de apoio (JÚNIOR, 2007).

Segundo Miranda (2014) os tubulões a céu aberto são normalmente executados acima do lençol freático, pois a escavação manual da base, ou mesmo do fuste, não pode ser realizada abaixo do nível da água.

- Tubulões sob ar comprimido

Esse tipo de técnica é indicado para solos com presença de lençol freático, sendo essencial que as paredes do fuste tenham anéis de concreto ou de tubos de aço. A execução do tubulão pneumático pode ter problemas durante a compressão e descompressão da campânula se não for executado com segurança dos operários (OLIVEIRA e AMARO, 2016).

3.4 MOVIMENTO DAS FUNDAÇÕES E SEUS EFEITOS

De acordo com Allonso (1991) o sucesso de uma fundação está na harmonia entre o projeto, execução e o controle. Muitos fatores podem interferir no desempenho de uma fundação, desde os problemas decorrentes de projeto e conhecimento do solo, métodos construtivos até aqueles decorrentes de ações após sua implantação (MILITITSKY et al., 2015).

Rezende (2019) afirma que o conhecimento do comportamento do solo exposto a um carregamento vertical é uma das áreas de maior interesse de estudo na engenharia civil e geotécnica, tendo em vista a sua relação direta com a durabilidade de uma edificação. A deformação produzida no solo devido a uma pressão vertical atuante dá-se em consequência da redução do índice de vazios pela expulsão da água no interior das partículas e o aumento da tensão efetiva do solo, essa deformação é conhecida como recalque.

Segundo Rebello (2008), denomina-se recalque a deformação que acontece no solo quando submetido a cargas da estrutura da edificação, provocando movimentação na fundação que, dependendo da intensidade, pode resultar em sérios danos à estrutura. Já Milititsky et al. (2005) afirma que o recalque em fundações acontece quando o contato entre fundação e solo se rompe, fazendo com que a fundação afunde mais do que o projetado.

De acordo com Rebello (2008) o solo pode sofrer três tipos de deformações: deformação elástica, deformação por escoamento lateral e deformação por adensamento. O recalque por deformação elástica ou também conhecido como recalque imediato, acontece com a aplicação da carga ao solo, o fator ocorre quando as tensões cisalhantes introduzidas são pequenas quando relacionadas a resistência ao cisalhamento do solo, acarretando a mudança de formato sem a subtração de volume de solo (TEIXEIRA e GODOY, 1998)

Ainda de acordo com Rebello (2008) a deformação por escoamento lateral acontece com maior predominância em solos não coesivos, trata-se da migração de solo em regiões mais solicitadas para as menos solicitadas; portanto, o deslocamento dá-se do centro para a lateral. Já a deformação por adensamento ocorre pela diminuição no volume aparente do maciço de solo, causada pelo fechamento dos vazios deixados pela água intersticial expulsa pela pressão que as cargas exercem sobre a fundação, sendo a deformação mais importante e a que pode causar os problemas mais comuns de recalques nas fundações.

Em toda obra ocorre recalque em fundações, sendo os recalques admissíveis parte importante nas análises e projetos de fundações, definindo um limite a partir do qual se considera problemática a segurança ou o desempenho da estrutura (MILITITSKY et. al., 2005). O autor ainda afirma que quando o recalque ocorre em toda a fundação é chamado de recalque total, quando ocorre apenas em um trecho é chamado de recalque diferencial. Para uma melhor verificação do desempenho das fundações é importante a implantação de monitoramento de recalque desde o início da construção, evitando que medidas sejam tomadas só quando apareçam problemas como trincas e rachaduras ou empenamento de portas e janelas.

Poulos et al. (2001) indicam as deformações aceitáveis para prédios modernos e pontes de acordo com o tipo de dano e critério definidor, mostrados na Tabela 1.

Tabela 1 - Deformações diferenciais aceitáveis.

TIPO DE ESTRUTURA	TIPO DE DANO	CRITÉRIO	VALOR LIMITE
Edifícios aporricados em concreto armado e paredes estruturais reforçadas	Dano estrutural	Distorção angular	1/150 a 1/250
	Fissuras em paredes	Distorção angular	1/500
	Aspecto visual	Inclinação	1/1000 a 1/400
	Conexão com serviços	Deformação total	1/300
Edifícios altos	Operação de elevadores	Inclinação	50 a 75 mm em areia 50 a 135 mm em argila
			1/1200 a 1/2000
Paredes estruturais sem estrutura de concreto armado	Fissuras por arqueamento côncavo relativo	Taxa de deflexão*	1/2500 para paredes com relação comprimento/altura = 1 1/1250 para paredes com relação comprimento/altura = 5
	Fissuras por arqueamento convexo relativo	Taxa de deflexão*	1/5000 para paredes com relação comprimento/altura = 1 1/2500 para paredes com relação comprimento/altura = 5
Pontes	Qualidade de tráfego	Deformação total	100 mm
	Função	Movimento horizontal	38 mm (15")
	Dano estrutural	Distorção angular	1/250 para vários vãos 1/200 para vão único

* Taxa de deflexão = deflexão máxima relativa no painel/comprimento do painel

Fonte: adaptado de POULOS et al. (2001).

De acordo com Velloso e Lopes (2011) os efeitos dos recalques nas estruturas podem ser classificados em três grupos: danos estruturais, danos arquitetônicos e danos funcionais, apresentados na Tabela 2 a seguir.

Tabela 2 – Efeitos dos recalques nas estruturas.

Danos estruturais	São aqueles causados à estrutura propriamente dita, comprometendo os elementos da edificação alterando a vida útil e desempenho da obra.	Ex: fissuras em lajes, vigas, pilares e paredes de alvenaria estrutural.
Danos arquitetônicos	São aqueles que comprometem à estética da edificação.	Ex: fissuras e trincas nas paredes.
Danos funcionais	São aqueles que comprometem o desempenho e funcionalidade da edificação.	Ex: emperramento de portas e janelas, estrutura com refluxo.

Fonte: adaptado de Velloso e Lopes (2011).

O monitoramento de recalques é uma forma de se avaliar o desempenho das fundações, possibilitando a análise da interação solo estrutura, sendo possível, através desse acompanhamento, verificar o surgimento de recalques diferenciais que são prejudiciais a estrutura, podendo obter informações a respeito das influências de edificações ou obras da vizinhança, ou seja verificar o comportamento do solo e conseqüentemente da estrutura quando variadas as condições de carregamento (PAIVA, 2019).

3.5 PATOLOGIAS ESTRUTURAIS

De acordo com Bolina et al. (2019) patologia das construções é a ciência que procura, de forma sistêmica, estudar os defeitos incidentes nos materiais construtivos, componentes e elementos ou na edificação como um todo, buscando diagnosticar as origens e compreender os mecanismos de deflagração e de evolução do processo patológico, além das suas formas de manifestação.

A indústria da construção civil se desenvolveu rápido nas últimas décadas, o que possibilitou o uso de materiais mais leves, mais esbeltos e com um menor custo. Concomitantemente a isso, observou um aumento do aparecimento de manifestações patológicas causadas por maiores deformações da estrutura (REZENDE, 2019).

Segundo Helene (2003) os problemas patológicos geralmente apresentam manifestações características, na qual se pode deduzir qual a origem, natureza e os fenômenos envolvidos, como também, podem-se estimar suas prováveis conseqüências.

Conforme Thomaz (1989) associa-se o aparecimento das manifestações patológicas nas edificações com fatores como atuação de sobrecarga não prevista, movimentações provocadas

por variações térmicas, recalques das fundações, deformabilidade inadequada da estrutura, retração de componentes produzidos com ligantes hidráulicos e modificação química de materiais devido a agentes externos.

Ainda de acordo com Thomaz (1989) uma das manifestações mais comumente observadas, sobretudo nas estruturas de concreto, são as fissuras, estas se destacam pelo fato de apresentarem configurações fundamentais como, aviso de um eventual estado perigoso da estrutura e comprometimento do desempenho da obra em serviço.

Bolina et al. (2019) afirma que conceitualmente as fissuras são caracterizadas como microfissuras, fissuras, trincas, rachaduras e fendas, de acordo com sua amplitude, demonstrados na Tabela 3, tendo em vista que as microfissuras e fissuras apresentam-se de forma estreita e alongada, muitas vezes em locação aleatória, geralmente são anomalias superficiais, enquanto as trincas, rachaduras e fendas são aberturas mais profundas, localizadas e acentuadas, que promovem uma separação entre as partes do sistema em que incidem.

Tabela 3 – Classificação das aberturas segundo a sua amplitude.

Tipo de abertura	Dimensões	Limites da NBR 6118 (ABNT, 2014) (elementos de concreto)
Microfissura	Inferior a 0,2 mm	Sem problemas
Fissura	0,2 mm a 04 mm	Verificar classe de agressividade ambiental
Trinca	0,5 mm a 1,4 mm	Acima dos limites
Rachadura	1,5 mm a 5,0 mm	
Junta	Superior a 5,1 mm	

Fonte: adaptado de Bolina et al. (2019).

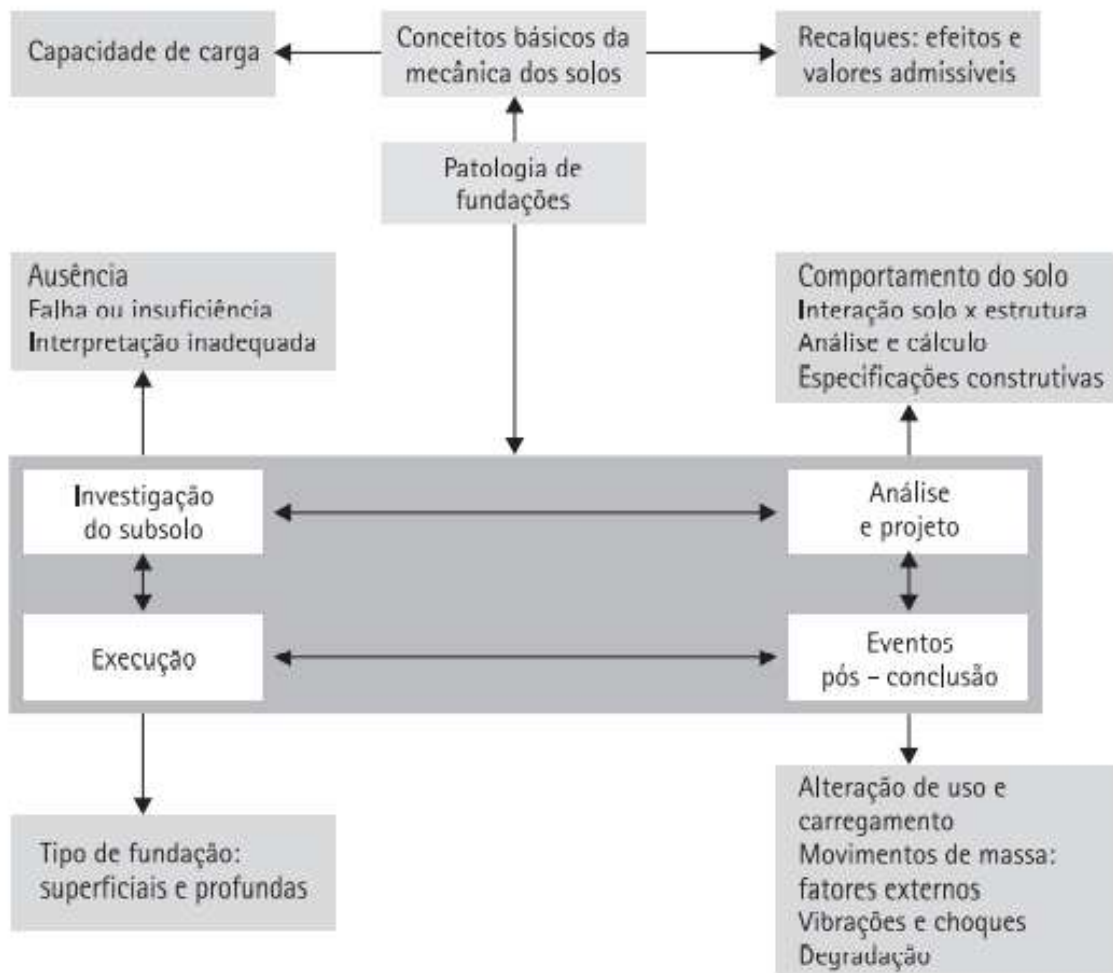
3.5.1 Causas e Características das patologias estruturais de fundação

As análises de patologias em fundações são consideradas as mais difíceis tendo em vista a dificuldade de chegar aos elementos já que eles estão enterrados no solo, sendo geralmente identificadas através de rachaduras e fissuras na estrutura e recalques diferenciais na base da construção (SOUZA, 2019).

