UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

LUARAH ALMEIDA DE VASCONCELOS

EXECUÇÃO DE LAJE SUBPRESSÃO: ANÁLISE DE METODOLOGIA BASEADA EM ESTUDO DE CASO

JOÃO PESSOA
2022

LUARAH ALMEIDA DE VASCONCELOS

EXECUÇÃO DE LAJE SUBPRESSÃO: ANÁLISE DE METODOLOGIA BASEADA EM ESTUDO DE CASO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Coordenação do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal da Paraíba como requisito complementar para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, sob orientação do professor Dr. Fábio Lopes Soares.

João Pessoa
2022

Catalogação na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

V331e Vasconcelos, Luarah Almeida de.
Execução de laje subpressão: análise de metodologia baseada em estudo de caso / Luarah Almeida de Vasconcelos. - João Pessoa, 2022.
59 f. : il.

Orientação: Fábio Lopes Soares.
TCC (Graduação) - UFPB/CT.

1. Laje de subpressão. 2. Estanqueidade. 3. Estrutura. 4. Fundação. I. Soares, Fábio Lopes. II. Título.

UFPB/CT CDU 624(043.2)

Elaborado por ROSANGELA GONCALVES PALMEIRA - CRB-216

FOLHA DE APROVAÇÃO

LUARAH ALMEIDA DE VASCONCELOS

EXECUÇÃO DE LAJE SUBPRESSÃO:
ANÁLISE DE METODOLOGIA BASEADA EM ESTUDO DE CASO

Trabalho de Conclusão de Curso em 06/12/2022 perante a seguinte Comissão Julgadora:

Fábio Lopes Soares — APROVADO
Fábio Lopes Soares
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

Claudino Lins Nóbrega — APROVADA
Claudino Lins Nóbrega Júnior
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADO
Givanildo Alves de Azeredo
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

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

Digitalizado com CamScanner

Dedico este trabalho àqueles que estiveram comigo nessa caminhada direta e indiretamente. Em especial, a minha mãe Joana, minha irmã Luana e meu pai Aureliano. É sempre por vocês e pra vocês.

AGRADECIMENTOS

Esse trabalho é fruto de muita perseverança, determinação e força, qualidades que herdei da minha família e levo com muito orgulho dentro de mim. Meu pai, Aureliano, que desde cedo me ensinou o valor da responsabilidade, esteve sempre ao meu lado. Sinto seu “xêro” até hoje. Minha mãe, Joana, que me ensina a lutar desde cedo e nunca desistir, segurou minha mão nos meus momentos mais desafiadores para que eu pudesse ficar em paz. Minha irmã, Luana, que me ensina a ser quem eu sou, foi a maior incentivadora ao longo dessa caminhada. Minha tia madrinha que me inspira força, meu tio padrinho que me inspira desejo pelo conhecimento e minha prima-irmã Sarah, que me inspira determinação.

Agradeço a Ruy, que foi meu companheiro durante todo esse tempo sempre me apoiando; aos meus amigos que contribuíram com esse feito, em especial Anne, Leonardo, Mariana e Naíra, que foram meu ponto de apoio na faculdade; e a Amadeu, por ter sido meu mentor durante o estudo de caso e por ter acreditado no meu potencial.

Por último, agradeço a Fábio, por ter me orientado nesse processo e junto aos professores Givanildo, Andrea, Nilton e Claudino terem despertado em mim a vontade de aprender, de fato, e praticar a engenharia.

RESUMO

Motivada pelo impulsionamento de obras civis na orla da cidade de João Pessoa e pela restrição de altura para construções na região, a busca por estruturas enterradas, como subsolos e reservatórios inferiores, aumentou significativamente nas áreas das praias. Por atingirem o lençol freático, tais estruturas requerem técnicas e tecnologias específicas para resistir a esforços do maciço e ter propriedade de estanqueidade da água, sendo uma das soluções a laje de subpressão. Devido a essa complexidade, que exige uma execução bem feita, decidiu-se analisar literaturas a respeito desse processo – desde as estruturas anteriores a essa etapa, como escavação, contenção e fundação, até a operação de concretagem – com o objetivo de construir uma boa base teórica. Para complementá-la, o presente trabalho também consiste num estudo de caso de uma laje de subpressão em um bairro litorâneo da cidade de João Pessoa, elencando as principais tomadas de decisão que resultaram no seu sucesso e os pontos críticos observados. Com os conhecimentos teórico e prático, foi possível elaborar um roteiro executivo para garantir a estanqueidade de estruturas e evitar o surgimento de imprevistos durante a execução por falta de planejamento bem como custos de restauração ou manutenção em casos em que o processo não foi devidamente realizado.

Palavras-chave: Laje de subpressão, estanqueidade, estrutura, fundação.

ABSTRACT

Motivated by the growth of civil constructions in João Pessoas's waterfront and the restraint of height in the region, the Search by biered structures, like underground and lower reservoir, increased significantly in beach regions. For hitting the groudwater, these structures require especifics techiques and Technologies to resist the water and soil effort, making the subpressure slab one of the solutions. For bieng a complex structure and require a well done execution, it was decided to analyze the literature about this process, from the previous steps, like excavation and containment, to de concreting process with the objective of build a theoretical base. For complemente this, the present paper consists in a study of case of a subpression slab localizated in a coastal district of the city of João Pessoa, listing the main decisions making that resulted in success and the critical points observed. With the theorical and practice bases, it was possible to elaborate a executive script to ensure tightness of the structures and avoid emergence of unforeseen events during the execution due lacks in the planning and restoration and maintenance costs in cases that the process wasn't done properly.

Palavras-chave: Subpression Slab, tightness, structure, foudation.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 10

1.1 OBJETIVOS 11

1.1.1 Objetivo geral 11

1.1.2 Objetivos específicos 11

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 12

2.1 SISTEMAS DE CONTENÇÃO 12

2.2 ESCAVAÇÃO 15

2.3 FUNDAÇÃO 16

2.4 REBAIXAMENTO DE LENÇOL FREÁTICO 17

2.4.1 Ponteiras filtrantes 19

2.4.2 Poços profundos 19

2.4.3 Eletrosmose 20

2.5 LAJE DE SUBPRESSÃO 21

2.6 CONSTRUÇÕES RECONHECIDAS NO BRASIL 27

2.6.1 Museu da Imagem e do Som 27

2.6.2 Setor Noroeste de Brasília 29

2.7 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM CONSTRUÇÕES VIZINHAS 30

2.8 VISTORIAS 33

3 METODOLOGIA 34

4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO 35

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO PROJETO 36

4.2 CARACTERIZAÇÃO DA ESTRUTURA 36

5 ANÁLISE DA METODOLOGIA EXECUTIVA 41

6 CONCLUSÃO 55

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 56

APÊNDICE A – FLUXOGRAMA EXECUTIVO 59

1 INTRODUÇÃO

Desde a gradativa transformação do modo de viver nômade para o sedentário e a consequente disciplina do espaço, o homem cria tecnologias para atender às suas necessidades relacionadas à moradia, as quais, inicialmente, resumiam-se à garantia de proteção contra animais, chuvas, vento. Com o passar do tempo, novas finalidades surgiram: defender a propriedade, vencer alturas, atingir esbeltez, construir estruturas mais resistentes e duráveis. Com isso, novos formatos de construções foram surgindo, tornando a cidade em um núcleo de transformações, até ocorrer uma evolução na construção de edifícios a partir do uso de concreto armado em 1867 (BRANCO, 2020). A verticalização se tornou um cenário comum nas grandes regiões. Na cidade de João Pessoa, observa-se o mesmo, porém, por ser uma capital litorânea, apresenta um código de obras rigoroso na linha costeira com normas limitadoras de altura, mantendo qualidade de vida da população local. Com essas restrições e com a recente busca por empreendimentos à beira mar devido ao seu alto valor agregado, o uso de subsolos passou a ser mais procurado, podendo-se usufruir mais de um terreno, aumentando sua área construída sem ir contra às diretrizes. Entretanto, executá-los de maneira eficiente requer técnicas e tecnologias adequadas, principalmente no que diz respeito à presença do lençol freático e à necessidade de se resistir à pressão hidrostática.

Para suportar essa pressão, há diversas soluções que podem ser usadas, como o rebaixamento permanente do lençol freático e as estruturas de concreto armado. No presente trabalho, decidiu-se explorar a laje de subpressão, que é uma das alternativas resistentes ao fenômeno e tem sido bastante usada no Brasil. Para isso, fez-se uma revisão bibliográfica acerca do assunto e de temas relacionados, tendo-se em vista a complexidade da execução desse tipo de laje e os fatores que podem influenciá-la. Para complementar essa revisão, foi feito um estudo de caso em uma obra localizada na orla de João Pessoa, onde a especulação imobiliária tem impulsionado obras civis na região costeira. Nessa obra, analisou-se a metodologia utilizada na execução e elaborou-se uma sequência de procedimentos que podem ser seguidos conforme recomendações e resultados analisados.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem como principal objetivo analisar a metodologia utilizada na execução de uma laje de subpressão na cidade de João Pessoa, compartilhando pontos críticos e oportunidades de melhoria.

1.1.2 Objetivos específicos

- Realizar revisão bibliográfica acerca do tema laje de subpressão e assuntos relacionados, explorando métodos construtivos e materiais;
- Analisar metodologia utilizada na execução da laje de subpressão de uma obra na cidade de João Pessoa;
- Elaborar uma sequência de tomadas de decisões e de procedimentos executivos, baseados na revisão bibliográfica e estudo de caso, que pode ser seguida durante uma construção de laje de subpressão.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundamentação teórica do presente trabalho abrange todas as áreas relacionadas à laje de subpressão. Serão abordados assuntos como sistemas de contenção, escavações, rebaixamento de lençol freático, impermeabilização de estruturas, materiais e necessidade de vistorias. Para isso, dividiu-se em subcapítulos de forma a explorar mais detalhadamente cada tema.

2.1 SISTEMAS DE CONTENÇÃO

Com a crescente necessidade de um maior aproveitamento da área construída dos terrenos e construções mais complexas, obras com desníveis - como barragens, estradas, subsolos e estabilização de encostas - têm aumentado, fazendo-se necessárias operações de aterro e corte associadas a obras de contenção (ANDRADE, 2018). Essas obras têm como principal função suportar o empuxo da terra, oriundo da modificação do solo e da consequente geração de esforços verticais e horizontais, oferecendo seguridade ao talude, uma vez que essas forças, antes não existentes, podem causar deformações e escorregamentos (CASTRO; RIBEIRO; FILHO, 2021). Diz-se forças antes não existentes pelo fato de que as tensões iniciais em um corpo de solo são apenas influenciadas pelo peso do solo, condições de pressão causada pela água e pela história de formação do solo (SERAFIM, 2018). Os esforços adicionais são causados por aquelas operações de corte ou aterro.

Esse tipo de obra existe nas mais primitivas construções da Mesopotâmia, onde eram usados materiais naturais, como varas, bambus, palhas para reforçar moradias de argila. No ano de 1776, foram publicados estudos sobre muro de arrimo (NEIVA *et al.*, 2014). Já nas décadas de 60 e 70, Henry Vidal patenteou uma técnica com reforços metálicos denominada terra armada ao mesmo tempo em que se desenvolvia estruturas de contenção com geotêxteis (ANDRADE, 2018) e a partir de então os estudos sobre esse tipo de estrutura alavancaram.

Para a escolha de um sistema de contenção, deve-se levar em consideração fatores econômicos, físicos e geotécnicos. Ao se analisar o fator econômico, observa-se a necessidade de mão de obra especializada, tempo de execução e custo final. Também se deve lembrar da importância de um sistema de drenagem eficiente associado, reduzindo as pressões da água na estrutura, uma vez que esta aumenta o empuxo atuante, podendo duplicá-lo (NEIVA *et al.*, 2014). Há ferramentas computacionais que já fazem a estimativa desse custo, funcionando

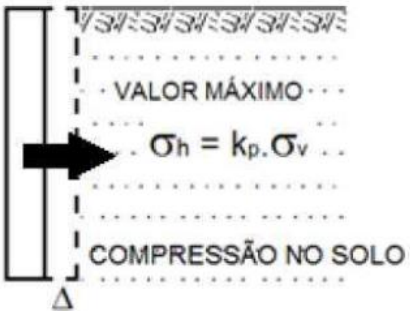
como um estudo de viabilidade. Já quanto ao fator físico, considera-se a altura da estrutura em questão e o espaço disponível para construção por meio de levantamentos planialtimétricos (GASPAR; SANTOS, 2011). Por fim, o fator geotécnico avalia a natureza geológica do terreno, a presença ou não de lençol freático e sua profundidade, a capacidade de suporte do solo da base.

O empuxo de terra, definido como a ação produzida pelo maciço terroso sobre obras em contato com ele, tem valor determinante, podendo ser ativo, como em muros de arrimo, e passivo, como no encontro de pontes. O empuxo ativo (Figura 1) ocorre quando o muro sofre movimentos laterais no sentido de se afastar do retroaterro e o passivo (figura 2), no sentido de encontrá-lo. Seu valor depende do desnível, das características do solo, da posição do nível da água e provoca deslocamentos horizontais.

Figura 1 - Empuxo ativo

Fonte: NEIVA *et al.*, 2014

Figura 2 - Empuxo passivo



Fonte: NEIVA *et al.*, 2014

Deve-se também realizar estudos preliminares com o objetivo de conhecer a topografia geral, o mapeamento de estruturas vizinhas e seus danos, os levantamentos fotográficos e o reconhecimento do nível do lençol freático, pois o desempenho final da contenção depende do sistema adotado, das características do terreno e das condições do aquífero (FARIAS, 2016).