Na busca de evitar o surgimento de anomalias de fundação é necessário ter análise e projeto de fundações, destacando-se os mecanismos de interação solo x estrutura, cálculos,

detalhamento e especificações construtivas, além de analisar os procedimentos construtivos dos diferentes tipos de fundações, tanto superficiais como profundas, bem como observar os eventos pós-conclusão, como alterações de uso e carregamentos, movimentos de massa por escavações e efeitos de choques e vibrações (MILITITSKY et al., 2015), como detalhado na Figura 7 abaixo.

Figura 7 - Fluxograma das etapas de projeto e possíveis causas de patologias.



Fonte: MILITITSKY et al. (2015).

Diante disso, ao escolher um tipo de fundação é necessário tomar conhecimento primeiramente sobre as normas vigentes, bem como, o terreno, as cargas atuantes, a caracterização do solo, as edificações vizinhas e se o modelo a ser implantado na edificação irá garantir segurança e estabilidade. A escolha errada ou dimensionamento inadequado das fundações, pode ocasionar o recalque (MILITITSKY et al., 2015).

3.5.1.1 Investigação do subsolo

De acordo com Rebello (2008) o conhecimento das características físicas do solo é muito importante, não só para a escolha do tipo de fundação e seu dimensionamento, como também para a determinação dos “acidentes”, tais como a existência de água, de matacões e de vazios que possam influenciar o próprio processo construtivo.

O ambiente físico bem caracterizado, visando sua utilização futura, é primordial para a mitigação de falhas, erros e custos adicionais nos projetos civis. Dada a importância de se obter as características geotécnicas, geológicas e geomorfológicas do meio físico, faz-se necessário a investigação através da aplicação de técnicas e procedimentos de ensaios (SCHNAID e ODEBRECHT, 2012)

Milititsky et al. (2015) afirma que a causa mais frequente de problemas de fundação é a ausência da investigação do solo, uma vez que é implantado um carregamento sobre o solo sem conhecer a capacidade de carga do mesmo.

Segundo Rezende (2019) é mais comum em obras de pequeno e médio porte a ausência de investigação, apesar de ser uma prática inaceitável em qualquer caso, visto que a falta de conhecimento sobre o real comportamento do solo pode gerar tensões de contato excessivas, recalques inadmissíveis e até redução da carga admissível nominal adotada para estaca devido a ocorrência de atrito negativo não previsto.

3.5.1.2 Análise e projeto

É através das solicitações ou das cargas de projeto obtido após a investigação geotécnica, que a análise de um problema de fundação é realizada, essas cargas são obtidas por meio de ensaios de campo ou laboratório (FERNANDES, 2019).

De acordo com Rezende (2019), a concepção de projeto de fundações ocorre por meio dos dados das solicitações da estrutura e dos valores que representem as propriedades e comportamento do subsolo, onde pode-se perceber que o solo não possui uma homogeneidade capaz de expressar propriedades e comportamentos exatos, até em função de ser usado quase como é encontrado naturalmente, isso justifica a adoção de coeficientes de segurança mais altos. É importante ressaltar que a desconsideração de momentos fletores e cargas horizontais podem

acarretar o colapso da fundação, além disso deve-se observar solicitações devido ao comportamento do solo, como os empuxos e o atrito negativo.

Os solos apresentam uma grande variabilidade de suas propriedades, considerando que ele é um produto oriundo da natureza, por isso é feito um tratamento probabilístico dos dados atingidos para se obter uma avaliação segura do comportamento do solo, sendo responsabilidade do projetista escolher as possíveis formas de transmissão da carga conforme dados obtidos e após as definições das solicitações (FERNANDES, 2019).

De acordo com Milititsky et al. (2015) existem problemas que tem origem na etapa de análise e projeto em decorrência do comportamento do solo, como a admissão de projeto com perfil de solo que não representa a realidade, adotando-se uma solução onde se desconsidera as características da extensão das camadas, ilustrado na Figura 8 abaixo, como também a admissão de projetos de fundações incongruentes com o comportamento do solo em casos especiais como fundações profundas ou diretas em solos colapsíveis sem os devidos cuidados necessários.

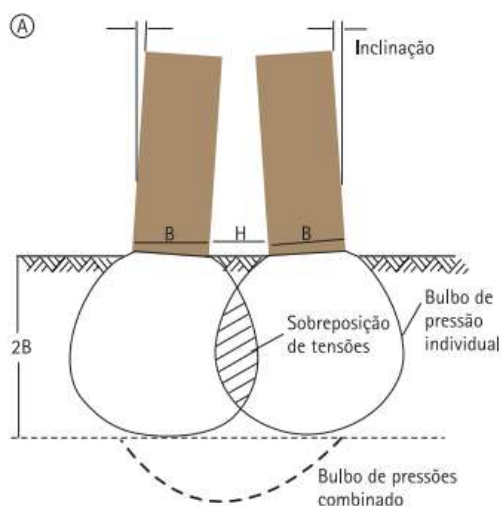
Figura 8 - Problema com a adoção de projeto com perfil de solo inadequado.



Fonte: Milititsky et al. (2015).

Milititsky et al. (2015) ainda afirma que problemas envolvendo os mecanismos de interação solo-estrutura podem ser recorrentes quando há uma imprevisível sobreposição de esforços de fundações superficiais no solo não havendo avaliação adequada do seu efeito, ou seja, quando a análise da transferência de carga da fundação é realizada de forma isolada, como ilustrado na Figura 9.

Figura 9 - Superposição de tensões.



Fonte: MILITITSKY et al. (2015).

Uma fonte significativa de problemas é a execução de fundações sobre aterros podendo ter três causas distintas sendo elas: deformações do corpo do aterro por causa do seu peso próprio; deformações do solo natural localizado abaixo do aterro, devido ao acréscimo de tensões ocasionada pelo peso próprio do aterro e pelas cargas da superestrutura; ações bioquímicas que podem ocorrer decorrentes da degradação da matéria orgânica de seus componentes nos casos de execução de aterros e/ou carregamento externo sobre lixões ou aterros sanitários desativados (FERNANDES, 2019).

3.5.1.3 Execução

Os problemas existentes em nível de fundações são apresentados de uma forma difícil de serem verificados anteriormente a execução, portanto esta etapa se torna de fundamental importância para que o desempenho e para que não percam os princípios básicos da durabilidade e segurança da edificação, afetando a obra como um todo (RIBEIRO e QUINTANA, 2013).

As falhas de execução constituem o segundo maior responsável pelos problemas de comportamento das fundações. Após a realização de uma investigação do subsolo completa e a concepção de projeto, é preciso garantir a execução do que foi planejado, seguindo as especificações de projeto e obedecendo as normas vigentes como a ABNT NBR 6122/2019 – Projeto e Execução de Fundações (REZENDE, 2019).

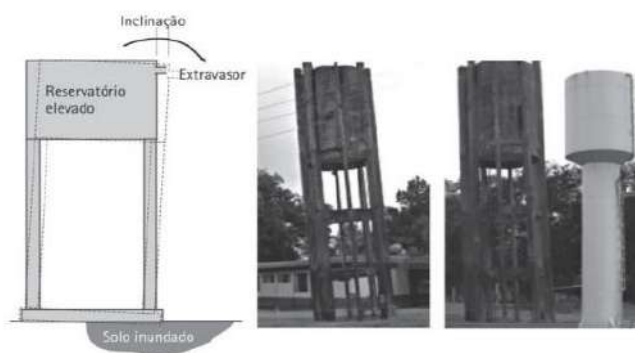
3.5.1.4 Evento pós-conclusão da fundação

Eventualidades como alterações no uso da edificação resultando em um aumento de esforço transmitido às fundações, carregamento próprio da superestrutura, aumento do grau de saturação no solo como rompimento de canalizações ou condução acentuada de água para o solo e outras situações adversas que não teriam como ser previstas pelo projetista, também originam manifestações patológicas (RIBEIRO e QUINTANA, 2013).

Milititsky et al. (2015) afirma que a instalação de mezaninos não presumidos em projetos é bastante comum em ampliações e forma de prédios comerciais ou industriais, situação que leva a uma nova distribuição ou concentração de tensões transmitidas aos elementos da fundação que podem resultar no aumento de recalques e, posteriormente, manifestações patológicas como fissuração de paredes de vedação e componentes estruturais.

De acordo com Rezende (2019) eventos externos à edificação também podem interferir no comportamento esperado do solo e causar problemas, como o rompimento de canalizações enterradas, extravasamento de água sem condução eficiente demonstrado na Figura 10, compactação vibratória e execução de grandes escavações em locais adjacentes à edificação e outras situações que possam levar descarga de água são extremamente prejudiciais em solos colapsíveis.

Figura 10 - Descarga de água de reservatório em solo colapsível.



Fonte: MILITITSKY et al. (2015).

3.5.1.5 Degradação dos materiais

De acordo com Schwirck (2005), todos os projetos de engenharia com elementos enterrados ou em contato com o solo e água devem considerar as ações dos elementos naturais

sobre os materiais das fundações obriga à verificação da existência de materiais agressivos e seus possíveis efeitos.

3.6 ENGENHARIA DIAGNÓSTICA

Conforme Gomide et al. (2009) engenharia diagnóstica é a arte de criar ações pró-ativas, através dos diagnósticos, prognósticos e prescrições técnicas, visando qualidade total da edificação, por meio de ferramentas diagnósticas que são elas: vistoria, inspeção, auditoria, perícia e consultoria.

Buscando garantir o desempenho, a durabilidade e a vida útil da edificação, ferramentas diagnósticas periciais são necessárias para identificação, constatação e resolução de problemas e patologias, ainda que a manutenção esteja em dia (TOLLINI e FILHO, 2016).