Geralmente, classificam-se as obras de contenção em dois grupos: de contenção convencionais e em solo reforçado. Porém, há pesquisadores que diferem as estruturas rígidas,

ou inextensíveis, das flexíveis, que se deformam e absorvem esforço sem perder estabilidade; escoradas das não escoradas; contidas ou em talude. As principais estruturas estão descritas a seguir.

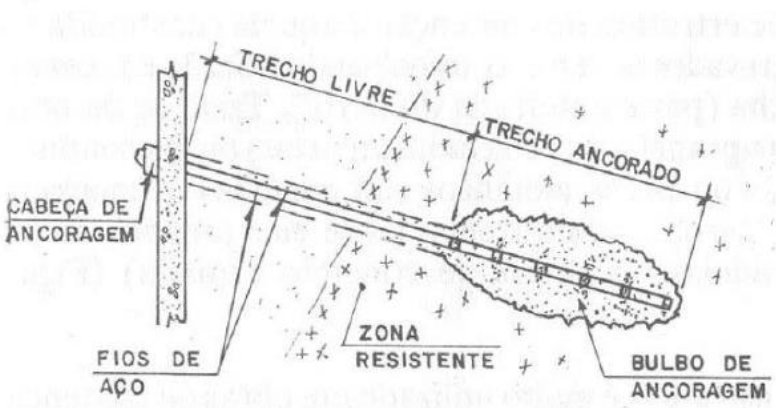
A mais conhecida, denominada muro de arrimo, é uma estrutura bastante utilizada em área urbana com o objetivo de manter diferença de nível na superfície do terreno sem recorrer a taludes devido à área considerável que esses requerem. Dentre os muros de arrimo, encontram-se muros de gabião, muros de gravidade e concretos ciclópicos.

Há também muros de flexão em concreto armado, que suportam o empuxo de flexão presente na estrutura por meio do peso próprio, sendo indicado para alturas de até 5m, pois se torna inviável economicamente para maiores alturas. Já o solo grampeado é usado em reforço do solo in situ em taludes naturais ou resultantes de escavações (LEITE, 2019).

Outro tipo de contenção é a cortina de estacas, que podem ser moldadas in loco ou pré-moldadas. As estacas de concreto armado moldadas in loco têm sido uma solução simples e econômica. Nela quando o concreto atinge resistência suficiente, o solo pode ser escavado e a face aparente pode receber um acabamento em concreto. A sequência executiva deve ser a alternância de concretagem em estacas (CARDOSO, 2002). As cortinas de contenção são um tipo de contenção periférica fácil e rápida (SERAFIM, 2018). As estacas justapostas são contenções flexíveis, podendo ser classificadas em pré-moldadas e moldadas in loco. Essas podem ser de hélice contínua, tubos moldados Frank e lamas bentoníticas. As estacas de hélice contínua têm execução simples: o solo é retirado por um equipamento que rotaciona em torno do seu próprio eixo e que também realiza a concretagem. Pelo fato de usar o solo como fôrma, há falta de precisão de diâmetro e também há limitação de profundidade de 22 metros

As estacas devem ser unidas por vigas de coroamento no topo que servem para distribuir os esforços exercidos pelo maciço em todas as estacas. Em grandes profundidades, pode-se encontrar vigas intermediárias com o mesmo objetivo. Além desse travamento por vigas de coroamento, pode-se projetar ancoragens, que são elementos para dar maior estabilidade, funcionando como tirantes injetáveis, peças moldadas resistentes à tração. Esses tirantes são cravados (figura 3) no terreno através de uma injeção de calda de cimento, formando bulbos de ancoragem (figura 4) (SERAFIM, 2018).

Figura 3 - Cravação de tirantes



Fonte: SERAFIM, 2018

Figura 4 - Tirantes injetados em contenção

Fonte: Engenharia Civil para estudantes

Ainda inserida na cortina de estacas, encontram-se as paredes diafragma e atirantadas. As diafragma são painéis de concreto armado preenchidos com lama bentonítica, podendo vencer profundidades de até 100m e as atirantadas são utilizadas em cortes de solos com baixa resistência e áreas com risco de deslizamento, sendo mais caras e demoradas (SERAFIM, 2018).

2.2 ESCAVAÇÃO

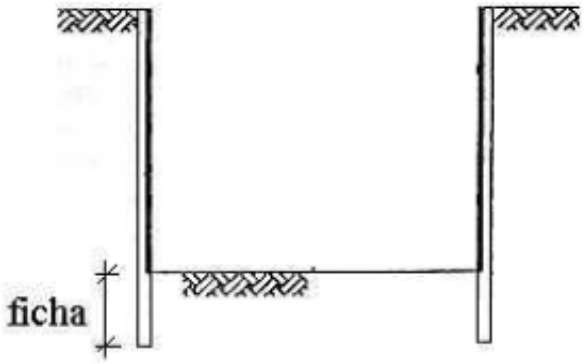
A escavação é o processo de retirada de solo de um terreno com o objetivo de atingir uma profundidade necessária para execução de determinada construção. Caracteriza-se pela

quantidade de solo a ser removido, localização da escavação, tipo de solo a ser escavado e o seu destino.

Durante a escavação, alguns cuidados devem ser tomados, uma vez que o solo é um material heterogêneo e suas propriedades podem mudar conforme as atividades externas. O solo argiloso, por exemplo, pode perder suas propriedades coesivas quando saturado de água da chuva, ficando suscetível a desmoronamentos (CARDOSO, 2002). Em solos moles, a resistência não drenada e o módulo de deformabilidade são baixos, tendo grandes deslocamentos (PEREIRA, 2008). Para evitar desastres como esses, há a necessidade de escoramento para escavações profundas, estabilizando o paramento, podendo ser feito por meio de longarinas, estroncas, tirantes, bermas e paredes constituídos de materiais como concreto, aço ou madeira.

Além disso, a profundidade mínima necessária à contenção, denominada ficha e ilustrada na Figura 5 deve ser garantida, não devendo ser escavada, pois é o comprimento do escoramento necessário abaixo do nível da escavação (NEIVA et al., 2014). Essa parte enterrada supre o déficit de pressões de terras que o maciço subjacente à escavação não pode oferecer, sendo o mais adequado que o início da contenção seja prolongada até um estrato firme (PEREIRA, 2008).

Figura 5 - Ficha de contenção



Fonte: NEIVA *et al.*, 2014

2.3 FUNDAÇÃO

Fundações são estruturas responsáveis por transmitir solicitações das construções ao solo, sendo formadas por dois elementos: elemento estrutural de fundação (sapata, tubulão, estaca) e elemento geotécnico (maciço do solo) (ALVES, 2015). Suas especificações técnicas

e executivas são normatizadas pela NBR 6122, classificando tais peças estruturais em fundações superficiais (ou diretas) e profundas (ou indiretas).

Nas fundações superficiais, a carga é transmitida ao terreno pelas tensões sob a base da fundação, como blocos, sapatas, grelhas, radier. Já em fundações profundas, a carga é transmitida ao terreno pela base (resistência de ponta) ou por superfície lateral (resistência de fuste) ou pela combinação das duas, como estacas, tubulões, caixões.

A escolha do tipo de fundação é feita a partir da análise de viabilidades técnica e econômica, da segurança e da vida útil da estrutura. Dados da estrutura, topografia da área, características do solo, informações sobre construções vizinhas: todos esses fatores são levados em consideração na escolha. Em regiões litorâneas, por exemplo, fundações superficiais são predominantes, cenário explicado pelo porte reduzido e permitido de edificações, sendo viáveis para suportar essa carga relativamente inferior e pelo tipo de solo do terreno (ANDRADE, 2018).

Além disso, associações podem ser feitas. Estacas de compactação e sapatas caracterizam uma fundação mista, na qual as estacas não recebem as cargas direto das sapatas, mas sim uma carga distribuída que é também aplicada no solo. Sua aplicação abrange geralmente terrenos arenosos, tornando-se inviáveis em solos argilosos, solos com camadas compressíveis espessas ou próximas à superfície (ANDRADE, 2018). Essa associação de estacas de melhoramento com fundações superficiais ocasionam uma economia maior em relação ao uso de fundações profundas, uma vez que há aumento significativo da tensão admissional do solo e redução da compressibilidade.

Apesar dessas vantagens, as estacas de compactação provocam ruídos e vibrações durante sua execução. Como alternativa para minimizar esses problemas, tem sido amplamente usada a associação de sapatas apoiadas em estacas do tipo hélice contínua, as quais também resultam em maior velocidade de execução e promovem um melhoramento do solo devido ao aumento da capacidade de carga (SOARES; JÚNIOR; NACIMENTO, 2016).

2.4 REBAIXAMENTO DE LENÇOL FREÁTICO

Em construções em que são necessárias escavações e onde o nível do lençol freático é atingido, faz-se necessário o seu rebaixamento de forma a viabilizar o andamento da obra e a

execução de etapas, como fundações. Esse processo garante maior estabilidade de taludes, impedindo escorregamento de solo e mantendo densidade da escavação, além de diminuir carga lateral em estruturas de escoramento, se existentes.

Deve-se ter conhecimento dos efeitos do rebaixamento do lençol freático: a diminuição na pressão neutra provoca aumento da pressão efetiva devido à transformação do solo submerso em solo seco, podendo provocar recalques sem aumentos de carga na fundação (ARAÚJO *et al.*, 2020), rachaduras no solo e nas construções vizinhas. Além disso, pode causar subsidência do solo e intrusão salina (salinização da água doce do reservatório costeiro gerada pelo avanço subterrâneo da água do mar em direção ao continente), redução de umidade nos terrenos vizinhos e aparecimento de crateras nas ruas (SOUZA *et al.*, 2010). Se contínuo, pode provocar outros efeitos, como diminuição da reserva hídrica quando não reposto (MORAES, 2018) e agravamento de recalques. No município de Goiânia, o rebaixamento permanente é proibido pelo código de obras e o provisório só é permitido sob licença ambiental (AQUINO; RESENDE, 2020).

Ao ser rebaixada, a água é direcionada principalmente para ruas, galerias pluviais e redes de esgoto, não sendo reaproveitada por falta de planejamento. Considerando o aumento do preço por recursos naturais, essa água poderia ser utilizada nas construções, desde que submetida a análises quantitativa e qualitativa por meio de testes físico-químicos e exames microbiológicos (SERAFIM, 2018). Na cidade do Rio de Janeiro, a Lei nº 7/2017 estabelece o reaproveitamento da água de rebaixamento como requisito para aprovação de edificações, sendo esse direcionado para atividades que não precisem de água tratada, como limpeza de áreas externas e regas. A composição das águas subterrâneas é desigual em virtude do tempo de residência na rocha hospedeira, da sua formação e do enriquecimento mineral das águas vindas do ciclo hidrológico. Já sua contaminação é decorrente do descarte de carga contaminada gerada pelo homem (urbana, industrial, agrícola, mineradora), ausência de saneamento básico, presença de lixões e infiltração de compostos. Para regulamentar os parâmetros relacionados à utilização dessas águas, criou-se a Resolução nº 396 do CONAMA (MORAES, 2018).

Além do maior aproveitamento desse recurso natural, o reaproveitamento da água oriunda do rebaixamento também evita a contaminação das canalizações das águas pluviais e demais destinos finais. Como exemplo, tem -se o ocorrido em Alagoas, onde surgiu uma mancha no mar causada pela disposição de água do rebaixamento concentrada (SOUZA *et al.*, 2010). Conforme a literatura analisada, o principal motivo pelo não aproveitamento é o

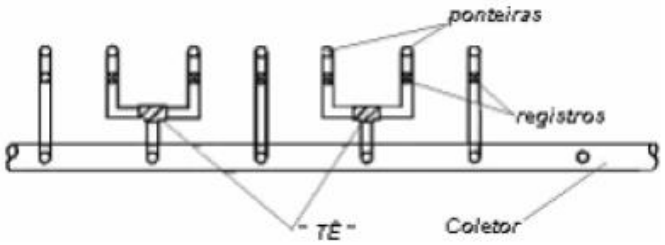
armazenamento, pois o rebaixamento gera um grande volume de água, sendo necessário um espaço destinado a reservá-la.

Quanto à classificação do rebaixamento, há, basicamente, três tipos, que são tratados a seguir. A magnitude, o custo e a definição do sistema dependem da permeabilidade do solo, da profundidade da escavação, da posição natural do lençol freático e do tempo necessário para manter a condição de rebaixamento (SOUZA *et al.*, 2010).

2.4.1 Ponteiras filtrantes

Também conhecido como Well Point, esse método consiste na implantação de tubos coletores perfurados no solo unidos por um cano coletor comum. Cada ponteira permite retirada de uma vazão dentre 1m³ a 2m³ por hora (MORAES, 2018), sendo um sistema usado quando o lençol freático é mais superficial (SOUZA *et al.*, 2010).

Figura 6 - Ponteiras filtrantes

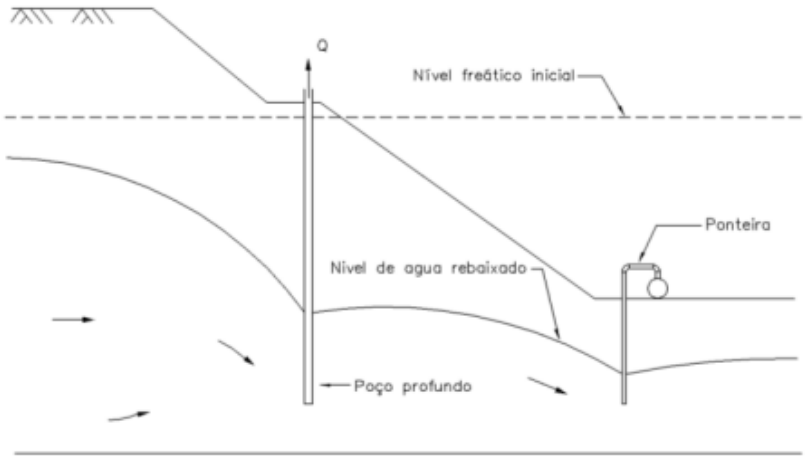


Fonte: MORAES, 2018

2.4.2 Poços profundos

Esse tipo de rebaixamento é usado para profundidades maiores que 5m e é formado por perfurações equidistantes com diâmetros de 30 a 60cm (MORAES, 2018).