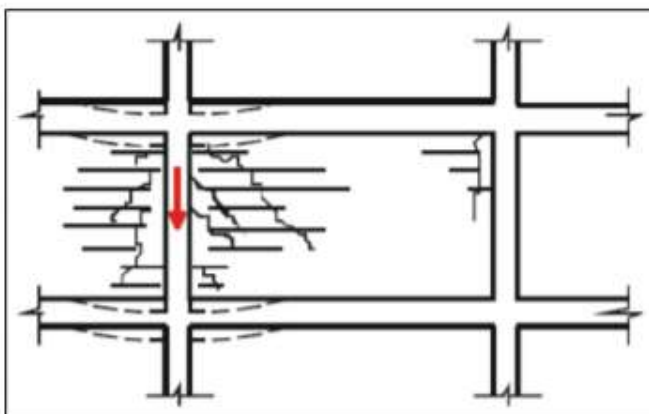
Diante dos benefícios introduzidos pela engenharia diagnóstica encontra-se a concepção de uma hierarquia lógica dos serviços prestados pelos profissionais especializados, partindo do nível mais simples, como a vistoria em edificação, até o nível mais complexo da prestação de serviço, caracterizado pela consultoria em edificação (GOMIDE et al., 2009).

Deflagrada uma anomalia na edificação, a engenharia diagnóstica visa estudar os sintomas e os indícios dessa “doença” (sintomatologia); identificar o problema incidente, sua consequência, suas origens (diagnóstico); recolher documentos, dados históricos da edificação e até entrevistas com moradores e usuários (anamnese); analisar as consequências evolutivas da anomalia instalada, caso o processo não seja estancado (prognóstico); e propor a solução mais adequada para corrigir o problema (terapia), sempre tentando entender o fato para que não recorra em futuras edificações, após tomadas as medidas preventivas (profilaxia) (BOLINA et al., 2019).

- Sintomatologia

Segundo Bolina et al. (2019) o estudo da forma e das características das manifestações patológicas é denominado sintomatologia, tendo em vista que as manifestações visualizadas na edificação é um sinal de que alguma anomalia ocorre no elemento, a exemplo da fissuração encontrada na Figura 11 abaixo, e o estudo desses sinais pode indicar as causas que culminaram no surgimento da degradação, conduzindo a uma correta intervenção dos elementos afetados.

Figura 11 - Fissuras inclinadas devido ao recalque diferencial entre pilares.



Fonte: THOMAZ, 1988.

A partir da manifestação sintomática externa as patologias podem ser classificadas e conceituadas, podendo ser exemplificadas através da definição correta dos sintomas, sendo possível determinar a origem e como a patologia pode afetar a eficiência da estrutura (SOUZA, 2019).

- Diagnóstico

Segundo Helene (1992), diagnóstico é a identificação e descrição do mecanismo, das origens e das causas responsáveis pela patologia encontrada em uma estrutura ou elemento estrutural. A constatação de manifestações patológicas pode decorrer tanto de um sintoma externo evidente, ou de uma vistoria cuidadosa efetuada dentro de um programa rotineiro de manutenção.

O diagnóstico de um problema patológico deve consistir em uma análise minuciosa, não imediatista, que entenda e leve em consideração todo o processo de evolução do fenômeno, devendo-se apoiar na característica que cada incidência anômala possui. Para efetuá-lo corretamente, faz-se necessário realizar uma inspeção visual para fazer a coleta de dados, identificando todos os sintomas observados, assim como sua localização e intensidade (TUTIKIAN e PACHECO, 2013).

Segundo Helene (2007) é na inspeção que se abrangem a coleta de todos os arquivos de projeto e de construção, a produção de relatórios, a avaliação do estado de integridade da obra e as principais recomendações, podendo ser de novas vistorias, de manutenção, recuperação, reforço ou reabilitação do sistema.

É importante investigar cuidadosamente a patologia e suas possíveis causas, pois ao se falhar no seu diagnóstico, a correção não será eficiente e uma patologia pode se apresentar como consequência de mais de uma deficiência. Assim, para que a medida corretiva seja eficiente devem-se sanar todas as suas causas (ANDRADE e SILVA, 2005).

- Prognóstico

Quando se estabelece o diagnóstico do problema encontrado, procura-se a medida adotada para tal caso. É necessário que seja feito um levantamento das hipóteses de evolução do problema, ou seja, prognóstico do caso. Para realizar o prognóstico, o profissional deve se fixar em alguns parâmetros, como as condições de exposição, a análise da evolução natural do problema, a análise do entorno em que a edificação se encontra e o tipo de problema (TUTIKIAN e PACHECO, 2013).

- Terapia

A terapia é a parte do processo da engenharia diagnóstica que trata da correção dos problemas patológicos, tendo como objetivo estancar o processo e devolver o desempenho e a segurança à edificação, onde só poderá ser bem planejada caso o diagnóstico seja realizado adequadamente, visto que a adoção da medida corretiva está atrelada ao mecanismo incidente (BOLINA et al., 2019).

Segundo Cánovas (1988), o fator econômico é um condicionante de bastante peso na hora de decidir sobre a necessidade e urgência de iniciar a intervenção, além da forma de realizá-la dentro da máxima eficácia exigida, tendo em vista que um diagnóstico errôneo culminará em um gasto desnecessário de recursos.

A fase de intervenção exigirá do profissional tamanha sensibilidade e criatividade, além do conhecimento no assunto, para que a tomada de decisão seja coerente ao problema. Em função do prognóstico, o especialista define o objetivo da intervenção que poderá erradicar a enfermidade, impedir ou controlar sua evolução ou não intervir (TUTIKIAN e PACHECO, 2013).

Bolina et al. (2019) ainda afirma que as formas de intervenção mais aceitas pelo setor são os oito Rs: reabilitação, recuperação, reparo, reforço, restauro, reforma, reconstrução e *retrofit*, descritos na Tabela 4 abaixo.

Tabela 4 – Formas de intervenção para manifestações patológicas.

REABILITAÇÃO	Traz uma estrutura deteriorada à sua condição inicial de desempenho.
RECUPERAÇÃO	Operações e técnicas destinadas a corrigir anomalias existentes na edificação.
REPARO	Geralmente se dá em regiões localizadas dos elementos de um sistema, para devolver sua condição original.
REFORÇO	Intervenção que busca incrementar resistência e/ou estabilidade do sistema.
RESTAURO	Atividades destinadas a restabelecer a unidade da edificação do ponto de vista histórico.
REFORMA	Métodos e atividades pelo qual se estabelecem uma nova forma e condições de uso a uma edificação.
RECONSTRUÇÃO	Conjunto de técnicas baseado em evidências históricas e destinado a construir novamente uma edificação ou parte dela que esteja destruída.
RETROFIT	Troca ou substituição de componentes, elementos ou sistemas de uma edificação, os quais se tornaram inadequados ou obsoletos ao longo do tempo.

Fonte: Adaptado de BOLINA et al. (2019).

- Profilaxia

De acordo com Bolina et al. (2019) profilaxia é o conjunto de medidas preventivas implementadas antes que qualquer processo patológico surja, podendo ser a manutenção preventiva ou os cuidados de projeto e execução para o bom funcionamento da edificação.

3.6.1 Vida útil de projeto

A ISO 15.686-1 (2011) define a vida útil de projeto (VUP) como a vida útil considerada pelo projetista como base para suas especificações. De acordo com a ABNT NBR 15575 vida útil de projeto é “a capacidade da edificação ou de seus sistemas de desempenhar satisfatoriamente suas funções ao longo do tempo, sob condições de uso e manutenção especificadas”. De acordo com Santos (2010) a VUP é um período em anos que será

considerado pelo projetista na especificação e desenvolvimento dos sistemas e materiais pelo qual é responsável, sendo diretamente ligada com a durabilidade pretendida da edificação.

Os problemas deflagrados durante o ciclo de vida da edificação podem ser diversos, causados tanto por envelhecimento natural dos materiais quanto por acidentes ocorridos durante o seu uso (SOUZA e RIPPER, 1998).

Para satisfazer a vida útil, é imprescindível que os componentes dos sistemas de uma edificação sejam duráveis, ou seja, não deixe de cumprir as funções que lhe foram atribuídas em projeto, seja pela degradação ou pela obsolescência funcional da edificação (BOLINA et al., 2019).

Bolina et al. (2019) ainda afirma que o período temporal da vida útil de projeto remete não apenas aos conceitos de durabilidade, mas também, de forma indireta, aos princípios de qualidade dos materiais empregados na obra e dos sistemas projetados e de acuidade dos processos de execução, criando uma estreita correlação com patologia das construções. De acordo com a ABNT NBR 15575 o período temporal admitido para o sistema estrutural se difere dos demais sistemas constitutivos da edificação, como mostra a Figura 12 abaixo, já que alguns podem ser substituíveis.

Figura 12 – Vida útil de projeto (VUP) em anos.

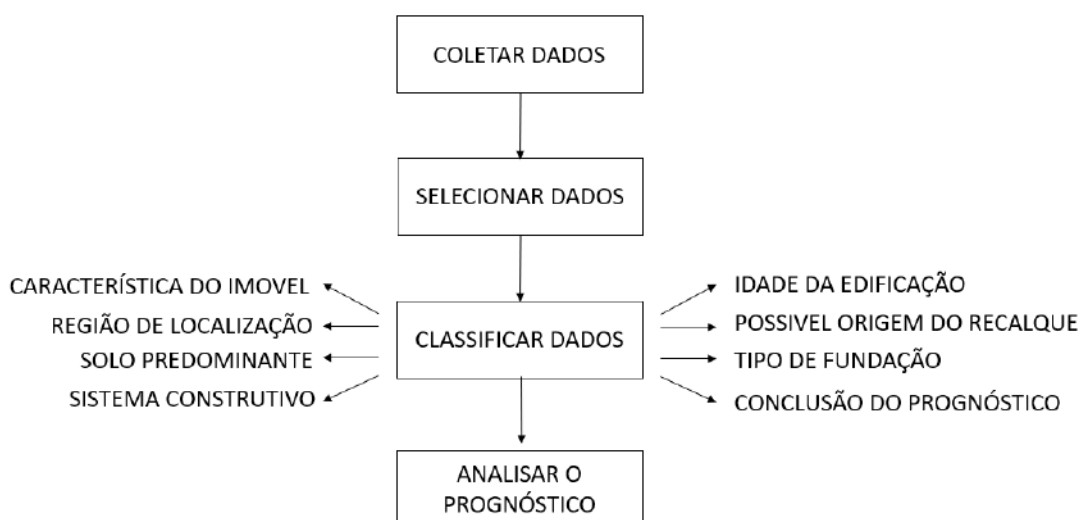
Sistema	Vida Útil de Projeto
Estrutura	≥ 50
Pisos internos	≥ 13
Vedação vertical externa	≥ 40
Vedação vertical interna	≥ 20
Cobertura	≥ 20
Hidrossanitário	≥ 20

Fonte: ABNT NBR 15575.

4 METODOLOGIA

A metodologia utilizada para elaboração deste trabalho, consistiu nas ações apresentadas na Figura 13, onde serão analisados 27 relatórios distintos, buscando entender a origem das manifestações patológicas através de uma inspeção visual e associar as semelhanças encontradas nas diferentes edificações.

Figura 13 - Organograma da metodologia adotada.



Fonte: Elaborado pelo autor

4.1 COLETA DE DADOS

Os dados desse trabalho foram provenientes de relatórios de ocorrências feitas pela Defesa Civil de João Pessoa, órgão público de prevenção, assistência e reconstrução no ano de 2019.

4.2 SELEÇÃO DOS DADOS

Os dados coletados já haviam passado por uma avaliação feita pela Defesa Civil de João Pessoa, onde foi realizado uma inspeção visual no ato da vistoria e após isso foram elaborados relatórios expondo detalhes sobre a edificação e os problemas inerentes à mesma. Com isso, foi

possível selecionar dentre todas as ocorrências feitas ao órgão, os dados que estão diretamente ligados as patologias estruturais devido ao recalque de fundação, totalizando 27 casos.