Figura 7 - Poços profundos

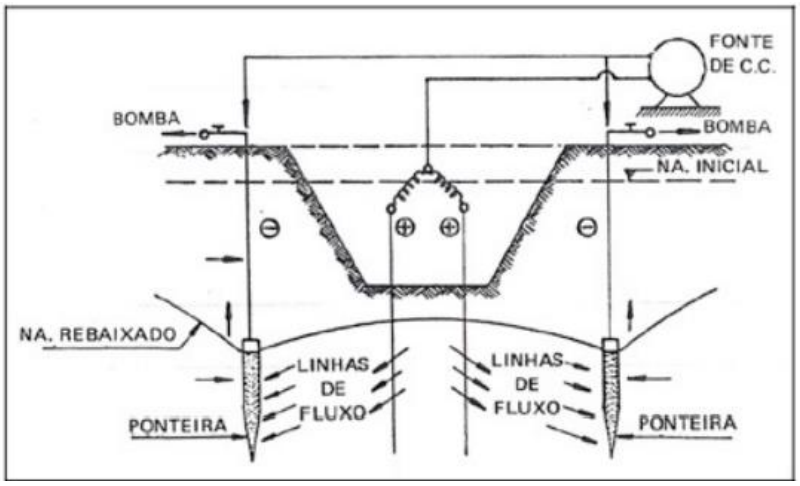


Fonte: MORAES, 2018

2.4.3 Eletrosmose

Muito indicado para solos siltosos e argilosos com granulometria muito fina, a eletrosmose utiliza corrente elétrica contínua, acelerando movimento da água nos vazios do solo através de polos positivos e negativos (cátodos e ânodos). A água, então, caminha na direção de ponteiras filtrantes e é removida por um conjunto de bombas centrífuga e de vácuo (MORAES, 2018).

Figura 8 - Rebaixamento por eletrosmose

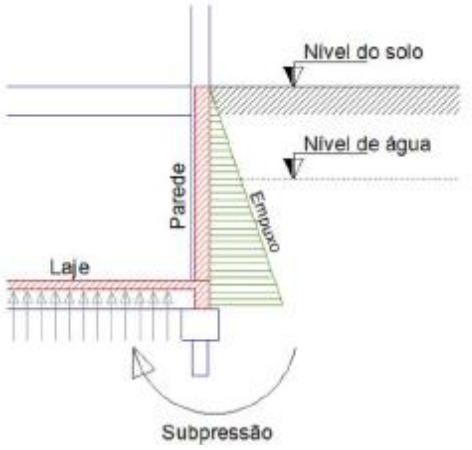


Fonte: MORAES, 2018

2.5 LAJE DE SUBPRESSÃO

Em razão da busca por novos empreendimentos, padrões e máximo aproveitamento dos terrenos, a utilização de áreas enterradas, como subsolos, tem sido bastante comum. Elas exigem elementos capazes de resistir a esforços, como do maciço do solo e do aquífero, requerendo tecnologias e procedimentos específicos, além de um bom planejamento. Uma das soluções mais utilizadas recentemente devido ao seu menor custo quando comparado ao rebaixamento definitivo do lençol freático e ao menor impacto ambiental é a laje de subpressão, também conhecida como laje estanque, que é o plano mais inferior de uma construção abaixo do nível do lençol freático. Seu uso tem sido associado a paredes de concreto armado, resistindo ao empuxo da água (Figura 9).

Figura 9 - Esforços hidrostáticos



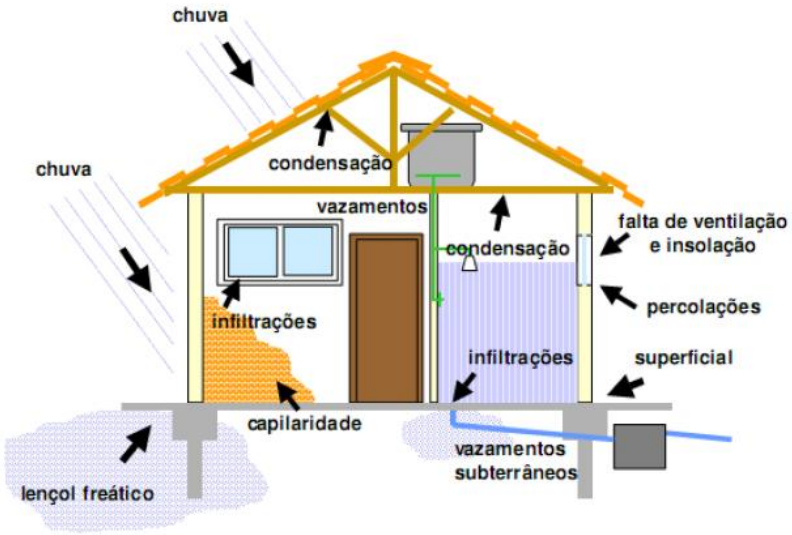
Fonte: MARTIN, 2021

Tem em sua composição o concreto, que, por si só, já tem uma baixa permeabilidade, formando uma barreira para a água e sendo usado em piscinas, barragens e reservatórios. O concreto é o sistema mais usado no Brasil, tendo fácil acesso da matéria prima, como aço, brita, areia e cimento. Seu uso aumentou 200% de 1995 a 2020 (MARTIN, 2021). Os problemas referentes a esse material em estruturas hidráulicas são em geral mais decorrentes das técnicas usadas e dos procedimentos construtivos do que o próprio material (BRITEZ et al., 2013). Logo, deve-se evitar adensamento inadequado, evitando bicheiras, juntas frias e aparecimento de fissuras, que facilitam a infiltração da água (ABREU; RIBEIRO, 2019), pois permitem que deixem vazios. Segundo Mehta (1993), o concreto tem 2 tipos de poros: os que podem ser acessados ou abertos em comunicação com o exterior e os inacessíveis ou fechados, que são isolados do exterior. Os poros podem ser classificados em grandes (dimensão maior que

$5x10^4$Å), capilares (dimensão maior que 500Å), mesoporos (dimensão entre 26 e 500Å) e microporos (menor que 26Å). Quanto menores esses poros, menor a probabilidade de estarem interconectados, fazendo com que a permeabilidade seja mais influenciada pelos maiores. Para evitá-los, o adensamento é uma das formas mais eficazes, permitindo a saída de ar e facilitando o arranjo dos agregados. Considera-se uma boa porosidade aquela até 15%, satisfatória até 18% e de medíocre a ruim até 22%.

Esse tipo de estrutura hidrostática deve garantir a estanqueidade, que é definida como a capacidade de uma estrutura em não permitir a infiltração da água, devendo ter material resistente, íntegro e durável. O lençol freático condiciona estruturas enterradas à pressão hidrostática causada pela água do solo saturado, fazendo-se necessária a garantia de resistência a esses esforços. Logo, esse processo está diretamente relacionado com o sistema de impermeabilização e com a durabilidade da estrutura, sendo a água um dos maiores causadores de patologias em edificações. Na figura 10, é representada sua atuação.

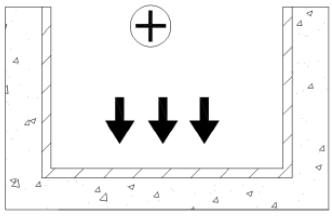
Figura 10 - Ação da água em edificações



Fonte: SOARES, 2014

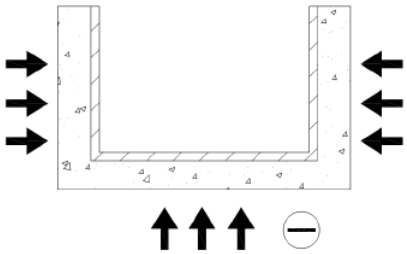
A pressão da água pode ser bilateral (positiva e negativa) ou unilateral (positiva ou negativa). A pressão positiva é aquela em que a água, confinada ou não, exerce pressão hidrostática de forma direta à impermeabilização (figura 11). Já a pressão negativa é caracterizada pelo comportamento inverso como mostrado na figura 12 (SOARES, 2014).

Figura 11 - Pressão positiva



Fonte: SOARES, 2014

Figura 12 - Pressão negativa



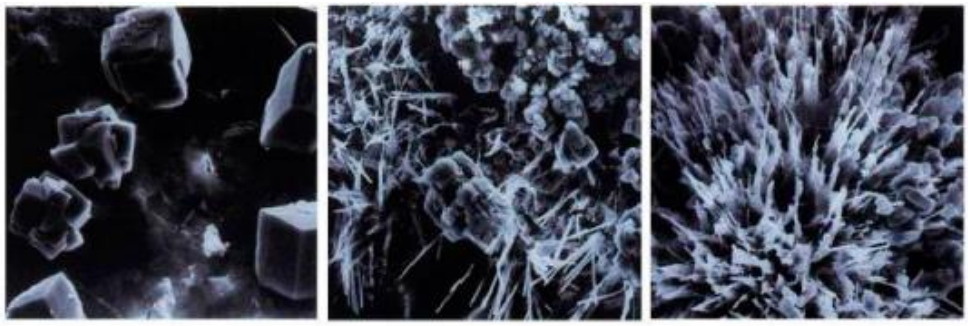
Fonte: SOARES, 2014

O sistema de impermeabilização, que impede a percolação dessa água, é composto por quatro partes: base e camada de regularização, camada impermeável, proteção mecânica e detalhes construtivos. A camada de regularização deve regularizar o substrato, proporcionando uma superfície uniforme de apoio adequado (SOARES, 2014). Há dois tipos de impermeabilização: flexível e rígida. Na rígida, que é objeto de estudo da presente pesquisa, pode-se acrescentar ao concreto maior capacidade de impermeabilização, seja por meio da diminuição do fator água/cimento ou pelo uso de produtos hidrofugantes ou impermeabilizantes (MARTIN, 2021). Argamassas impermeabilizantes com aditivo hidrófugo garantem pega normal e reagem com o cimento durante a hidratação. Esses aditivos têm em sua composição sais metálicos e silicatos e podem ser adicionadas em concreto ou usadas para preparar argamassas evitando eflorescências.

Além dessas, há outros materiais como cristalizantes, que são argamassas cimentícias com compostos químicos ativos que promovem cristalização do concreto e sua impermeabilização, obtendo maior densidade na microestrutura do concreto. Nesse processo, é formado um gel, que se cristaliza, incorporando compostos de cálcio estáveis e insolúveis ao concreto, avançando pelos poros por capilaridade, na qual quanto menor o poro, maior a infiltração, devendo estar conectados entre si, e selando-os. Na figura 13, , é possível observar a expansão do material por meio da reação, o bloqueio de vazios e a proteção em nível

microscópico, tendo-se, na primeira imagem, o concreto não tratado; na segunda, a cristalização iniciada, e na terceira com ela finalizada. É possível observar a expansão do material por meio da reação, o bloqueio de vazios e a proteção em nível microscópico.

Figura 13 - Processo de cristalização

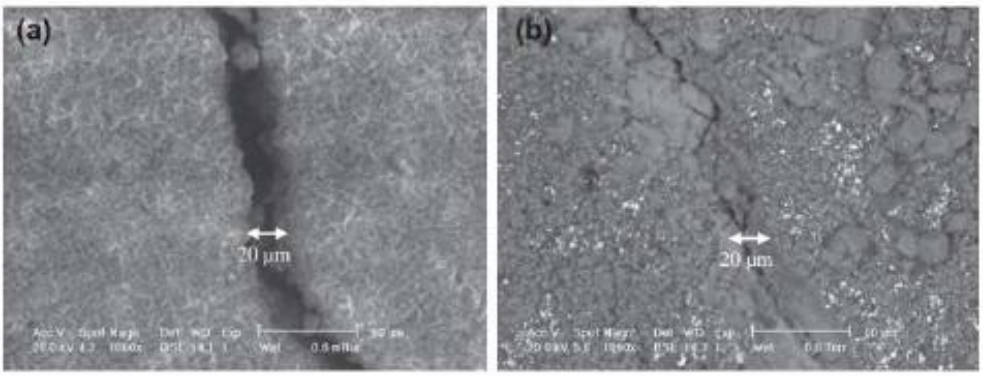


Fonte: ANDREATTA, 2020, apud Takagi, Júnior e Oliveira

Já os impermeabilizantes de pega ultra-rápida são usados para tamponar jorros de água e infiltrações decorrentes de água sob pressão, oferecendo pega entre 10 a 30 segundos. Argamassas poliméricas, argamassas de cimento modificadas com polímeros à base de cimento e agregados minerais inertes: todos esses compostos são exemplos de materiais usados na impermeabilização rígida (SOARES, 2014). A maioria desses impermeabilizantes, além de protegerem a estrutura da infiltração da água, impedem a penetração por meio da capilaridade de outros agentes, como cloretos e gás carbônico, que podem facilitar a corrosão de armaduras e expansão do tamanho das partículas em até oito vezes. Essa capilaridade é permitida devido aos poros deixados pela expulsão da água de amassamento não utilizada na formação dos silicatos de cálcio hidratados (C-S-H), sendo a dosagem uma característica importante do concreto (ANDREATTA, 2020).

O uso de aditivos cristalizantes potencializa a autocicatrização, fazendo com que o material se recupere de danos na estrutura sem intervenção externa, caracterizando uma cicatrização autógena estimulada e tem sido bastante comum devido à fácil aquisição, implementação e aplicação. Por precisar de água para ativar o mecanismo (representando na figura 14, onde o lado direito representa o fechamento da abertura pós contato da água), o fechamento de fissuras é maior quando abaixo do lençol freático do que acima (MARTIN, 2021), podendo o fluxo de água reduzir gradualmente ou até mesmo parar completamente (MOREIRA, 2016).

Figura 14 - Ativação de autocicatrização



Fonte: MOREIRA, 2016, apud Lieboldt

Os mecanismos para essa cicatrização podem ser autógenos ou autônomos. Os primeiros ocorrem pela cicatrização natural, isto é, por fenômenos de preenchimento e selagem de fissuras resultantes de reações químicas ou bloqueio mecânico nas interfaces do concreto, como inchamento, hidratação contínua (produtos da hidratação ocupam o dobro do espaço do grão inicial do cimento) e pressão permanente da água. Nesse último caso, a permeabilidade inicial não é mantida, caracterizando um efeito de auto-redução, pois a água arranca do próprio concreto partículas de cimento, fazendo com que essas se desloquem pela estrutura, completem a hidratação e obstruam poros, estando relacionado à hidratação contínua citada (ZAPLA; RABELO; MOTTA, 2008). Já nos autônomos, a cicatrização natural e a reparação ativada ocorrem ao mesmo tempo por meio de adições de engenharia, ou seja, aplicando aditivos químicos ou materiais cimentícios suplementares, como cinzas volantes, escórias de alto forno, fibras curtas de reforço e até matéria viva, como bactérias (MOREIRA, 2016). Esse fenômeno está representado na figura 15, onde é possível observar o aspecto da fissura em concretos com cinza volante aos 7, 14, 28 e 60 dias respectivamente da esquerda para a direita.

Figura 15 - Autocicatrização autônoma

Fonte: MOREIRA, 2016, apud JCI

A sílica ativa, adição mineral, também é bastante utilizada para adquirir estanqueidade, uma vez que promove redução da permeabilidade na zona de transição em volta dos agregados

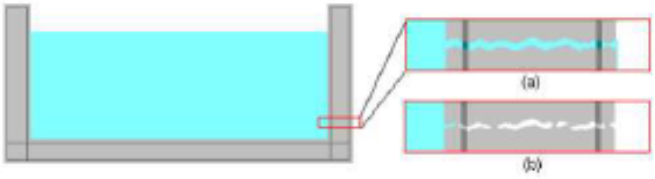
e na pasta de cimento, oferecendo empacotamento dos vazios, melhoria das características reológicas e produção das reações de hidratos. Como são partículas que ativam grãos de cimento para reagirem primeiro com a água, geram ganho de resistência nas primeiras idades, permitindo concreto mais compacto e bom desempenho a ataques externos (AQUINO; RESENDE, 2020).

Como visto, a tecnologia dos materiais para o concreto de lajes subpressão deve ser analisada. Observou-se que os aditivos têm papel importante, mas até a escolha do cimento pode influenciar no resultado. O mais adequado é o CPIII devido ao baixo calor de hidratação, tendo menor quantidade de fissuras térmicas, ao contrário do CPV-ARI, que libera muito calor (AQUINO; RESENDE, 2020) e do CPI (MOREIRA, 2016). Os agregados graúdos do concreto podem produzir superfície mais áspera na geometria da fissura, facilitando processo de autocicatrização (MOREIRA, 2016).

Além da escolha adequada dos materiais, os procedimentos executivos são de extrema importância. O processo de cura auxilia o processo de impermeabilização, uma vez que concretos curados possuem menos conectividade entre poros, fazendo com que o concreto, mesmo que poroso, não se torne permeável.

Caso a laje de subpressão não seja executada de forma adequada, a estrutura pode ter seu desempenho comprometido. Infiltrações podem surgir devido a essas falhas, como através de fissuras após a concretagem ou até durante a vida útil da estrutura (ANDREATTA, 2020). Essas aberturas aceleram a taxa de fluxo de água no concreto e têm diversos motivos: retração causada pela rápida perda de água após a pega, por carregamento, expansão térmica, fluência e retração autógena devido ao processo de hidratação (MOREIRA, 2016). Na figura 16, observa-se vazamento através de fissura e ao lado o seu fechamento após o tempo de auto cura.

Figura 16 - Vazamento por fissura



Fonte: MOREIRA, 2016, apud Heide

Uma modificação no projeto tem um custo cinco vezes maior quando é tomada na execução e pode chegar a 125 vezes no caso de manutenções corretivas (ANDREATTA, 2020). Métodos de recuperação por injeções são semidestrutivas, necessitando de quebra de

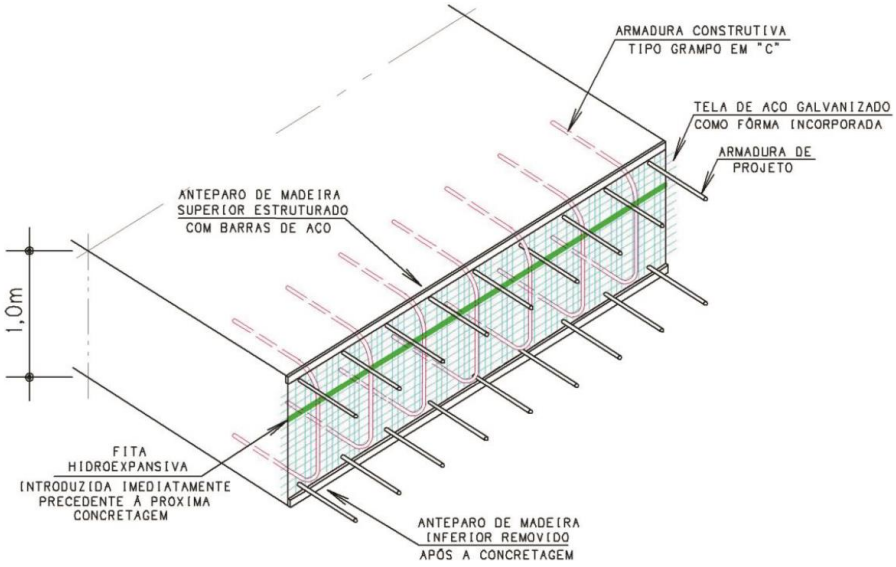
revestimentos para localização de região afetada, aumentando o custo (ZAPLA; RABELO; MOTTA, 2008). Um exemplo de falhas durante a vida útil da estrutura é a ocorrência de vazamentos no encontro da laje de subpressão com o pilar (ABREU; RIBEIRO, 2019). Uma das soluções usadas para vazamentos pós concretagem é a aplicação de materiais como espuma e gel de poliuretano e gel acrílico polimérico por meio de injeções para preencher os vazios e evitar continuidade de percolação. A espuma de poliuretano, por ser um bicomponente (base e acelerador) se expande em alguns segundos após o contato com a água após ser injetada, promovendo uma reação de expansão de 30 vezes superior e quase instantânea (ZAPLA; RABELO; MOTTA, 2008), estancando até mesmo fluxos de água sob pressão. Para selar trincas estáticas, pode-se usar o gel acrílico e para selar trincas com movimentação, pode-se usar gel de poliuretano (ABREU; RIBEIRO, 2019).

2.6 CONSTRUÇÕES RECONHECIDAS NO BRASIL

2.6.1 Museu da Imagem e do Som

A execução da laje de subpressão tem se consolidado na área de estruturas no Brasil. O Museu da Imagem e do Som (MIS) em Copacabana, no Rio de Janeiro, ícone arquitetônico de projeção mundial, foi construído à base de uma laje estanque de 1m de espessura. Essa obra, composta por 2 subsolos com cota de 10m abaixo do nível do mar e localizada a 50m da orla marítima, contou com o uso de aditivo cristalino exposto à pressão hidrostática PRAH, que é uma categoria de aditivos impermeabilizantes redutores de porosidade. Sua dosagem foi de 1% do peso do cimento e 5% de sílica ativa (TAKAGI, 2018), concreto de 50MPa e a água de amassamento foi substituída por gelos em cubos, garantindo que o concreto fosse recebido à temperatura de 20 graus para evitar retrações térmicas e evaporação rápida da água. Além dessas características, a construção contou com uma logística bem planejada, tendo informações da distância da central fornecedora, durações de retorno de caminhões, de descarregamentos e um plano de concretagem bem definido. A laje foi concretada em 10 etapas, sendo as juntas frias um dos pontos mais delicados. Nessas, foram usadas telas de aço galvanizado amarradas por grampos em “C” associadas à fita hidroexpansiva, conforme figura 17. A condicionante ideal para a concretagem da camada posterior era uma condição saturada seca e bem rugosa.

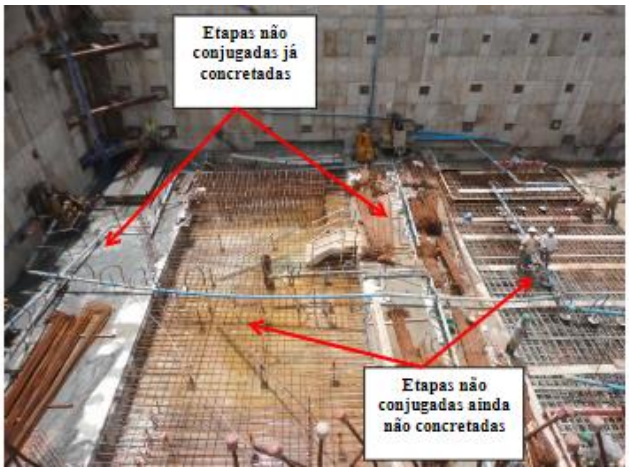
Figura 17 - Execução de junta de concretagem



Fonte: BRITEZ *et al.*, 2013

Para concretagens em várias etapas, não se recomenda concretar planos adjacentes, sendo o ideal alternar os planos para que as bordas permaneçam livres para deformações e dilatações, evitando trincas ou então respeitar um intervalo de, pelo menos, uma semana entre camadas conjugadas. Enfatiza-se ainda, que mesmo com essa condição, não se descarta a possibilidade da concretagem de duas etapas no mesmo dia, desde que não subsequentes, como na Figura 18, devendo-se compatibilizar com o cronograma da obra. Como a altura da laje era de 1m, teve-se o cuidado de concretar em subcamadas de 0,33m de altura para evitar juntas frias, totalizando uma produção de 20m²/h (BRITEZ *et al.*, 2013).

Figura 18 - Concretagem de etapas não adjacentes



Fonte: BRITEZ *et al.*, 2013

Para a cura, utilizou-se manta BIDIM encharcada de água no concreto endurecido durante sete dias de forma a atingir resistência necessária.

Todo o planejamento destinado à concretagem da laje de subpressão do MIS resultou no sucesso dos procedimentos, garantindo estanqueidade e não aparecimento de fissuras ou trincas.

2.6.2 Setor Noroeste de Brasília

Outra construção de laje de subpressão reconhecida é de um prédio do Setor Noroeste de Brasília. Esse abrange 3 subsolos, podendo o lençol freático alcançar até 2,5m acima do último nível do subsolo, totalizando uma solicitação de subpressão de 2500kg/m². Para isso, foi desenvolvida uma metodologia para garantir a estanqueidade, utilizando-se o ARPH com dosagem de 0,8% em relação à massa do cimento e fibras de polipropileno.

Quanto à execução, introduziu-se uma camada de 5cm de altura de concreto magro devido à presença de lama no térreo, para a regularização do substrato, evitando a contaminação de armaduras. A concretagem foi feita em três etapas e as juntas de concretagem foram realizadas com tela galvanizada (figura 19) na posição vertical para proporcionar rugosidade e introdução de fitas hidroexpansivas, que são compostas por materiais hidrofílicos, expandindo-se quando expostas à umidade e provocando o selamento da região.

Figura 19 - Detalhamento de junta de concretagem

Fonte: FRACON; FRACON; SILVA, 2018

Durante a concretagem, foi feito um controle de temperatura a partir de um termômetro digital de vareta, resfriando os caminhões betoneiras com a aplicação externa de água corrente quando necessário. Associado a isso, também se utilizou aspersão de água devido ao clima seco no período em questão, controlando a umidade do microclima. Por fim, a cura úmida, iniciada logo após iniciada o endurecimento do concreto, foi feita por colchões de água com altura h+5, sendo h a altura da laje durante sete dias.

Assim como o MIS, os objetivos da metodologia aplicada na execução dessa laje foram atingidos, resultando numa estrutura íntegra e sem falhas.

2.7 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM CONSTRUÇÕES VIZINHAS

O estudo de patologias no Brasil começou entre as décadas de 60 e 70 por meio de levantamentos *in loco* para enumerar falhas, iniciando o processo de padronização de processos, métodos e conceitos (TACCO, 2016).

As manifestações patológicas podem ser simples (diagnóstico e profilaxia de fácil constatação) ou complexas (exigem análise e conhecimento especializados). Os danos mais comuns são fissuras, eflorescências, flechas excessivas, manchas superficiais, corrosão de armaduras, nichos de concretagem, umidade e afundamento de pavimentos (FERREIRA, 2022). Principalmente as aberturas funcionam como avisos de um eventual estado de perigo para a estrutura (BARROS, 2016).