4.3 CLASSIFICAÇÃO

Com os dados selecionados, foi feita uma classificação dos mesmos quanto a característica do imóvel, região de localização, solo predominante, sistema construtivo, idade da edificação, possível origem do recalque, tipo de fundação e conclusão do prognóstico.

4.4 ANÁLISE DO PROGNÓSTICO

Por fim, com a tabela de classificação elaborada de acordo com o prognóstico fornecido pela Defesa Civil de João Pessoa, foi possível analisar e comparar os casos, buscando caracterizar as possíveis origens de recalque encontradas no município, analisando as manifestações patológicas presentes nos relatórios, fazendo uma ligação com o solo predominante e com o sistema construtivo do imóvel.

5 RESULTADOS E DISCURSÕES

5.1 CLASSIFICAÇÃO DOS PROGNOSTICOS

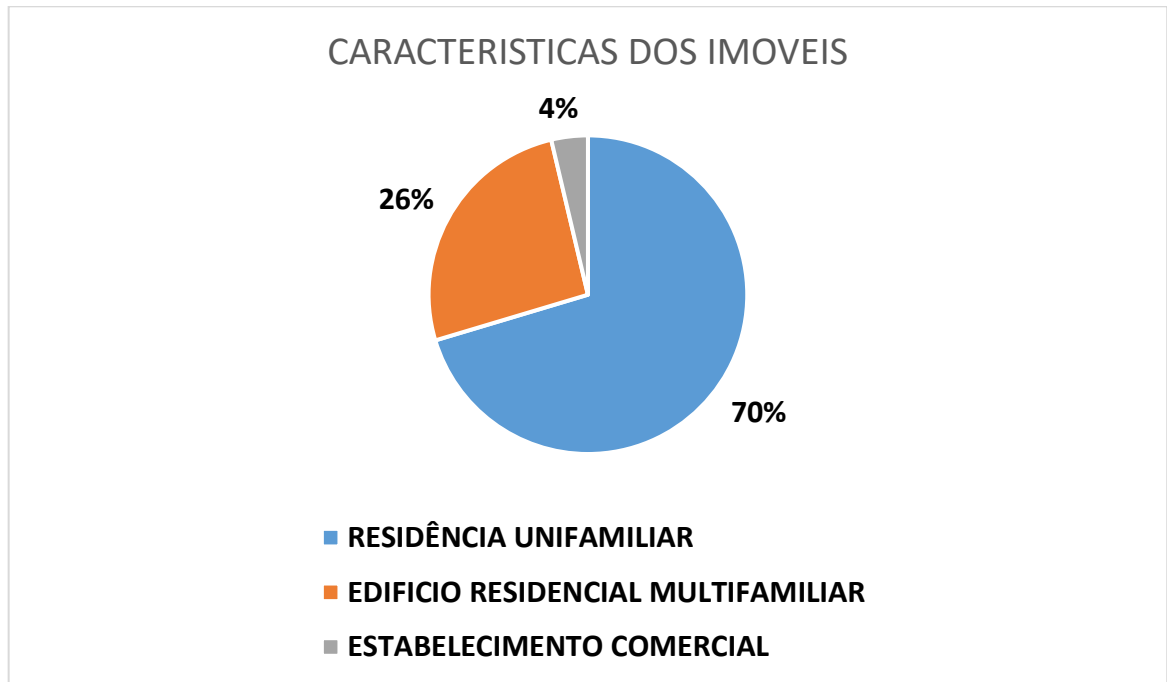
A partir dos 27 relatórios que foram selecionados para o estudo de caso, foi possível fazer uma tabela de classificação (ANEXO I) de acordo com a característica do imóvel, localização, solo predominante, sistema construtivo, idade da edificação, possível origem do recalque de fundação, tipo de fundação da obra e conclusão do prognóstico.

É importante destacar que informações como o tipo de fundação da construção, a origem do recalque e a idade da edificação, importantes dados para serem analisados, não foram encontrados na maioria dos relatórios. Isso se deu devido à ausência de projetos, principalmente os de fundação, necessários para interpretação de problemas e possíveis soluções que poderiam ser executadas. Quanto a origem do recalque, pode-se dizer ainda que a falta de monitoramento é fator agravante nas obras e a ausência dos ensaios de campo e de laboratório não permitiu a conclusão da origem de alguns casos que não era possível concluir por inspeção visual.

5.1.1 Classificação quanto à característica do imóvel

De acordo com Milititsky et al. (2008), geralmente, a sondagem do terreno é dispensada em obras de pequeno e médio porte por questões financeiras, o que leva a soluções inadequadas de fundações. A amostra desse estudo é composta por 19 residências unifamiliares, 7 edifícios residenciais multifamiliares e 1 estabelecimento comercial, ou seja, é predominantemente composta por residências unifamiliares (Gráfico 1).

Gráfico 1 - Porcentagem de acordo com a característica dos imóveis.



Fonte: elaborado pelo autor.

Na Figura 14 abaixo está a representação de um dos edifícios residenciais multifamiliar (A), de uma das residências unifamiliar (B) e do único estabelecimento comercial da amostra (C). Na Figura 15 encontra-se as manifestações patológicas presente no edifício multifamiliar (Relatório 7) que é composto por 2 blocos com 36 apartamentos ao total. Foram observadas anomalias como fissuras (abertura inferior à 0,5 mm), alguns sinais de vícios construtivos como trincas nos pisos cerâmicos, infiltração no teto possivelmente advindo de uma infiltração na fachada do prédio e recalque diferencial na calçada do edifício possivelmente decorrente da falta de compactação do solo.

Figura 14 - Representação dos imóveis da amostra.



Fonte: Adaptado da Defesa Civil de João Pessoa (2019).

Figura 15 - Manifestações patológicas no edifício residencial multifamiliar (Relatório 7).



Fonte: Adaptado da Defesa Civil de João Pessoa (2019).

A Figura 16 apresenta as manifestações patológicas encontradas em uma das residências unifamiliar (Relatório 27). O imóvel possuía 311 m² de área edificada de alto padrão de construção, com dois pavimentos. As anomalias encontradas na residência foram fissuras verticais e horizontais (abertura inferior à 0,5mm) e rachaduras (abertura superior à 2,0mm) em diversos ambientes da moradia, como também nas paredes externas do fundo e das laterais, possivelmente ocasionados pelo recalque diferencial das fundações corridas, onde foi possível identificar que as fundações com pedra calcárea argamassada, apresentava vazios entre as pedras sem envolvimento completo com a argamassa (Figura 17), fatores que comprometeram a estabilidade das paredes e área de abrangência. A evolução poderia contribuir para sinistro de ruptura e possível desabamento.

Figura 16 - Manifestações patológicas na residência unifamiliar (Relatório 27).



Fonte: Adaptado da Defesa Civil de João Pessoa (2019).

Figura 17 - Fundações com vícios construtivos (pedra não argamassada).



Fonte: Defesa Civil de João Pessoa (2019).

A Figura 18 demonstra as anomalias do estabelecimento comercial, de pavimento em vão único que possui uma área de 125 m². Foi diagnosticado que a edificação apresentava fissuras nas paredes, possivelmente originadas por falta de manutenções pontuais na estrutura e por recalque de fundação tendo em vista a localização das fissuras próximas as esquadrias e o posicionamento das mesmas. Foi identificado que uma das fissuras presentes separava o elemento estrutural (viga) do sistema de vedação que pode ter sido ocasionado pelo recalque de fundação. Além disso também apresentava marcas de umidade no teto, onde deixou o material de revestimento com sessões de deslocamento, que pode ter sido originada devido a alguma falha no sistema de escoamento das águas pluviais do prédio vizinho.

Figura 18 - Manifestações patológicas no estabelecimento comercial (Relatório 12).



Fonte: Adaptado da Defesa Civil de João Pessoa (2019).

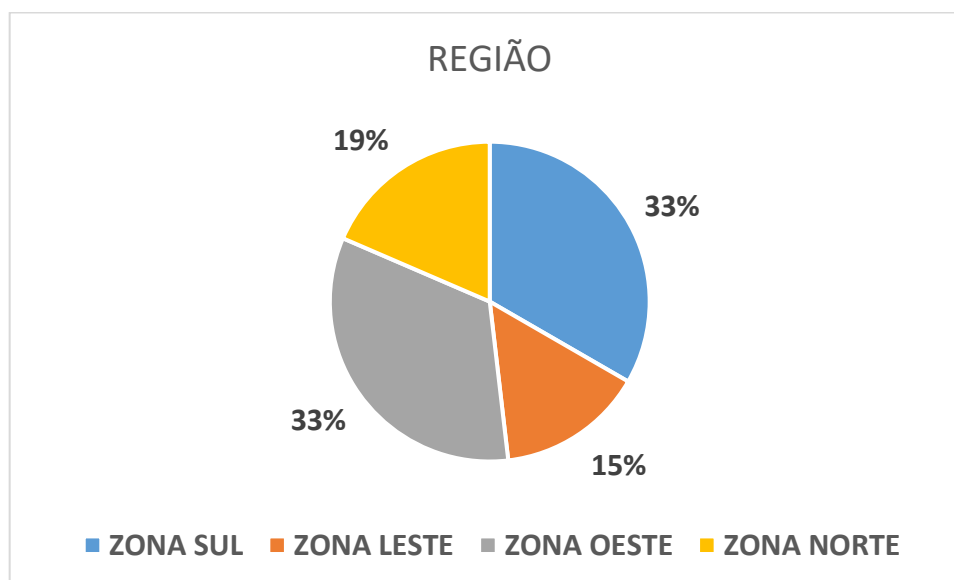
Observando a ausência de estudos preliminares e até mesmo projetos na maior parte dos casos estudados, é notório a importância das sondagens e monitoramentos mesmo que a construção seja de pequeno porte, pois dependendo do estado do solo, pode ser crucial para a edificação.

5.1.2 Classificação quanto à região de localização e solo predominante

Segundo Rolim (2018) recobrimo o embasamento cristalino pré-cambriano e as rochas sedimentares cretáceas e paleogênicas das Bacias Sedimentares Pernambuco – Paraíba e Potiguar, como já dito no referencial teórico, encontram-se os sedimentos areno-argilosos mal consolidados da Formação Barreiras, que, em alguns casos, por possuir maior capacidade de retenção de água, pode ser prejudicial para a construção, dependendo do porte da mesma, caso não haja um melhoramento de solo ou uma solução adequada.

Sendo assim, o solo predominante e a região de localização do imóvel também foram classificações feitas no presente estudo para que fosse possível analisar qual região é mais afetada diante da amostra de dados obtidas. Observando o Gráfico 2, percebe-se que a Zona Sul e a Zona Oeste foram as duas regiões com maior índice de problemas. Além dos casos estudados presentes nessas regiões terem tido unanimidade de solo da formação barreiras, é importante citar que os bairros localizados nessas regiões são em sua grande maioria de classe média baixa, apresentando casas com má execução de serviço, sem acompanhamento de um profissional técnico, o que pode justificar a predominância dos casos.

Gráfico 2 – Porcentagem de acordo com a região de localização do imóvel

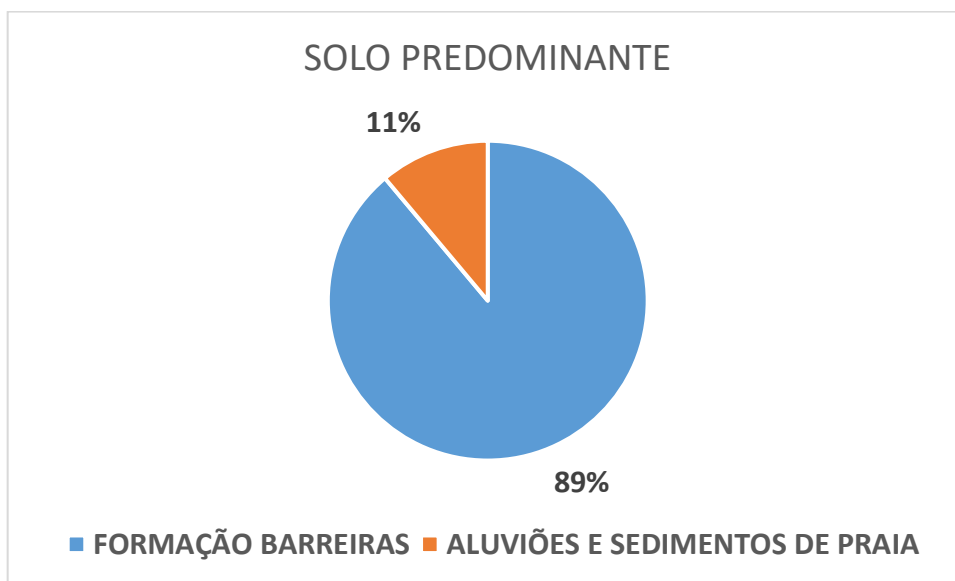


Fonte: Elaborado pelo autor.

O Gráfico 3 apresenta a porcentagem dos casos de acordo com o solo predominante, sendo visível que a maioria deles estão localizados na formação barreiras. Nos relatórios com predominância desse tipo de solo, foram apresentadas, em sua grande maioria, manifestações

patológicas comuns como: fissuras e rachaduras em pisos e paredes, deslocamento de revestimento e desnivelamento de piso. A Figura 19 exemplifica uma residência unifamiliar edificada em alvenaria convencional com cobertura em madeiramento e telha canal, sem revestimento externo, além das rachaduras e fissuras nas paredes e no piso, notou-se que existia uma inclinação dentro da residência para o lado direito, indicando um possível recalque no solo. É importante destacar que os métodos construtivos más executados, bem como a situação de precariedade da edificação, também contribuiu para o aparecimento das manifestações patológicas.

Gráfico 3 – Porcentagem de acordo com o solo predominante



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 19 - Manifestações patológicas (Relatório 03).



Fonte: Adaptado da Defesa Civil de João Pessoa (2019).

A Figura 20 (Relatório 19) apresenta as manifestações encontradas em uma residência unifamiliar que apresentava térreo e primeiro pavimento, também localizada em solo com predominância de formação barreiras, onde foi constatado rachaduras nas paredes e no forro, além da presença de infiltrações devido à falta de manutenção de impermeabilização da cobertura. O piso da cozinha e da sala apresentou uma declividade, indicando possíveis recalques na fundação que pode ter sido ocasionado devido a uma tubulação de esgoto onde possivelmente ocorreu um vazamento provocando um encharcamento do solo com presença de dejetos e chorume que ao receber o peso da edificação comprimiu o mesmo, movimentando-o e provocando o recalque.

Figura 20 - Manifestações patológicas (Relatório 19).



Fonte: Adaptado da Defesa Civil de João Pessoa (2019).

Tendo em vista os relatórios com predominância de solo em aluviões e sedimentos de praia, as manifestações patológicas encontradas foram semelhantes às da formação barreiras, sendo encontrado mais fissuras do que rachaduras e maior índice de deslocamento de revestimento. A Figura 21 apresenta as manifestações patológicas encontradas no Relatório 09,

que diz respeito à um edifício residencial localizado em um terreno com uma grande inclinação, possuindo dois blocos com 50 apartamentos cada e 4 andares de subsolo. Foram encontradas fissuras nas paredes dos apartamentos, a maioria verticalmente indicando possíveis recalques, e na fachada do edifício, má funcionalidade das esquadrias em alguns apartamentos, deslocamento de revestimento e alguns sinais de infiltração. É importante destacar que na época do aparecimento das manifestações estava sendo executado uma obra ao lado da edificação que pode ter provocado o agravamento das anomalias.

Figura 21 - Manifestações patológicas (Relatório 09).



Fonte: Adaptado da Defesa Civil de João Pessoa (2019).

É importante analisar o tipo de solo predominante da localização da obra, pois dependendo desse estudo, é possível dirimir erros, buscando a melhor solução viável para tal edificação.

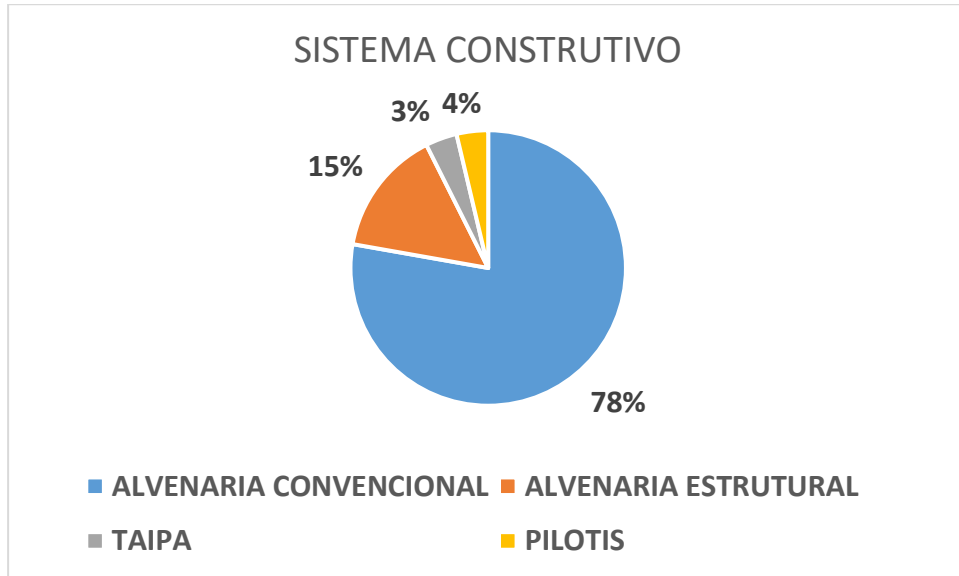
5.1.3 Classificação quanto o sistema construtivo

De acordo com Roman et al. (1999) a alvenaria estrutural é um sistema construtivo que utilizam as paredes da construção para resistir às cargas, em substituição aos pilares e vigas utilizados no sistema de concreto armado, aço ou madeira. Já a alvenaria convencional, é uma alvenaria que utiliza geralmente blocos cerâmicos com a função apenas de vedar e compartimentar as áreas, necessitando do auxílio de uma estrutura (pilares, vigas e lajes) para sustentação da edificação.

O Gráfico 4 apresenta a porcentagem de cada sistema construtivo encontrado nos relatórios, onde pode-se observar a predominância relevante da alvenaria convencional. Além de ser o sistema mais utilizado na construção civil no Brasil, a alvenaria convencional possui

uma mão de obra e materiais mais baratos que os estruturais e os relatos apresentados pela defesa civil de João Pessoa são casos predominantemente de edificações de classe média baixa, onde não possuíam um profissional técnico para execução da obra.

Gráfico 4 – Porcentagem de cada sistema construtivo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Observa-se na Figura 22 retirada do relatório 18, um edifício residencial com sistema construtivo de alvenaria estrutural onde apresentou manifestações patológicas como fissuras ao longo de toda edificação, com angulação aproximadamente de 45° nos cantos das portas e janelas, indicando a possível inexistência de vergas e contra-vergas o que caracteriza um vício construtivo, além da possibilidade de ser proveniente de recalque diferencial de fundação, quando ocorre em apenas um lado da esquadria.

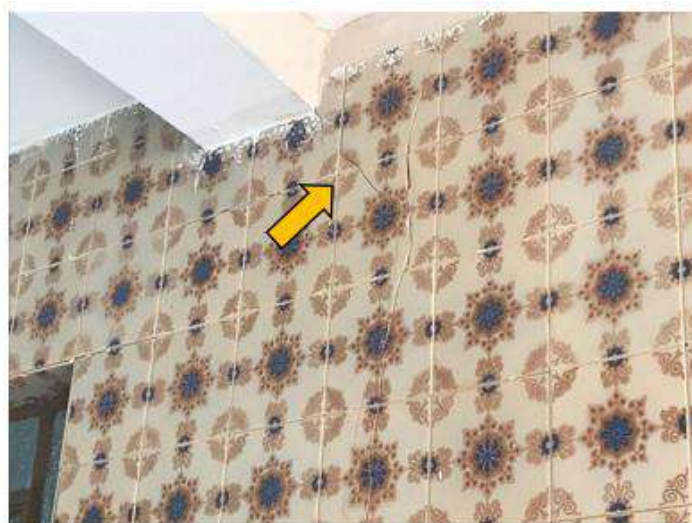
Figura 22 - Manifestação patológica presente no relatório 18.



Fonte: Adaptado da Defesa Civil de João Pessoa (2019).

Na Figura 23 retirada do relatório 19, encontra-se uma casa residencial com sistema construtivo de alvenaria convencional, já tendo sido apresentada as anomalias (Figura 20) destacando as fissuras como as mais recorrentes, podendo ter sido ocasionado tanto por má execução como por recalque de fundação. Elas estão presentes tanto na construção de alvenaria convencional quanto na de alvenaria estrutural, sendo necessário uma maior atenção ao processo de execução, para que não haja vícios construtivos que desenvolva manifestações patológicas na edificação.

Figura 23 - Manifestação patológica presente no relatório 19.



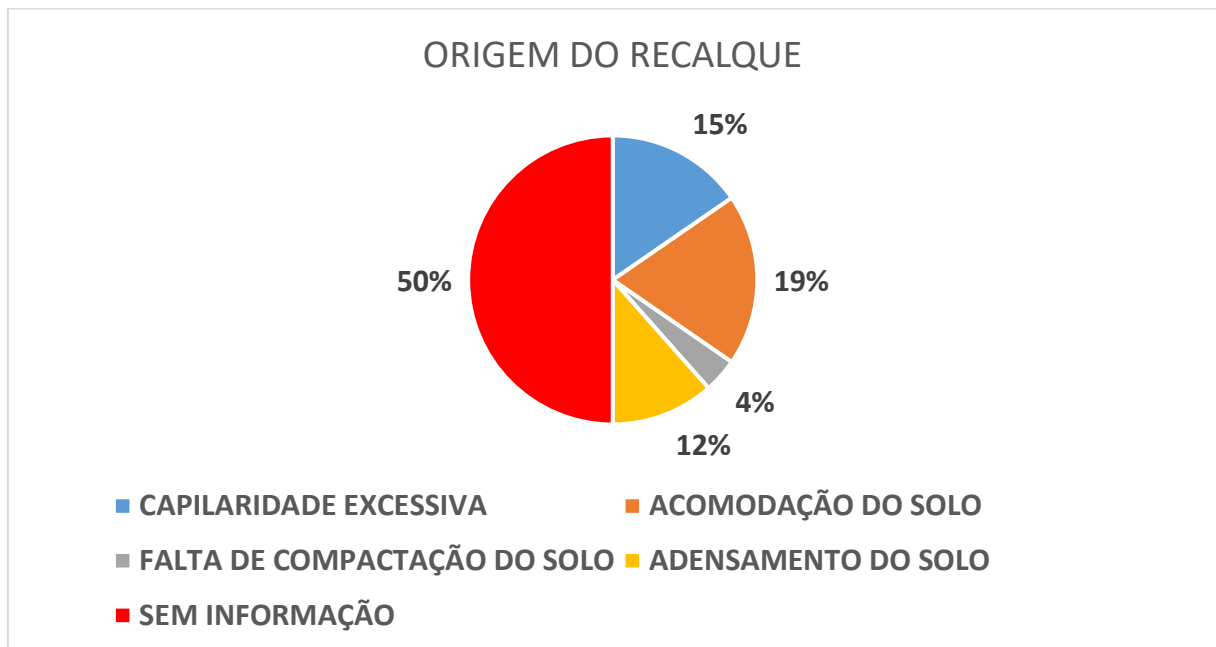
Fonte: Adaptado da Defesa Civil de João Pessoa (2019).