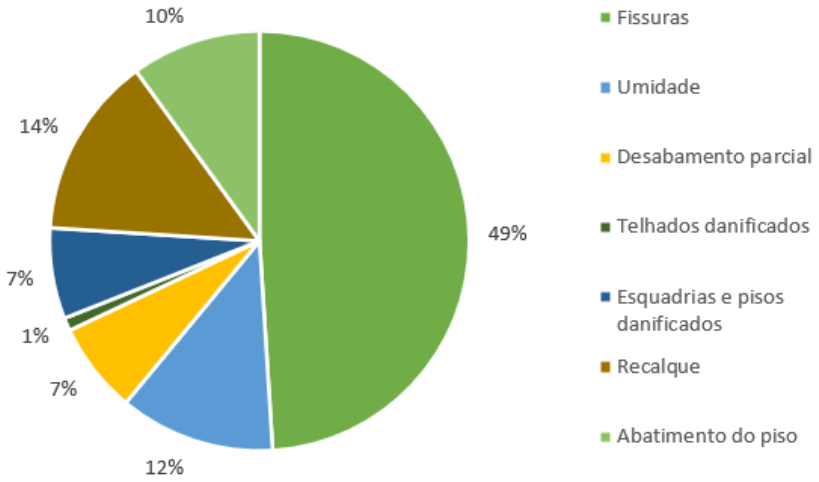
Erros ou descuidos em etapas construtivas podem se manifestar a curto, médio ou longo prazo, e, por comprometerem o desempenho da edificação, devem ser gerenciados. São exemplos de causas: falta (ou uma inadequação) de sondagem, utilização de materiais de má qualidade ou formas incorretas de sua utilização, mão de obra desqualificada, erro de cálculo estrutural, ausência de monitoramento e fiscalização, variação de umidade ou temperatura, agentes biológicos, proximidade de córrego, presença de vegetação e inclinação de terreno. As patologias são sintomas decorrentes desses erros, devendo-se estudar suas origens, manifestações, causas, consequências e mecanismos (ARAÚJO *et al.*, 2020) através da sua observância.

Os principais fatores que provocam problemas nas vizinhanças, tornando-se agente exógeno, são impactos gerados pelo canteiro de obras, escavações profundas, sobreposição de bulbos de tensão, rebaixamento de lençol freático e vibração de equipamentos.

A classificação de fissuras varia de acordo com algumas literaturas. Podem ser definidas como aberturas com espessura inferior a 0,5mm, trincas entre 0,5 e 1mm e rachaduras superiores a 1mm. Já a ABNT considera trinca toda fissura com abertura maior que 0,6mm. As principais causas dessas fissuras são recalques diferenciais, execução de escavações e rebaixamento do lençol freático. O efeito do recalque depende da interação estrutura-fundação-solo.

Num estudo feito no município de Vitória, a maioria das patologias causadas por construções vizinhas foram por fissuras, como representado no Gráfico 1.

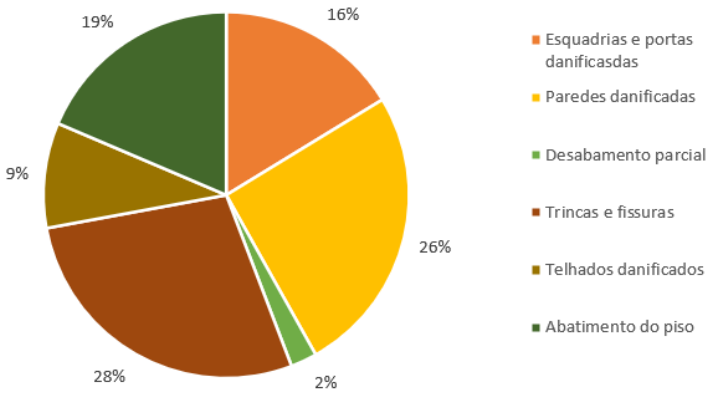
Gráfico 1 - Patologias observadas em Vitória



Fonte: FERREIRA, 2022

Já em Goiás, apenas 28% das patologias foram causadas na vizinhança eram trincas e fissuras no período analisado e a distribuição das demais patologias estão representadas no Gráfico 2.

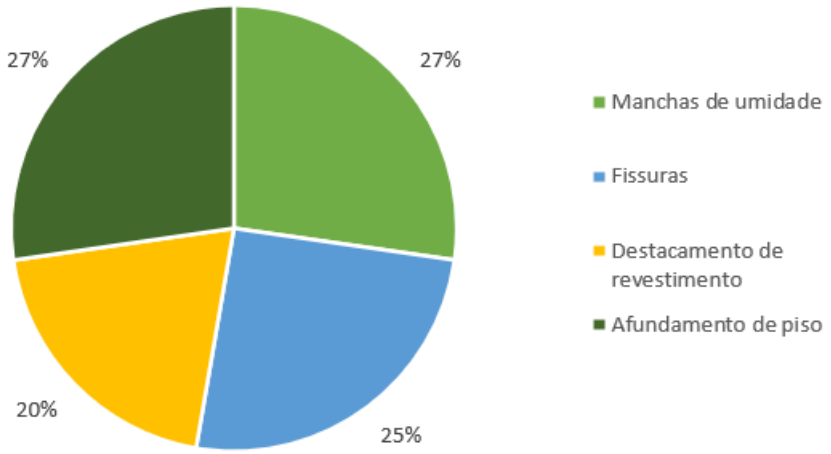
Gráfico 2 - Patologias observadas em Goiás



Fonte: FERREIRA, 2022

Em Sergipe, 17% das manifestações patológicas apresentadas em laudos foram decorrentes de execução de construções na vizinhança e as principais patologias observadas estão representadas no Gráfico 3, sendo informadas também as incidências.

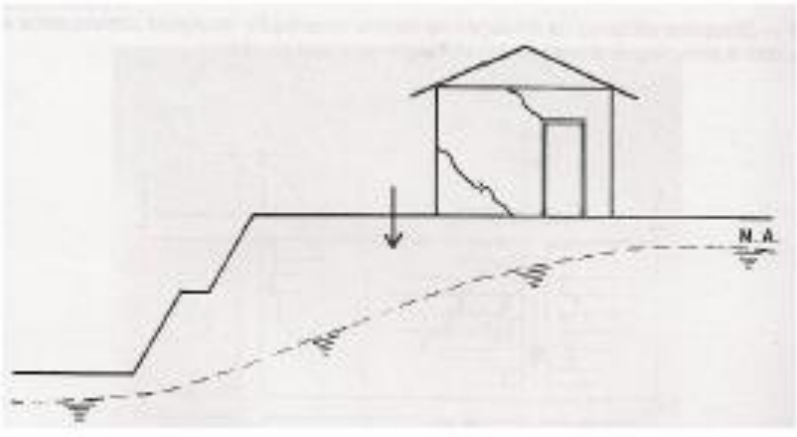
Gráfico 3 - Patologias observadas em Sergipe



Fonte: FERREIRA, 2022

O rebaixamento de lençol freático provoca fissuras, trincas, rachaduras e até fendas, afundamento de pisos e aparecimento de trincas devido à subsidência do solo causada pela compactação de camadas porosas em razão da extração de águas maior que a recarga do aquífero.

Figura 20 - Trincas causadas devido ao rebaixamento



Fonte: OLIVEIRA, 2012, apud Thomaz

O controle dos recalques superficiais no entorno da região escavada é essencial, podendo resultar a necessidade de obras de recuperação e reforço de construções vizinhas (VARELA). Os recalques dependem das propriedades do solo, das dimensões da escavação, dos procedimentos utilizados na escavação e da qualidade dos serviços executados (SANTOS,

2007). Para observar sua possibilidade, o engenheiro geotécnico deve estudar as camadas, espessuras, distribuição e seu comportamento caso o terreno esteja sujeito a rebaixamento de lençol freático (SOUZA *et al.*, 2010). Peck (1969) afirma que a variável mais determinante do valor dos movimentos é a característica do solo. Argilas de muito moles a médias tendem a se movimentar mais em relação a solos arenosos com finos devido à variação e umidade. A pequena magnitude de recalques também se apresenta em horizontes de areia densa e argila rija, porém consideráveis em argilas plásticas.

2.8 VISTORIAS

De forma a resguardar-se contra problemas ou futuros transtornos judiciais, a perícia na construção civil tem sido constantemente discutida e utilizada, pois danos causados pela execução de novas construções podem ser confundidos com os já existentes devido à própria condição do imóvel (FERREIRA, 2022). Conforme a NBR 13752, a perícia é definida como a atividade que elenca causas que motivaram determinado evento ou aponta direitos, sendo o perito um profissional habilitado para elaborá-la. Pode ser de diversos tipos: arbitramento, avaliação, exame e vistoria. Na vistoria cautelar, são analisadas as condições físicas e estruturais do imóvel, características construtivas, anomalias, defeitos, danos físicos existentes, registrados e fotografados (MORATO,2015). O mapeamento de problemas faz-se necessário, uma vez que as repercussões dos processos podem ser agravadas por fatores como idade, conservação e período em que as estruturas foram construídas, bem como técnicas construtivas usadas.

Diante das diversas perturbações que uma construção pode causar, o código civil brasileiro busca solucionar os conflitos entre os proprietários. O artigo 1277, por exemplo, assegura o direito do possuidor da edificação de paralisar interferências causadas pelo uso de propriedade vizinha que afetem sua segurança, sossego e saúde dos habitantes do imóvel. Já o artigo 1311 exige que sejam efetuadas obras acautelatórias antes da execução de construções ou serviços que possam provocar desmoronamento, deslocamento de terra ou qualquer serviço que comprometa a segurança (FERREIRA, 2022). Mesmo que tais medidas sejam efetuadas, o proprietário tem o direito de ser indenizado pelos prejuízos que sofrer.

3 METODOLOGIA

Para a elaboração do presente trabalho, contou-se com duas etapas. Primeiramente foi feita a delimitação do objeto de estudo, sendo definida como tema principal a execução de lajes subpressão. A partir disso, iniciou-se a revisão bibliográfica para descrever o fenômeno e avaliar os trabalhos já feitos tanto sobre o tema principal como sobre os assuntos diretamente relacionados, como estudo do lençol freático, contenções, fundações e estrutura. Para isso, utilizou-se o Portal de Periódicos da CAPES com acesso à Comunidade Acadêmica Federada (CAFe), o Google Acadêmico, repositórios institucionais das universidades, normas e literaturas reconhecidas no âmbito de fundações e estruturas. Na análise, não se limitou o período de publicação das pesquisas, tomando-se como base desde os primeiros estudos até os mais atuais referentes ao assunto, possibilitando a análise, inclusive, do desenvolvimento e da evolução dos resultados. Fez-se um banco de dados, então, com todas as publicações encontradas que tivessem relação com o tema. Ao finalizar essa coletânea, foi feita a leitura de toda a literatura selecionada associada a anotações dos resultados e discussões pertinentes de cada uma.

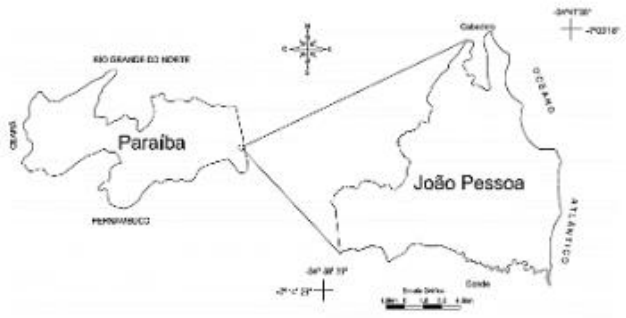
Com o objetivo de testar a teoria revisada, fez-se um estudo de caso numa obra da cidade de João Pessoa. Nesse estudo, pôde-se acompanhar toda a execução da laje subpressão, participando das tomadas de decisão, analisando os pontos críticos durante a etapa e observando o resultado da metodologia usada. Foram feitas fotografias dos procedimentos realizados e foram registradas as informações e especificações envolvidas, como de materiais utilizados.

Com isso, iniciou-se a escrita da monografia de forma a atender aos objetivos expostos e servir como base para futuros trabalhos.

4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O empreendimento do estudo de caso se localiza no bairro de Cabo Branco da cidade de João Pessoa. Essa área, localizada no leste do município e caracterizada como planície marinha, é composta por sedimentos arenosos e um depósito argiloso de baixa resistência (SOARES; JÚNIOR; NACIMENTO, 2016, SOARES; JÚNIOR, 2019). O bairro em questão faz parte da região de menores cotas da cidade, onde se encontram os terraços marinhos (BARBOSA, 2015). As linhas costeiras são cortadas por rochas resistentes à ação corrosiva com solo superficial predominantemente granular (SOARES, 2002) e compostas por aluvião, correspondente a 24% da geologia da cidade (LEITE, 2019).

Figura 21 - Localização do município de João Pessoa



Fonte: LEITE, 2019, apud Soares e Wilson

A orla marítima da cidade de João Pessoa tem uma restrição em relação a edificações situadas em uma faixa de 500 metros ao longo da orla conforme plano diretor do município. Esse controle de gabarito, inspirado em cidades europeias que visavam construções largas e baixas (MOREIRA, 2006), é feito pelo cálculo da altura total da construção. Para esse, dista-se o ponto médio da testada principal do lote ao ponto mais próximo da testada da primeira quadra contígua à orla, multiplica-se esse valor por 0,0442 e soma-se a 12,90 metros. Devido à essa restrição, a procura por subsolos na região aumentou visando aproveitar ao máximo os terrenos.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO PROJETO

O empreendimento estudado no presente trabalho tem terreno com dimensões 24mx142m, totalizando uma área de 3408m² e, devido a sua extensão considerável, possui duas juntas de dilatação, dividindo o terreno em três setores.