É necessário ressaltar a importância da realização adequada de cada etapa do sistema construtivo, seja ele estrutural ou convencional, evitando o surgimento de anomalias devido a esse fator. Ressalta-se também a necessidade do desenvolvimento das investigações geotécnicas necessárias, dos projetos e de um responsável técnico que assuma o controle da obra.

5.1.4 Classificação quanto a possível origem do recalque

O Gráfico 5 a seguir representa a porcentagem das possíveis origens do recalque diferencial encontradas nos relatórios. Percebe-se que 48% dos casos estudados não apresentam suposições da origem dos recalques, isso se deu pelo déficit de informações presentes no estudo. Além disso, é importante destacar que ensaios poderiam ter sido realizados nesses casos não identificados por inspeção visual, para maior detalhamento do estudo, mas foi impossibilitado devido a pandemia.

Gráfico 5 – Porcentagem de cada origem do recalque.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Segundo Bauer (2014 apud ERNICA et al., 2017) a capilaridade excessiva é causada pela umidade advinda do solo que não encontrou uma camada protetora impermeabilizante, subindo pelos vazios capilares dos elementos porosos, fazendo com que a umidade se alastre. O recalque ocasionado pela umidade excessiva do solo possivelmente estava presente em

alguns casos que apresentaram rachaduras em pisos e paredes, deslocamento de revestimento e infiltrações como manifestações patológicas.

A Figura 24 demonstra essas manifestações (Relatório 20), advinda da ausência do sistema de impermeabilização da fundação que contribuiu para o molhamento da parte inferior das paredes e conseqüentemente a redução no desempenho do sistema construtivo, surgindo as anomalias ocasionadas por fissuras de instabilidade dimensional dos materiais, expansões provocadas por agentes que são carregados pela umidade até a superfície do sistema.

Figura 24 - Manifestações patológicas devido ao recalque por capilaridade excessiva.



Fonte: Adaptado da Defesa Civil de João Pessoa (2019).

Sabe-se que é comum ocorrer a acomodação do solo sempre que é construída uma edificação. No entanto, quando ela ocorre em um grau elevado e não uniforme, ou seja, uma parte do solo acomoda mais que a outra, origina manifestações patológicas como rachaduras e fissuras em pisos e paredes e desnivelamento do piso.

A Figura 25, exemplifica o recalque que pode ter sido ocasionado por acomodação do solo (Relatório 10). Observou-se a má funcionalidade das esquadrias da residência, o piso possuía indícios de acomodação do solo, com inúmeras fissuras, bem como as fachadas da edificação. As paredes internas também possuíam uma grande quantidade de fissuras e rachaduras, podendo ter sido provindas da acomodação do solo e da falta de manutenção da residência.

Figura 25 - Manifestações patológicas devido ao recalque por acomodação do solo.



Fonte: Adaptado da Defesa Civil de João Pessoa (2019).

Conforme Marangon (2018) a compressibilidade do solo é a diminuição do seu volume sob a ação de cargas aplicadas. Os processos de compressão podem ocorrer por compactação do solo que é a redução de volume devido ao ar contido nos vazios do solo e pelo adensamento que é a redução do volume de água contido nos vazios do solo. Quando a compactação não é feita de maneira correta, pode resultar em recalque diferencial, tendo uma parte da fundação que cede mais que a outra.

O estudo apresentou casos que, por inspeção visual, pareciam ser referentes ao processo de falta de compactação do solo e de adensamento do solo de maneira não uniforme, o que causou recalque diferencial resultando em manifestações patológicas como fissuras e rachaduras em pisos e paredes, desnivelamento do piso e má funcionalidade de esquadrias, a exemplo das Figuras 26 (Relatório 21) e 27 (Relatório 18) abaixo, que constam casos dos dois processos.

Figura 26 - Manifestação patológica devido ao recalque diferencial por adensamento do solo.



Fonte: Adaptado da Defesa Civil de João Pessoa (2019).

Figura 27 - Manifestação patológica devido ao recalque diferencial por falta de compactação do solo.



Fonte: Adaptado da Defesa Civil de João Pessoa (2019).

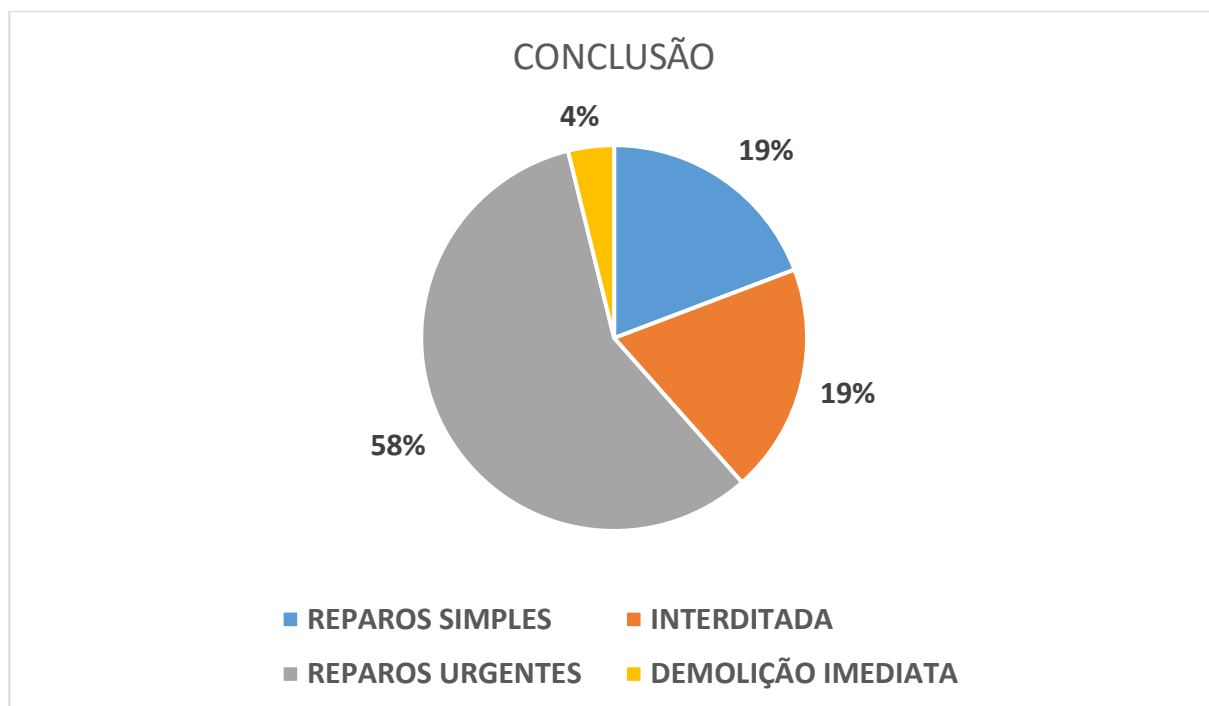
As investigações geotécnicas são fundamentais para que seja possível projetar uma fundação adequada de acordo com os tipos e características dos solos, evitando o surgimento de manifestações patológicas.

5.1.5 Classificação quanto o prognóstico

De acordo com a situação do imóvel a Defesa Civil de João Pessoa direciona a conclusão do relatório técnico à um prognóstico, estabelecendo opções como: reparos simples, reparos urgentes, interdição e demolição imediata. Diante dos casos estudados, notou-se a

predominância de reparos urgentes nos imóveis (Gráfico 6), tanto pela preservação da construção, evitando que ela chegasse ao colapso, quanto pelo risco de vida dos moradores e da população.

Gráfico 6 – Porcentagem da conclusão do prognóstico dos imóveis.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Segundo Cánovas (1988) o reparo é feito com o intuito de devolver o aspecto normal da peça mediante a restauração das suas áreas degradadas, ou seja, acontece geralmente em regiões localizadas. O reparo simples diz respeito ao que não interfere diretamente no bem-estar do imóvel, mas caso não seja resolvido, pode causar problemas maiores.

A Figura 28 (Relatório 05) demonstra anomalias registradas em um edifício residencial que necessitava de reparos simples. Foi registrada uma ocorrência do desabamento de laje no piso do espaço reservado para garagem, como a laje recebia cargas provenientes de seu uso, esta precisaria combinar materiais (concreto e aço) para que seu comportamento de resistir a estes esforços fosse adequado à situação descrita, no entanto, o que se pôde observar no ato da vistoria, é que esse elemento era composto apenas pelo material concreto, sem o emprego do aço. Além disso, outras anomalias como mau funcionamento das esquadrias possivelmente em virtude de deslocamentos verticais na fundação devido ao recalque diferencial do solo.

Figura 28 - Manifestações patológicas necessitadas de reparos simples (Relatório 05).



Fonte: Adaptado da Defesa Civil de João Pessoa (2019).

Já os reparos urgentes, são os vícios que comprometem a habitabilidade do imóvel, como demonstra a Figura 29. A amostra do relatório 27 apresentou anomalias já representadas nas Figuras 16 e 17.

Figura 29 - Manifestações patológicas necessitadas de reparos urgentes (Relatório 27).



Fonte: Adaptado da Defesa Civil de João Pessoa (2019).

Um imóvel pode ser interdito pela Defesa Civil, no surgimento de evidências ou indícios de risco iminente de acidentes novos, ou por agravamento de alguma situação de deterioração. Dentre os casos estudados no presente trabalho, alguns tiveram a conclusão de que precisavam ser interditados, indicando que o risco era elevado. A Figura 30, representa um desses casos, exemplificando uma residência unifamiliar com aproximadamente 50m² edificada em alvenaria convencional de baixo padrão, apresentando péssimas condições de habitação pelos vícios construtivos com alto grau de vulnerabilidade podendo chegar a um colapso iminente. Foram encontradas manifestações patológicas como fissuras e rachaduras em paredes

e no piso que também possuía um desnível possivelmente causado pelo recalque diferencial de fundação.

Figura 30 - Imóvel interditado pela Defesa Civil de João Pessoa (Relatório 08).



Fonte: Adaptado da Defesa Civil de João Pessoa (2019).

Por fim, o estudo apresentou um único caso de demolição imediata, que acontece quando a estrutura se encontra com muitas anomalias, não sendo possível recuperar. O imóvel é uma residência unifamiliar, que já teve suas manifestações patológicas ilustradas (Figura 19, Figura 20 e Figura 23) com a fachada demonstrada na Figura 29. Caso o imóvel chegasse a colapsar poderia afetar também residências vizinhas.

Figura 31 - Residência unifamiliar (Relatório 19).



Fonte: Defesa Civil de João Pessoa (2019).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho fez algumas considerações acerca do processo da iteração solo x estrutura, analisando os aspectos das fundações e movimentos de terra, mais precisamente o recalque diferencial de fundações, que podem gerar manifestações patológicas nas edificações, exemplificando o processo através de relatos feitos pela Defesa Civil do Município de João Pessoa.

Os objetivos inerentes ao estudo buscaram avaliar as anomalias dos imóveis da cidade de João Pessoa, classificando essas amostras para que fosse possível identificar as principais manifestações patológicas acometidas na cidade, buscando analisar a predominância delas e das possíveis causas de recalque diferencial.

Foi possível identificar através da análise dos relatórios transcritos pelo órgão municipal que a maioria dos relatos feitos são de residências unifamiliares, ou seja, obras de pequeno e médio porte, onde é mais comum não haver investigações geotécnicas ficando suscetíveis a presenças de anomalias. Quanto a região de localização, observou-se a predominância dos casos na Zona Sul e na Zona Oeste, com solo predominante da formação barreiras, concluindo a importância de análises geotécnicas nessas regiões e em solos com essas características, para que seja possível adotar soluções adequadas para a edificação, evitando problemas.

Já em relação ao sistema construtivo, pôde-se verificar que foram predominantemente feitos em alvenaria convencional, sendo necessário dar atenção ao processo de execução das obras para que a mesma não seja má executada, evitando anomalias. Além disso, foi identificado no estudo das possíveis origens dos recalques, a falta de informações pertinentes para a conclusão do diagnóstico, tendo em vista que a maioria dos casos não tiveram suas possíveis origens encontradas por inspeção visual e não possuíam projetos que facilitasse o entendimento do problema.

Quanto a conclusão elaborada pela defesa civil, identificou que a maioria dos casos necessitavam de reparos urgentes devido, principalmente, ao risco de vida dos moradores e da vizinhança, caso houvesse o colapso da estrutura, tendo em vista que a maioria dos relatos eram residências familiares.

É importante mencionar o déficit em informações como projetos e investigações geotécnicas, que impossibilitou que o estudo fosse melhor analisado. Com isso, faz-se

necessário a atenção a problemática recorrente a este fato como forma de prevenção ao recalque de fundações e a execução das soluções que poderão ser adotadas. Além disso, é indispensável que o processo executivo seja bem elaborado, seguindo as determinações dos projetos, garantindo que os esforços da estrutura atuem no solo na intensidade e na forma prevista.

O processo de recuperação das manifestações patológicas encontradas só será eficaz após a análise dos dados sobre o controle de movimentações e investigações geotécnicas, para que seja possível fazer uma correta identificação da origem dos problemas, solucionando o mesmo e posteriormente, realizando os reparos na edificação.

7 PUBLICAÇÕES

- Análise das Principais Causas de Manifestações Patológicas em Edificação do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba – IBRACON 2019
- Principais Patologias de uma edificação com mais de 90 anos – CIRMARE 2020
- Restauração do Patrimônio Histórico: obra da casa do Governador João Pessoa – CINPAR 2021
- Comparativo de custos de fundação real com indicadores de projeto – Cobramseg 2020
- Controle de erosão com uso de gabião: um estudo de caso na cidade do conde – PB – Cobramseg 2020
- Análise da proposta de intervenção para o processo erosivo da Falésia do Cabo Branco, João Pessoa – PB. – COBRAE 2021.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10905: Solo – Ensaio de palheta in situ**. Rio de Janeiro, 1989.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575: edifícios habitacionais – desempenho**. Rio de Janeiro, 2013d.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122/2019: Projeto e execução de fundações**. Rio de Janeiro, 2019.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6484: Solo – Sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2001.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8036: Programa de sondagens de simples reconhecimento do solo para fundações de edifícios - Procedimento**. Rio de Janeiro, 1983.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8036: Solo – Prova de carga estática em fundação direta**. Rio de Janeiro, 2019.

ALHEIROS, M. M.; LIMA FILHO, M. F.; FERREIRA, M. G. V. X. **Formação Cabo em Recife: limite setentrional da bacia Sergipe-Alagoas**. In: Simpósio de Geologia do Nordeste. Fortaleza, 1989.

ALONSO, U. R. **Previsão e Controle das Fundações**. São Paulo: Edgard Blucher, 1991.

ALVA, G. M. S. **Projeto estrutural de sapatas**. (Notas de Aula) – Departamento de Estruturas e Construção Civil, Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2007. Disponível em: <<http://coral.ufsm.br/decc/ECC1008/Downloads/Sapatas.pdf>>. Acesso em: 11 de maio de 2021.

AMANCIO, T. D. C. **Ensaio de perda de água**. (Notas de Aula) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2013.

ANDRADE, T.; SILVA, A. J. C. **Patologia das Estruturas**. In: ISAIA, Geraldo Cechella (Ed.). Concreto: ensino, pesquisa e realizações. São Paulo: IBRACON, 2005.

BARROS, C. **Apostila de fundações**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia. Rio Grande de Sul, 2011. Disponível em: <<https://edificacoes.files.wordpress.com/2011/04/apo-fundac3a7c3b5es-completa.pdf>>. Acesso em: 5 de maio de 2021.

BASTOS, P. S. S. **Sapatas de fundação**. (Notas de Aula) - Departamento de engenharia civil, Universidade Estadual Paulista. São Paulo, 2019. Disponível em: <<https://www.feb.unesp.br/pbastos/concreto3/Sapatas.pdf>>. Acesso em: 10 de maio de 2021.

BAUER, A. F. **Materiais de construção**. Rio de Janeiro, LTC, 2014.

BEZERRA, J. M. B. **Caracterização da Formação Barreiras da cidade de João Pessoa com base em sondagens SPT e estudo geotécnico de uma encosta com alto risco de deslizamento**. Tese (Dissertação de Mestrado) – Programa de pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco. Recife, p. 169. 2018.

- BOLINA, F. L.; TUTIKIAN, B. F.; HELENE, P. R. L. **Patologia de estruturas**. São Paulo: Oficina de textos, 2019.
- BOTELHO, M. H. C.; CARVALHO, L. F. M. **Quatro edifícios, cinco locais de implantação, vinte soluções de fundações**. 1. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2007. 154 p.
- BRADY, N.C; WEIL, R.R. **Elementos da Natureza e Propriedades dos Solos**. 3ª ed. Tradução técnica: Igo Fernando Lepsch. Porto Alegre: Editora Bookman, 2013. p. 685.
- BRAGA, V. D. F. **Estudo dos tipos de fundações de edifícios de múltiplos pavimentos na região metropolitana de Fortaleza**. Trabalho para conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Estrutural e Construção Civil, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, p. 70. 2009.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. CPRM. **Geologia e recursos minerais do Estado da Paraíba**. Recife: CPRM, 2002.
- BRITO, W. D. L.; GOMES, C. **Fundação e Geotecnia: Métodos de investigação geológica e geotécnica da fundação de barragens de concreto**. In: Revista do CEDS (ISSN 447-0112), n. 9, 2018.
- CÁNOVAS, M. F. **Patologia e terapia do concreto armado**. São Paulo: Pini, 1988.
- CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, v. 2, 2012.
- CARVALHO, M. D. **Análise comparativa entre fundação superficial do tipo sapata isolada e radier liso em obra de edificação**. Trabalho para conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Faculdade Santa Rita. Conselheiro Lafaiete, p. 91. 2015.
- CHRISTOFOLETTI, A. (1980). **Geomorfologia**. 2 ed. São Paulo: Edgard Blucher.
- CORREIA, R. **Aluvião: o que é e como pode ser explorado**. 12 de março de 2019. Disponível em: <<https://www.minasjr.com.br/aluviao-o-que-e/>>. Acesso em: 13 de maio de 2021.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Plano Diretor do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Tabuleiros Costeiros (CPATC)**. Brasília: EMBRAPA, SPI, 1994, p. 37.
- FALCONI, Frederico F. et al. **Fundações: teoria e prática**. 2. ed. São Paulo: Pini, 1998.
- FERNANDES, L. H. A. **Análise das incidências de manifestações patológicas oriundas do recalque de fundações: estudo de caso na UFERSA- Angicos**. Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Rio Grande do Norte, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/bitstream/prefix/4988/1/LarissaHAF_ART.pdf>. Acesso em: 12 de maio de 2021.
- GERAB, N. **Radiers**. Equipe de Obra, Ed. Pini. São Paulo. n° 42, p.16-18, dezembro/2011.
- GOMIDE, T. L. F.; et. al. **Normas Técnicas para Engenharia Diagnóstica em Edificações**. São Paulo: Pini, 2009.
- Hardgrove, C.; Moersch, J.; Whisner, S. **Thermal imaging of alluvial fans: A new technique for remote classification of sedimentary features**. Earth and Planetary Science Letters, v.285, p.124-130, 2009.

HELENE, P. R. L. **Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto**. 2ª ed - São Paulo: PINI, 1992.

HELENE, P. R. L. **Rehabilitación y mantenimiento de estructuras de concreto**. In: HELENE, P.; PEREIRA, F. *Rehabilitación y mantenimiento de estructuras de concreto*. São Paulo: Paulo Helene & Fernanda Pereira, 2007. P. 18-32.

HELENE, P.; et al. **Manual de Reabilitação de Estruturas de Concreto: Reparo, Reforço e Proteção**. São Paulo: Red Reabilitar Editores, 2003.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 15686: Buildings and constructed assets — Service life planning — Part 1: General principles and framework**. Genebra, 2011.

JÚNIOR, Ivan Joppert. **Fundações e Contensões de Edifícios – qualidade total na gestão do projeto e execução**. São Paulo: PINI, 2007.

LIMA, C. C. U. **Evidências da ação tectônica nos sedimentos da Formação Barreiras presentes do Litoral de Sergipe ao Norte da Bahia**. In: *Revista de Geografia, especial VIII SINAGEO*, n. 1, 2010.

MARANGON, M. **Compressibilidade e adensamento dos solos**. Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora. Minas Gerais, 2018. Disponível em: <<https://www.ufjf.br/nugeo/files/2013/06/Marangon-Cap%3%adtulo-03-Compressibilidade-e-Adensamento-2018-at%c3%a9-pag-90.pdf>>. Acesso em: 15 de abril de 2021.

MARCHETTI, S. (1975). **A New In Situ Test for the Measurement of Horizontal Soil Deformability**. *Proceedings of the International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, N.C., V. 2, pp. 255-259.

MELO, L. D. S. **Análise de viabilidade técnico/econômica entre fundações profundas: estudo de caso entre estaca pré-moldada em concreto armado e tipo hélice contínua em um galpão industrial**. Trabalho para conclusão de curso (Bacharel em Engenharia Civil) – Centro Universitário do Sul de Minas. Varginha – MG, p. 139. 2018.

MILITITSKY, J.; CONSOLI, C.; SCHNAID, F. **Patologia das fundações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

MILITITSKY, J.; CONSOLI, N.; SCHNAID, F. **Patologia das Fundações**. 2. ed. São Paulo: Oficina de textos, 2015.

MIRANDA, A. J. B. **Fundações – Estudo da viabilidade técnica e econômica dos tipos de fundações aplicado a um empreendimento**. Tese (Dissertação de Mestrado) – Escola de Engenharia, Curso de Especialização em estruturas, Universidade Federal de Minas Gerais. Minas Gerais, p. 85. 2014.