O prédio tem uso caracterizado para apartamentos-hotéis de alto padrão e é composto por um bloco com 424 apartamentos tipo flat mais restaurantes dispostos em um subsolo, um pavimento térreo, seis pavimentos tipo mais cobertura, totalizando uma altura de 21m. O subsolo, localizado a um nível 2,6m abaixo do nível da rua, tem 70% do espaço destinado a estacionamento, sendo a área restante destinada aos funcionários do empreendimento e a um pub. Os demais pavimentos contam com flats e espaços destinados a áreas comuns, como academias e áreas gourmet.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DA ESTRUTURA

Os sistemas estruturais do empreendimento foram baseados, principalmente, nos estudos de solo realizados. Na sondagem executada a partir do teste de penetração padrão (figura 22), foram feitos seis furos dispostos alternadamente e foram retiradas 108 amostras de solo para identificação e classificação do solo.

Figura 22 - Execução de sondagem

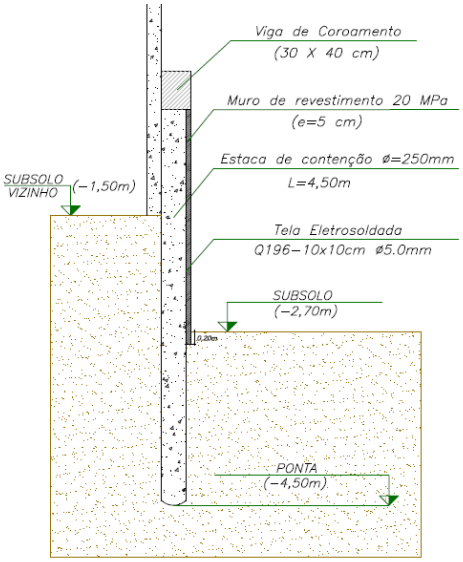
Fonte: acervo pessoal

Nessa sondagem, pôde-se observar a presença do lençol freático a um nível aproximadamente entre 2,5m e 2,6m abaixo do nível da rua. Quanto ao solo, observou-se a

presença de camadas de areia fina pouco compacta, abaixo dessa uma camada de areia grossa e então a presença de argila com uma camada intermediária de areia siltosa dura. As espessuras de cada camada variaram nos furos, mas a disposição das camadas seguiu o mesmo padrão mencionado.

Para o tipo de solo encontrado, utilizou-se, para contenção, uma cortina composta por 413 estacas de hélice contínua com profundidades de 4,5m, 295 unidades de 5m e e 298 de 6m, todas armadas e travadas com uma viga de coroamento de 30x40cm (figura 23 e Figura 24)

Figura 23 - Sistema de estacas e viga de coroamento



Fonte: acervo pessoal

Figura 24 - Estacas e viga executadas

Fonte: acervo pessoal

A escavação foi feita de forma escalonada utilizando uma escavadeira hidráulica e optou-se por escavar primeiro dois setores e executar algumas etapas nesses com o objetivo de permitir ao maciço se acomodar ao novo volume. Com isso, a altura escavada foi de 2,9m abaixo do nível da rua, sendo já perceptível a presença do lençol freático, confirmando os dados coletados na sondagem conforme mostrado na Figura 25.

Figura 25 - Escavação escalonada

Fonte: acervo pessoal

Finalizada a escavação nos 2 primeiros setores, iniciou-se a primeira fase da fundação mista utilizada: a execução de estacas tipo hélice contínua. Como esta se dá comumente em terrenos arenosos, justifica-se o uso de estacas no empreendimento, sendo as estacas de reforço as mais recorrentes no litoral de João Pessoa, onde 81% das edificações com fundação direta tem reforço com essa solução (ANDRADE, 2018). No caso estudado, foram projetadas e executadas 912 estacas de concreto C30 com 300mm de diâmetro e comprimento de 5m. O processo executivo, assim como o das estacas de contenção, consistiu na escavação mecânica, no retorno do trado realizando a concretagem e a retirada total do trado com a estaca concretada (figura 26).

Figura 26 – Estacas de reforço

Fonte: acervo pessoal

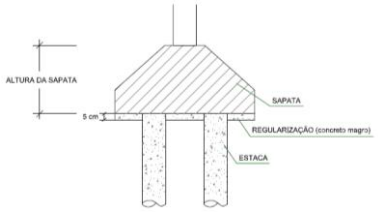
Enquanto o trado subia após a escavação, era possível observar visualmente as camadas do solo, como blocos de argila que eram retirados (figura 27) e camadas de areia grossa conforme previsto pela sondagem executada e pela literatura revisada.

Figura 27 - Blocos de argila encontrados

Fonte: acervo pessoal

Executadas as estacas de reforço, iniciaram-se as escavações para as fundações, em que foi usado o sistema de sapatas associadas a estacas (figura 28), as quais, como visto, têm sido uma solução recorrente no litoral da capital.

Figura 28 - Associação de sapatas e estacas



Fonte: acervo pessoal

Como o lençol já estava aparente na primeira escavação, tornou-se necessário o seu rebaixamento para viabilizar a montagem e concretagem das sapatas. O sistema adotado foi o de ponteiras filtrantes e a partir de apenas uma bomba devido à cota relativamente baixa.

Figura 29 - Rebaixamento de lençol freático

Fonte: acervo pessoal

Com isso, foi possível a escavação (figura 30) e concretagem das sapatas (figura 31).

Figura 30 - Escavação de cavas para sapatas

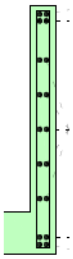
Fonte: acervo pessoal

Figura 31 - Sapatas concretadas

Fonte: acervo pessoal

Para a laje, foi projetada uma laje de subpressão de 20cm de altura associada a paredes de 12cm de largura e 1m de altura em toda a periferia do empreendimento composta por concreto armado (figura 32) para reforçar a resistência aos esforços.

Figura 32 – Laje de subpressão com parede de concreto



Fonte: acervo pessoal

5 ANÁLISE DA METODOLOGIA EXECUTIVA

A execução da laje de subpressão em estudo seguiu uma metodologia baseada em tomadas de decisões desde as primeiras etapas da construção. A primeira decisão foi o nível que ficaria. Para isso, analisou-se as cotas dos seis furos executados durante a sondagem e também foi feito acompanhamento do nível do lençol freático a partir da perfuração de três poços na edificação vizinha (**Erro! Autoreferência de indicador não válida.**), nomeados M.NA1, M.NA2 e M.NA3. Feitas as perfurações, inseriu-se uma lama bentonítica para que o solo não desmoronasse e introduziu-se uma tubulação de 50mm de diâmetro.

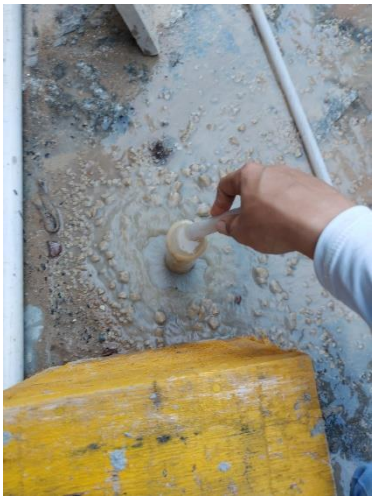
Figura 33 - Perfuração de poço

Fonte: acervo pessoal

Com isso, fez-se uma limpeza dessas tubulações para retirar a bentonita residual (**Erro! Autoreferência de indicador não válida.**) e possibilitar a leitura fiel do lençol freático. Esta era feita por meio de uma haste com peças de isopor na extremidade (figura 35), que boiava dentro da tubulação ao atingir o lençol e era retirada. Então media-se, por meio de uma trena, a

distância do topo da tubulação até o início da área molhada da haste, identificada de maneira tátil e visual.

Figura 34 - Limpeza de poços com jato de água



Fonte: acervo pessoal

Figura 35 - Haste de leitura

Fonte: acervo pessoal

Para obter o entendimento dessa leitura, todos os tubos tinham uma distância fixa para o nível da rua. Logo, quando era feita essa medição, tirava-se essa diferença e resultava na distância desejada, que era entre o nível da rua e o lençol freático. A coleta era feita, preferencialmente nos turnos da manhã e da tarde, anotando o nível da maré disponibilizada pela internet e o horário de coleta, resultando na tabela a seguir.

Tabela 1 - Monitoramento de lençol freático

Data	Hora	Maré	M. NA1	M. NA2	M. NA3	M. NA4	M. NA5
23/08/2021 - M	11:00	0,1	2,235	2,125	2,2	2,525	
23/08/2021 - T	15:00	2	2,28	2,215	2,29	2,54	
24/08/2021 - M	10:55	0,2	2,19	2,42	2,36	2,535	2,64
24/08/2021 - T	15:00	2,3	2,28	2,235	2,23	2,66	2,64
25/08/2021 - M	11:00	0,3	2,32	2,42	2,27	2,59	2,64
25/08/2021 - T	16:30	2,3	2,3	2,295	2,27	2,61	2,655
26/08/2021 - M	11:00	0,4	2,48	2,305	2,26	2,52	2,65
26/08/2021 - T	16:30	2,2	2,29	2,275	2,26	2,6	2,65
27/08/2021 - M	12:00	0,7	2,27	2,315	2,26	2,54	
27/08/2021 - T	15:30	1,8	2,27	2,305	2,25	2,6	2,64
30/08/2021 - M	11:00	1,5	2,19	2,265	2,22	2,59	2,55
30/08/2021 - T	16:00	1	2,2	2,205	2,18	2,57	2,55
31/08/2021 - M	11:00	1,7	2,21	2,215	2,17	2,48	
31/08/2021 - M	16:30	1	2,17	2,22	2,25	2,54	
02/09/2021 - T	15:30	1,5	2,14	2,275	2,23	2,53	
03/09/2021 - M	08:30	0,5	2,31	2,275	2,21	2,57	
08/09/2021 - T	15:30	2	2,31	2,195	2,21	2,31	
09/09/2021 - M	11:00	0,1	2,29	2,352	2,39	2,52	
10/09/2021 - M	11:50	0,3	2,27	2,305	2,23	2,59	
14/09/2021 - T	16:00	1,1	2,16	2,295	2,21		
15/09/2021 - M	11:30	1,9	2,26	2,335	2,26		

Fonte: acervo pessoal

Além dessa leitura através dos poços, abriu-se duas valas no terreno e media-se a partir de referências fixas e de distâncias até o nível da rua conhecidas (figura 36), que equivaliam às leituras M.NA4 e M.NA5 da tabela anterior. Esse método foi usado apenas para complementar o levantamento de dados, não sendo a forma ideal de se analisar o lençol freático, pois estava exposto permanentemente a agentes externos, sendo suscetível a influências e oscilações.

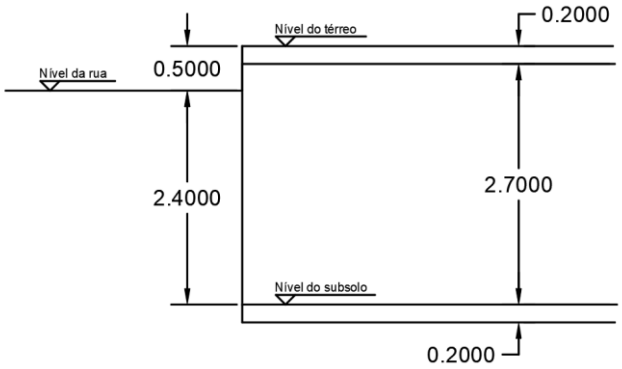
Figura 36 - Leitura de nível de lençol freático

Fonte: acervo pessoal

Ao analisar as leituras, observou-se que as cotas dos poços não equivaliam, em sua maioria, às informações extraídas pela sondagem. Tal cenário pode ser justificado pelo fato de as estacas de contenção funcionarem como uma barreira para essa água, causando a leitura de um nível mais profundo no terreno em questão e mais raso no terreno vizinho.

Como a sondagem era o método mais eficiente, seguiu-se suas informações e decidiu-se que o subsolo ficaria a 2,4m abaixo do nível da rua. Como a laje de subpressão foi prevista para ter 20cm de altura, sua cota inferior ficou a -2,60m. Conjuntamente a essa decisão, o nível do térreo foi elevado 50cm em relação ao nível da rua garantindo um pé-direito de 2,7m (figura 37)

Figura 37 - Níveis das lajes do empreendimento



Fonte: acervo pessoal

Definida essa cota, foi possível locar as sapatas. Todas as fundações foram concretadas com aditivo redutor de permeabilidade (PRAH) da Penetron conforme recomendações de profissionais de uma empresa de impermeabilizantes, de um engenheiro tecnólogo em concreto e conforme de informações coletadas sobre execução de estruturas semelhantes já realizadas na região. O ponto mais crítico se deu nas sapatas dos poços de elevador. No empreendimento, existia sete elevadores com poços de 1,5m de altura para a laje acabada, então o topo das sapatas se encontrava a uma cota -4,1m. Para essas alturas, era necessário o isolamento da região com as ponteiras filtrantes do rebaixamento do lençol freático, concentrando todo o sistema no quadrante em questão (figura 38). Durante o uso da bomba de rebaixamento, foi possível analisar o custo alto envolvido, uma vez que as contas de energia elétrica chegavam a R$ 15.000,00, confirmando que a laje de subpressão de fato seria a opção mais viável em relação ao uso definitivo de bombas, conforme exposto por Abreu (2019).

Figura 38 - Isolamento do poço de elevador com ponteiras

Fonte: acervo pessoal

O mesmo ocorreu para a concretagem da laje de piso e das paredes desses poços (figura 39) para possibilitar a concretagem, devendo ser bem planejada e rápida, pois qualquer falha na bomba, aumento do nível do lençol ou chuva abundante, impossibilitava a operação.

Figura 39 - Concretagem de poço de elevador

Fonte: acervo pessoal

As paredes dos poços foram concretadas até a extremidade inferior da laje de subpressão. Para esses encontros, utilizou-se fitas hidroexpansivas. Essas fitas também foram utilizadas nos reservatórios inferiores, os quais não tiveram as paredes concretadas junto das lajes. Essas foram concretadas antes e, para receber as paredes, aplicou-se um primer e as fitas imediatamente antes da concretagem das paredes (Figura 40). Executou-se o mesmo procedimento para as estações elevatórias de águas pluviais e de esgoto, que também se encontravam a uma cota inferior da laje de subpressão.

Figura 40 - Aplicação de fita hidroexpansiva

Fonte: acervo pessoal

Além dessas definições, foi pensado no esgotamento sanitário. Como o subsolo tinha uma área de funcionários e um pub e não tinha projetos complementares elaborados no momento da tomada da decisão, procurou-se a maior distância de tubulação que poderia ter até uma estação elevatória de esgoto e com a inclinação máxima de tubulações de esgoto foi calculada a altura necessária para o caimento. Além disso, adicionou-se alturas de assentamento para essas tubulações, resultando numa altura de 45cm. Logo, na região onde tinha esses ambientes, solicitou-se ao projetista estrutural para inserir um rebaixo de altura citada, estando representado na figura 41, resultando numa cota de 2,85m abaixo do nível da rua.

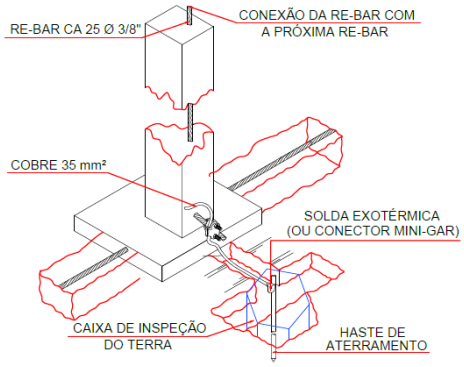
Figura 41 - Rebaixo para esgotamento sanitário

Fonte: acervo pessoal

Ainda na concepção da geometria da laje de subpressão, sabia-se que furos na laje poderiam se tornar pontos frágeis e caminhos suscetíveis para a água percolar. Para evitar isso,

analisou-se o sistema de proteção de descargas atmosféricas (SPDA) do empreendimento, que previa 20 caixas de inspeção para aterramento (Figura 42). Por ter sido considerado um grande número de pontos que poderiam se tornar críticos, solicitou-se uma análise de riscos e foi optado por não executar o SPDA da maneira projetada, decidindo-se que seria usado um tipo de sistema que não afetasse a laje.

Figura 42 - Caixas de inspeção para aterramento



Fonte: acervo pessoal

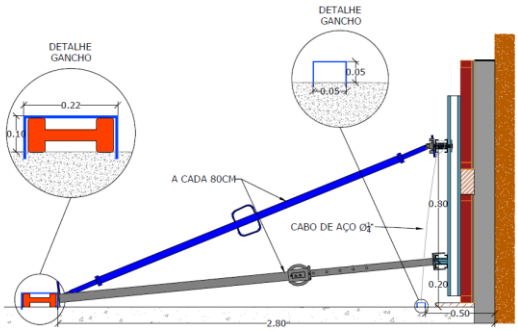
Como o terreno tinha uma grande área, foi elaborado um plano de concretagem da laje subpressão em três etapas. Como o município de João Pessoa tem período chuvoso iniciando no meses de março e abril, compatibilizou-se o cronograma de obra para que as concretagens acontecessem antes desse período, evitando imprevistos na operação de concretagem. Devido à execução dividida em etapas, sabia-se que era necessário um tratamento mais delicado nessas juntas, bem como no ponto de encontro da laje com a parede de concreto. Para elevar esse ponto de encontro e ficar mais distante do lençol freático, foram executadas fôrmas de 30cm de altura na periferia, permitindo que a parede fosse concretada em conjunto com a laje (figura 43). A carpintaria responsável por essa execução optou por escorar a fôrma nas estacas de contenção, evitando flambagem durante a concretagem, e suportada por ferros caranguejo.

Figura 43 - Fôrma da primeira etapa da parede de concreto

Fonte: acervo pessoal

Prevendo o escoramento do restante da altura da parede, que seria concretada depois, inseriram-se ganchos na armadura da laje para receber o travamento (Figura 44 e Figura 45), evitando a perfuração posterior da laje para esse. Para a concretagem desse restante, também foi utilizada a fita hidroexpansiva da Penetron.

Figura 44 - Escoramento da segunda etapa da parede de concreto



Fonte: acervo pessoal

Figura 45 - Execução de escoramento da segunda etapa da parede de concreto

Fonte: acervo pessoal

Para o recebimento da laje, o terreno foi rigorosamente compactado, onde foi aplicado uma lona plástica (figura 46) de forma a proteger a armadura. Apesar de ter passado pela compactação, percebeu-se que o solo ainda afundava um pouco ao inserir o peso das armaduras, produzindo espaçadores com um cobrimento maior que o requerido.

Figura 46 - Aplicação de lona plástica

Fonte: acervo pessoal

Com a lona aplicada, as armaduras da laje foram inseridas, com uma taxa de 17,89kg de aço/m² (figura 47). Sabendo-se que quaisquer furos na laje poderiam funcionar como caminho para a água, tomou-se o cuidado de deixar todas as esperas de barras das estruturas engastadas na laje, como de escadas e rampas, já armadas.

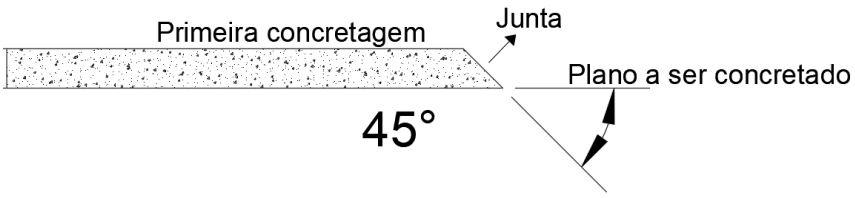
Figura 47 - Armação da laje

Fonte: acervo pessoal

Para a concretagem, foram feitas reuniões com usinas de concretagem da cidade para confirmar se elas possuíam capacidade de concretar toda a etapa em um só dia e de forma contínua, pois juntas frias deveriam ser evitadas. Assim, a central foi agendada para fornecer os carros suficientes. A mão de obra existente na obra era suficiente para o serviço de adensamento, tendo-se terceirizado o serviço de nivelamento da laje. Durante a operação, a temperatura não foi monitorada, porém o substrato recebia constantemente pequenos jatos de água para evitar uma rápida evaporação da água de amassamento ao atingir a laje.

Apesar de todo o planejamento, a primeira concretagem, que contava com uma área de 800m², não pôde ser feita de uma só vez, fazendo surgir uma junta de concretagem. Para esta, deixou-se, ainda no estado fresco, a junta com inclinação de 45°.

Figura 48 - Detalhe da inclinação para junta de concretagem



Fonte: autoria própria

A segunda concretagem dessa etapa foi feita no dia seguinte. Antes de receber o novo concreto, toda a superfície foi escarificada para que garantisse uma rugosidade, aumentando a área superficial e a aderência. Após isso, foi aplicado o primer à base de emulsão acrílica, observado através da faixa laranja ao longo da junta representada pela figura 49 para receber a fita hidroexpansiva, observada pela faixa preta acima do primer.

Figura 49 - Junta de concretagem com fita

Fonte: acervo pessoal

As duas etapas restantes, cada uma com 1000m², foram executadas conforme planejado, totalizando três juntas frias na laje de subpressão tratadas da mesma maneira que a anterior. Ambas as concretagens iniciaram por volta das 9:00 e finalizaram às 20:00 com um atendimento de 25 carros de concreto cada.

Para as quatro etapas, utilizou-se uma cura úmida através de jatos de água logo após perceber o concreto endurecido através de uma análise tátil-visual. No dia seguinte às concretagens, aplicou-se BIDIM (figura 50) e uma constante lâmina de água durante sete dias.

Figura 50 - Cura submersa da laje

Fonte: acervo pessoal

Vale salientar que o concreto usado na laje de subpressão e nas sapatas também era constituído de redutor de permeabilidade da Penetron, adição de 8% de microssílica em relação ao volume de cimento, fator a/c de 0,45 e fck de 40MPa. Em todas as concretagens, foi feita a rastreabilidade do concreto e seu controle tecnológico para identificar locais cujo material não atingisse a resistência mínima, o que não ocorreu, pois todos os carros tiveram resistência característica superior a 45Mpa.

Além da preocupação com a metodologia usada para a execução da laje de subpressão, outra questão crítica era a possibilidade de afetar regiões vizinhas devido à escavação do solo e rebaixamento do lençol freático. Ao perceber que um dos edifícios vizinhos já era antigo, solicitou-se um serviço de vistoria de forma a se resguardar de futuros possíveis problemas. Além dessa vistoria, também foram programadas visitas semanais de um topógrafo que media os recalques de todos os pilares dessa edificação adjacente a partir de parabolts chumbados nos pilares (figura 51).

Figura 51 - Chumbamento de parabolts

Fonte: acervo pessoal

A variação do lençol freático continuou sendo monitorada depois do rebaixamento, resultando na tabela 2, sendo perceptível o aumento de profundidade.

Tabela 2 - Monitoramento do lençol freático após rebaixamento

Data	Hora	Maré	M. NA1	M. NA2	M. NA3
16/09/2021 - T	16:30	1,2	2,23	2,255	2,41
22/09/2021 - T	14:50	0,7	2,47	2,385	2,29
28/09/2021 - M	12:00	1,6	2,47	2,64	2,33
30/09/202 - T	16:00	1,2	2,65	3,03	2,61
01/10/2021 - M	12:00	1,2	3,25	3,31	2,54
03/10/2021 -M	12:00	1	3,25	3,31	2,6
05/10/2021 - M	10:00	0	2,58	3,31	2,62
12/10/2021 - M	12:00	1	2,48	3,31	2,56
13/10/2021 - M	12:00	1,8	2,53	3,18	2,56
15/10/2021 - M	11:30	1,7	2,59	3,31	2,57
19/10/2021 - M	11:20	0,6	2,8	3,31	2,66
21/10/2021 - M	10:10	0,3	2,8	3,31	2,65
27/10/2021 - M	07:30	0,6	2,8	3,3	
28/10/2021 - M	07:30	1,2	2,95	3,31	
28/10/2021 - M	07:30	1,2	2,95	3,31	
05/11/2021 - M	08:00	0,3	3,03	3,31	
10/11/2021 - M	10:00	1,7	3,03	3,19	
12/11/2021 - M	10:00	1,8		3,15	
16/11/2021 - T	13:30	2	2,72	2,835	2,71
17/11/2021 - T	14:00	2,1	2,73	2,855	2,73
18/11/2021 - T	15:30	2,3	2,75	2,865	2,75
19/11/2021 - M	08:30	0,3	3,04	3,12	2,77
22/11/2021 - T	13:30	0,8	2,48	3,31	2,54
23/11/2021 - T	16:00	1,5	2,53	3,18	2,56
24/11/2021 - T	14:30	1	2,51	3,03	2,77
25/11/2021 - M	08:00	1,8	2,66	3,165	3,07
26/11/2021 - M	14:30	1	2,53	3,02	2,75

Fonte: acervo pessoal

Durante as leituras do topógrafo, percebeu-se o surgimento de um recalque. Foi analisado o local do pilar referente e coincidia com o ponto onde havia maior profundidade do lençol freático. Porém, ao desativar as bombas de rebaixamento, esse recalque foi estabilizado, não sendo considerado uma preocupação para a edificação vizinha, conforme informado pelo topógrafo e por um engenheiro geotécnico consultado.

Apesar disso, alguns problemas surgiram, como o afundamento de pisos (figura 52) e comprometimento de um poste de concreto (figura 53). Ambos se deram devido à alteração do maciço do solo associado à inexistência de drenagem de águas pluviais da edificação vizinha, fazendo com que toda a água se acumulasse em uma só região, a qual não teve seu estado alterado.

Figura 52 - Afundamento de piso da vizinhança

Fonte: acervo pessoal

Figura 53 - Comprometimento de poste de concreto

Fonte: acervo pessoal

Todas essas queixas foram solucionadas por meio da disponibilidade para reparações devidas por parte da construtora. A exceção se deu quando houve uma reclamação de um surgimento de fissura em um dos apartamentos, porém já havia sido registrado no laudo cautelar a existência dessas aberturas. Logo, a construtora conseguiu se resguardar, não sendo de sua responsabilidade tal patologia.

A partir dessa análise da metodologia realizada no estudo de caso, foi possível elaborar um roteiro para execução de laje de subpressão, apresentado no Apêndice - A.

Após a finalização das concretagens, alguns pontos com infiltração foram encontrados, estando todos localizados próximo ao encontro da laje com a parede de concreto, sendo justificados pela dificuldade de vibração nesses pontos. Para pontos com água corrente (figura

54), foi utilizado o material Waterplug, argamassa que permite uma pega rápida, bloqueando rapidamente o fluxo de água.

Figura 54 - Infiltração de água com fluxo

Fonte: acervo pessoal

Já para pontos onde não havia fluxo de água (figura 55), as regiões foram escarificadas e preenchidas com a argamassa impermeabilizante por cristalização da Penetron.

Figura 55 - Infiltração de água

Fonte: acervo pessoal

Todos os pontos onde surgiram infiltração foram tratados e bloqueados, atingindo estanqueidade de toda a laje.