MOURA, M. M. **Caracterização geral da Formação Barreiras na região Metropolitana de Fortaleza (RMF)**. Tese (Dissertação de mestrado) – Universidade Federal do Ceará. Ceará, 2005.

NOGUEIRA, G. H. **Análise Numérica de soluções de aterros sobre camadas compressíveis com avaliação da sobrecarga assimétrica em estacas de fundação**. Tese (Dissertação de Mestrado) – Escola de Minas, Programa de pós-graduação em Geotecnia, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, p. 178. 2021.

OLIVEIRA, C. A.; AMARO, M. R. G. **Dimensionamento de Tubulão a Ar Comprimido**. Tese (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo, Universidade do Vale do Paraíba. São Paulo, p. 37. 2016.

PAIVA, R. M. **Medição de recalques em edificação na cidade de João Pessoa – PB**. Trabalho para conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, p. 66. 2019.

PEREIRA, M. G.; et al. **Formação e Caracterização de Solos**. 2019. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/202369/1/Formacao-e-caracterizacao-de-solos-2019.pdf>>. Acesso em: 28 de maio de 2021.

PLANO DE MANEJO DA APA DE CONCEIÇÃO DA BARRA. **Solos**. V. 2, p. 39. Disponível em: <https://iema.es.gov.br/Media/iema/Downloads/GRN/20150508_VOLUME_II_212_Solos_e_Sedimentos.pdf>. Acesso em: 07 de maio de 2021.

POULOS, H.G. **Piled raft foundations: design and applications**. Geotechnique, Vol 51, Nº 2, 95-113. 2001.

REBELLO, Y. C. P. **Fundações: guia prático de projeto, execução e dimensionamento**. 4. ed. São Paulo: Ziguarte, 2008.

REZENDE, V. L. M. **Avaliação Patológica em recalques solo-fundação: uma análise de ocorrências na cidade de Uberlândia**. Trabalho para conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, p. 73. 2019.

RIBEIRO, M. A. A. **Análise Comparativa de Métodos Utilizados no Cálculo da Interação Solo-Radier**. 2010. 101 f., Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2010.

RIBEIRO, T. D.; QUINTANA, L. M. H. **Patologia de Fundações**. Disponível em: <<https://www.eumed.net/cursecon/ecolat/br/14/patologias-fundacoes.html>>. Acesso em 25 de maio de 2021.

ROJAS REYES, Alexander Alberto. **Uso de ensaios dilatométricos para a simulação numérica de uma estrutura de contenção em solo do D.F**. Tese (Dissertação de Mestrado) - Universidade de Brasília. Brasília. 2012.

ROLIM, Carlos. **Caracterização geotécnica e estudo da capacidade de carga de estaca escavada, instrumentada, submetida à compressão axial em solo de Formação Barreira**. Tese (Dissertação de Mestrado) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Pernambuco. Recife, p. 211. 2018.

ROMAN, H.R.; ARAÚJO, H.N.; MUTTI, C.N. **Construindo em alvenaria estrutural**. laedição. Florianópolis: editora daUFSC, 1999, p. 83.

SANTOS, G. V. D. **Patologias devido ao recalque diferencial em fundações**. Trabalho para conclusão de curso – Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais, Centro Universitário de Brasília. Brasília, p. 111. 2017.

SANTOS, J. A. **Ensaio de campo**. (Notas de Aula) – Instituto Superior Técnico. Lisboa, 2017. Disponível em: <http://www.civil.ist.utl.pt/~jaime/5_ME.pdf>. Acesso em: 16 de maio de 2021.

SANTOS, J. P. C. **Dimensionamento de Fundação Profunda: estudo de caso de uma obra em Patos de Minas**. Trabalho para conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Faculdade do Noroeste de Minas. Minas Gerais, p. 43. 2017.

SCHNAID, Fernando.; ODEBRECHT, Edgar. **Ensaio de Campo e suas aplicações à Engenharia de Fundações**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

SCHWIRCK, I. A. **Patologia das Fundações**. Universidade do estado de Santa Catarina – UDESC, Joenvile-SC. 2005.

SILVA, A. P., JONOV C.M.P. **Curso de especialização em construção civil**. (Notas de Aula) - Departamento de engenharia de materiais e construção. Minas Gerais, 2011. Disponível em: <http://www.demc.ufmg.br/adriano/Manifest_%20Pat_2016.pdf>. Acesso em: 30 de maio de 2021.

SOARES, F. L. **Investigação Geotécnica**. (Notas de Aula) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2020.

SOUZA, Murilo Marques. **Principais Patologias estruturais e atuais metodologias de controle na Construção Civil**. INTER-AMERICAN JOURNAL of Development and Reserarch, V.2, n. 1, p. 57-73, junho de 2019. Disponível em: <<http://revistas.uneouro.edu.br/index.php/uneouro/article/view/69/13>>. Acesso em: 17 de maio de 2021.

SOUZA, V. C. M.; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: Pini, 1998.

SOUZA, Vicente C. M.; RIPPER, Thomaz. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. 1. ed. São Paulo: Pini, 1998, p. 257.

SUGUIO, K.; NOGUEIRA, A. C. R. **Revisão crítica dos conhecimentos geológicos sobre a Formação Barreiras do Neógeno e o seu possível significado como testemunho de alguns eventos geológicos mundiais**. Geociências, São Paulo, 1999.

TEIXEIRA, Alberto Henrique; GODOY, Nelson Silveira de. **Análise, projeto e execução de fundações rasas**. In vários autores. Fundações: teoria e prática. 2. ed., São Paulo: Pini, 1998.

THOMAZ, E. **Trincas em edificações: causas e mecanismo de formação**. Tecnologia das edificações. São Paulo: Editora Pini, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paula (IPT), Coletânea de trabalho da divisão de edificações do IPT. 1988.

THOMAZ, Ercio. **Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação**. 1. ed. São Paulo: Pini, 1989. 194 p.

TOLLINI, H. T.; FILHO, S. A. C. **Proposta para padronização das ferramentas diagnósticas**. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília. Brasília, p. 64. 2016.

TUTIKIAN, B. F.; PACHECO, M. **Boletim Técnico 01: Inspeção, Diagnóstico e Prognóstico na Construção Civil**. Alconpat Internacional: Mérida 2013. Disponível em: <http://alconpat.org.br/wp-content/uploads/2012/09/B1_Inspe%C3%A7%C3%A3o-Diagn%C3%B3stico-e-Progn%C3%B3stico-na-Constru%C3%A7%C3%A3o-Civil1.pdf>. Acesso em 20 de maio de 2021.

VELLOSO, D. A.; LOPES, D. R. **Fundações**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, v. I, 2011.

WILSON, S. I. **Manual de sondagens**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1999, 4ª edição.

ANEXO A

TABELA DE CLASSIFICAÇÃO DOS IMOVEIS

PROGNÓSTICOS	CARACTERÍSTICA DO IMÓVEL	REGIÃO	SOLO PREDOMINANTE	SISTEMA CONSTRUTIVO	IDADE DA EDIFICAÇÃO	POSSÍVEL ORIGEM DO RECALQUE	TIPO DE FUNDAÇÃO	CONCLUSÃO
RELATÓRIO 1	CASA	ZONA SUL	FORMAÇÃO BARREIRAS	ALVENARIA CONVENCIONAL	36 ANOS	CAPILARIDADE EXCESSIVA	-	REPARAÇÃO SIMPLES
RELATÓRIO 2	CASA	ZONA OESTE	FORMAÇÃO BARREIRAS	ALVENARIA CONVENCIONAL	-	-	-	INTERDITADA
RELATÓRIO 3	CASA	ZONA NORTE	FORMAÇÃO BARREIRAS	ALVENARIA CONVENCIONAL	-	-	-	INTERDITADA
RELATÓRIO 4	EDIFÍCIO RESIDENCIAL	ZONA NORTE	FORMAÇÃO BARREIRAS	ALVENARIA ESTRUTURAL	30 ANOS	-	-	REPARAÇÃO SIMPLES
RELATÓRIO 5	EDIFÍCIO RESIDENCIAL	ZONA SUL	FORMAÇÃO BARREIRAS	ALVENARIA CONVENCIONAL	2,5 ANOS	-	-	REPARAÇÃO SIMPLES
RELATÓRIO 6	CASA	ZONA SUL	FORMAÇÃO BARREIRAS	ALVENARIA CONVENCIONAL	-	ACOMODADO DO SOLO	-	REPAROS URGENTES
RELATÓRIO 7	EDIFÍCIO RESIDENCIAL	ZONA SUL	FORMAÇÃO BARREIRAS	ALVENARIA CONVENCIONAL	-	FALTA DE COMPACTAÇÃO DO SOLO	-	REPAROS URGENTES
RELATÓRIO 8	CASA	ZONA OESTE	FORMAÇÃO BARREIRAS	ALVENARIA CONVENCIONAL	31 ANOS	-	-	INTERDITADA
RELATÓRIO 9	EDIFÍCIO RESIDENCIAL	ZONA LESTE	ALUVIÕES E SEDIMENTOS DE PRAIA	PILOTIS	20 ANOS	-	SAPATAS RASAS E ESTACAS	REPAROS URGENTES
RELATÓRIO 10	CASA	ZONA OESTE	FORMAÇÃO BARREIRAS	ALVENARIA CONVENCIONAL	23 ANOS	ACOMODADO DO SOLO	-	INTERDITADA
RELATÓRIO 11	CASA	ZONA OESTE	FORMAÇÃO BARREIRAS	ALVENARIA CONVENCIONAL	-	ACOMODADO DO SOLO	-	INTERDITADA
RELATÓRIO 12	ESTABELECIMENTO COMERCIAL	ZONA OESTE	FORMAÇÃO BARREIRAS	ALVENARIA CONVENCIONAL	20 ANOS	-	-	REPAROS URGENTES
RELATÓRIO 13	EDIFÍCIO RESIDENCIAL	ZONA LESTE	ALUVIÕES E SEDIMENTOS DE PRAIA	ALVENARIA ESTRUTURAL	6 ANOS	-	-	REPAROS SIMPLES
RELATÓRIO 14	CASA	ZONA NORTE	FORMAÇÃO BARREIRAS	ALVENARIA CONVENCIONAL	15 ANOS	-	-	REPAROS URGENTES
RELATÓRIO 15	CASA	ZONA OESTE	FORMAÇÃO BARREIRAS	TAIPA	50 ANOS	-	-	REPAROS URGENTES
RELATÓRIO 16	CASA	ZONA SUL	FORMAÇÃO BARREIRAS	ALVENARIA CONVENCIONAL	-	-	-	REPAROS SIMPLES
RELATÓRIO 17	CASA	ZONA SUL	FORMAÇÃO BARREIRAS	ALVENARIA CONVENCIONAL	-	-	-	REPAROS URGENTES
RELATÓRIO 18	EDIFÍCIO RESIDENCIAL	ZONA SUL	FORMAÇÃO BARREIRAS	ALVENARIA ESTRUTURAL	4 ANOS	ADENSAMENTO DO SOLO	-	REPAROS URGENTES
RELATÓRIO 19	CASA	ZONA NORTE	FORMAÇÃO BARREIRAS	ALVENARIA CONVENCIONAL	50 ANOS	ADENSAMENTO DO SOLO	-	DEMOLIÇÃO IMEDIATA
RELATÓRIO 20	CASA	ZONA OESTE	FORMAÇÃO BARREIRAS	ALVENARIA CONVENCIONAL	41 ANOS	CAPILARIDADE EXCESSIVA	-	REPAROS URGENTES