6 CONCLUSÃO

Com o estudo de caso realizado, foi possível observar que a maioria das tomadas de decisão equivaliam às tecnologias e precauções expostas na revisão bibliográfica elaborada, o que resultou no sucesso da execução das quatro etapas da laje de subpressão.

Esse cenário foi permitido, principalmente, pelo planejamento bem elaborado desde a concepção da estrutura até a operação de concretagem, abrangendo logística, planos de concretagem e estudo dos materiais. Foi comprovado também que o investimento inicial é diluído ao longo do tempo devido à ausência de gastos com energia elétrica, manutenções e reparos.

Foram analisados pontos críticos a partir do estudo de caso. As estruturas enterradas, como poços de elevador e reservatórios inferiores, atingiram alto grau de dificuldade nessa execução, precisando de um isolamento da região com ponteiras filtrantes exclusivamente para esse fim. A camada de regularização escolhida (lona plástica) apresentava rasgos com facilidade devido ao afundamento do solo com o peso das armaduras, sendo outra opção o uso de camada de concreto magro, como visto na revisão bibliográfica.

Além desses aspectos, as regiões inferiores da parede de concreto do perímetro do terreno também apresentaram pontos suscetíveis a infiltrações, confirmando a importância do adensamento adequado do concreto para que todo o ar seja expulso e os agregados arranjados.

O estudo de caso também serviu para apresentar a necessidade do equilíbrio do edifício com o meio ambiente, devendo-se analisar as vizinhanças e se resguardar de possíveis problemas.

Como o roteiro analisado produziu resultados satisfatórios e é coerente com os estudos revisados, pôde-se concluir que tem capacidade de ser seguido em execuções de lajes de subpressão para auxiliar na tomada de decisões durante a fase de planejamento.

Como sugestão de trabalhos futuros, aconselha-se estudos detalhados para o uso de cristalizantes, por sua escassez de normativas brasileiras (ANDREATTA, 2020), análises quantitativas da performance dos materiais citados como fitas hidroexpansivas e redutores de permeabilidade por meio de ensaios.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, P. C. L. G.; RIBEIRO, D. M. Estanqueidade Da Interface Pilar/Laje Em Laje De Subpressão Sujeita À Ação De Águas De Lençol Freático. **Revista Boletim Do Gerenciamento**, Rio De Janeiro, N. 17, P. 20-29, Outubro. 2019.

ALVES, J. V. Análise Do Melhoramento De Solo Com Estacas De Compactação Comparado Com A Solução Em Estacas Hélice Contínua: Estudo De Caso, Araruna, 54 2015.

ANDRADE, M. O. **Análise Comparativa De Custos Entre Estruturas De Contenção**. Universidade Federal De Sergipe. São Cristóvão, P. 119. 2018.

ANDREATTA, G. L. **Aditivo Cristalizante Para Concreto: Propriedades No Estado Fresco E Endurecido**. Universidade Tecnológica Federal Do Paraná. Curitiba, P. 71. 2020.

AQUINO, P. N. A. S.; RESENDE, P. S. O. Concreto Submerso: Materiais, Propriedades E Aplicações Na Engenharia Civil. **Pontifícia Universidade Católica De Goiás**, Goiânia, 2020.

ARAÚJO, G. S. D. *Et Al.* Análise Das Patologias Em Uma Edificação Unifamiliar Devido A. **Revista Uniaraguaia**, Goiânia, V. 15, N. 2, P. 11, Maio. 2020.

BARBOSA, T. S. **Geomorfologia Urbana E Mapeamento Geomorfológico Do Município De João Pessoa - Pb, Brasil**. Universidade Federal Da Paraíba. João Pessoa, P. 116. 2015.

BARROS, T. C. Manifestações Patológicas Em Edificações Causadas Por Obras Novas Em Terrenos Vizinhos: Um Estudo De Caso. **Universidade Federal De Minas Gerais**, Belo Horizonte, 2016., P. 43

BRANCO, F. A Evolução Das Construções. **Instituto Superior Técnico**, 2020. Disponivel Em: Http://Www.Civil.Ist.Utl.Pt/~Joaof/Ad/00%20-%20evolu%C3%A7%C3%A3o%20das%20constru%C3%A7%C3%B5es%20-%20cor.Pdf. Acesso Em: 03 Out. 2022.

BRITEZ, C. *Et Al.* Estanqueidade De Lajes De Subpressão. Caso Mis-Rj. **Anais Do 55º Congresso Brasileiro Do Concreto** , São Paulo, Outubro 2013., P. 1-16

CARDOSO, F. F. **Sistemas De Contenção**. São Paulo: Escola Politécnica Da Universidade De São Paulo, 2002.

CASTRO, R. M.; RIBEIRO, J. A. B.; Filho, A. L. G. Análise Técnica Da Aplicação De Sistema De Contenção Do Tipo. **Pontifícia Universidade Católica De Goiás**, Goiás, 2021., P. 13

DUARTE, M. M. Prática Das Fundações Na Cidade De João Pessoa, João Pessoa, 2016., P. 33

Farias, M. T. L. Análise De Alternativas Para Contenção De Subsolos. **Universidade Federal Do Ceará**, Fortaleza, 2016., P. 95

FERREIRA, R. G. O. Análise Dos Impactos Causados Por Construções Vizinhas. **Universidade Federal De Sergipe**, São Cristóvão, Janeiro 2022., P. 55

FRACON, F. S. T.; FRACON, C. J.; SILVA, E. C. M. Estudo De Caso: Metodologia Executiva De Uma Laje De Subpressão No Setor Noroeste, Brasília - Df. **Anais Do 15º Simpósio Brasileiro De Impermeabilização**, São Paulo, 4 Junho 2018., P. 1-17

GASPAR, P. F.; SANTOS, A. A. D. Contenção De Talude De Escavação Com Estacas Justapostas Estudo De Caso. **Unesc**, Içara, 2011., P. 17

LEITE, L. K. P. **Estrutura De Contenção Para Subsolo Abaixo Do Lençol Freático Na Cidade De João Pessoa – Estudo De Caso**. Centro Universitário De João Pessoa (Unipê). João Pessoa, P. 79. 2019.

MARTIN, J. F. D. F. S. **Avaliação Da Autocicatrização De Concretos Com Adição De Cristalizantes: Análise Em Obra E Em Laboratório**. Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul. Porto Alegre, P. 40. 2021.

MESQUITA, M. C. D. O.; SOARES, F. L.; SANTOS, L. M. A. Estudo De Caso Da Metodologia Executiva De Uma Laje Subpressão No Litoral De João Pessoa/Pb. **Cobramseg**, Campinas, 23 Agosto 2022.

MORAES, L. T. T. S. Análise De Alternativas Para Disposição Final Da Água De Rebaixamento Do Lençol Freático. **Centro Universitário Cesmac**, Maceió, 2018., P. 48

MORATO, A. D. S. A Importância Da Vistoria Cautelar Na. **Universidade Federal De Minas Gerais**, Minas Gerais., P. 48

MOREIRA, M. M. **Efeito Do Aditivo Redutor De Permeabilidade Em Concretos Com Diferentes Tipos De Cimento Portland-Contribuição Aos Processos De Autocicatrização**. Universidade De Brasília. Brasília, P. 167. 2016.

MOREIRA, R. C. C. **A Questão Do Gabarito Na Orla Marítima De João Pessoa (Bairros De Manaíra, Tambaú E Do Cabo Branco)**. Universidade Federal Da Paraíba. João Pessoa, P. 151. 2006.

NEIVA, E. S. *Et Al.* Estruturas De Contenção, Escavações E, Belo Horizonte, 2014., P. 31

OLIVEIRA, A. M. D. **Fissuras, Trincas E Rachaduras Causadas Por Recalque Diferencial De Fundações**. Universidade Federal De Minas Gerais. Belo Horizonte, P. 96. 2012.

PEREIRA, C. D. D. **Aplicação De Jet-Grouting Em Escavações Profundas Em Solos Moles**. Universidade Do Porto. Porto, P. 194. 2008.

SANTOS, M. D. D. Contribuição Ao Estudo Da Influência De Escavações Nos Recalques Superficiais De Construções Vizinhas. **Universidade Do Estado Do Rio De Janeiro**, Rio De Janeiro, 2007., P. 149

SERAFIM, Y. C. Estudo Comparativo De Estruturas De Contenção: Uso De Estacas Justapostas E Muros De Concreto. **Universidade Federal De Pernambuco**, Caruaru, 2018., P. 88

Soares, F. F. **A Importância Do Projeto De Impermeabilização Em Obras De Construção Civil**. Universidade Federal Do Rio De Janeiro. Rio De Janeiro, P. 127. 2014.

SOARES, F. L.; JÚNIOR, E. J. D. S. C. Comportamento De Estaca Hélice Contínua De Pequeno Diâmetro Em Terraços Marinhos Trabalhando Como Parte De Fundação Mista (Sapata + Estaca). **9º Seminário De Engenharia De Fundações Especiais E Geotecnia**, São Paulo, 4 Junho 2019.

SOARES, F. L.; JÚNIOR, E. J. D. S. C.; NACIMENTO, J. D. P. D. Análise Da Capacidade De Carga De Estaca Hélice Contínua Curta. **Xviii Congresso Brasileiro De Mecânica Dos Solos E Engenharia Geotécnica**, Belo Horizonte, Outubro 2016.

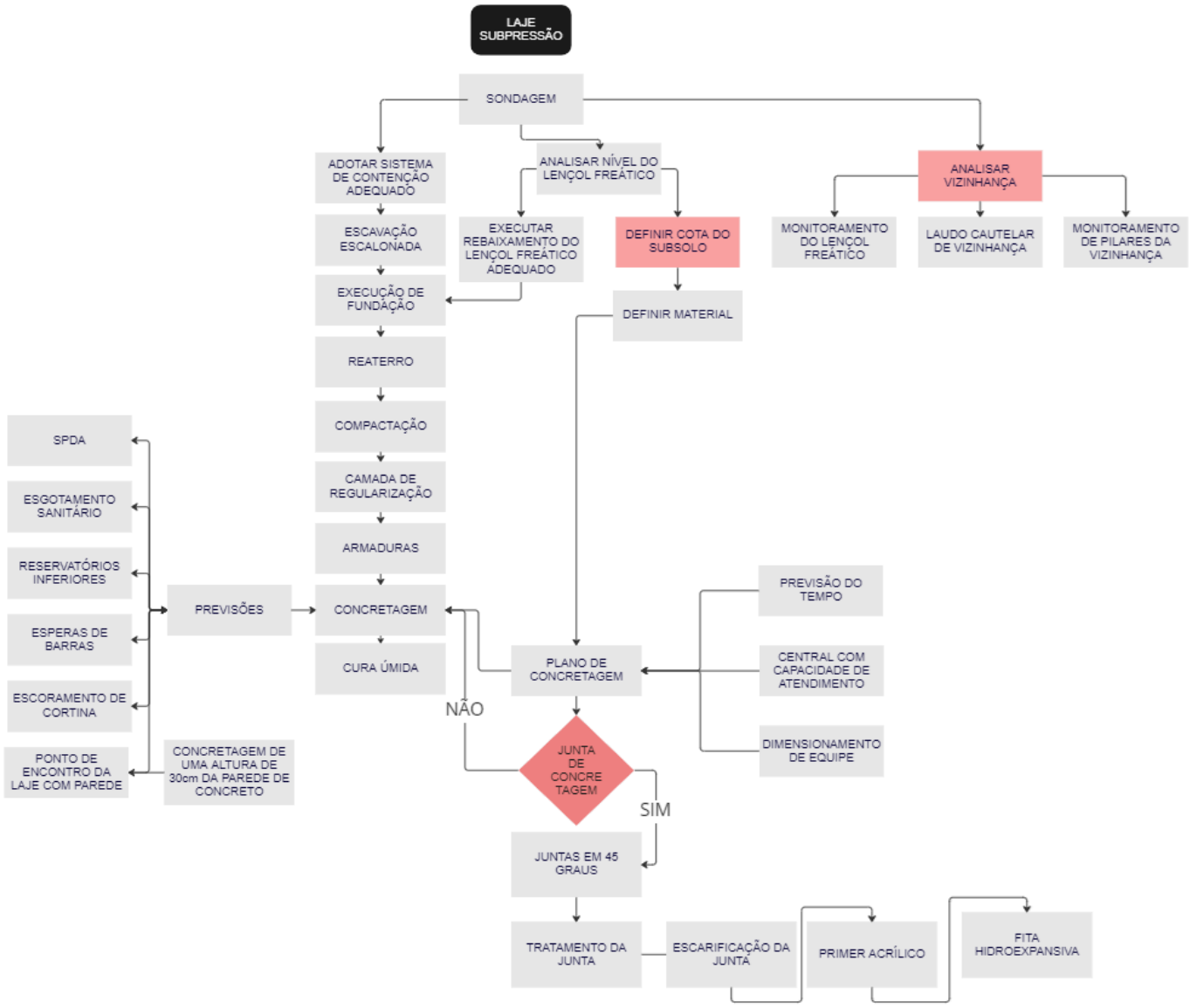
SOARES, W. C. Estacas De Compactação Para Melhoria De Solo. **Estacas De Compactação Para Melhoria De Solo**, São Paulo, 2002., P. 151

SOUZA, J. C. D. S. *Et Al.* Potenciais Impactos Causados Por Obras Civis Em Aquíferos Costeiros: Estudo De Caso. **Congresso Internacional De Meio Ambiente Subterrâneo**, Alagoas, 2010., P. 19

TACCO, R. M. C. D. A. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS CAUSADAS POR OBRAS NOVAS EM EDIFICAÇÕES VIZINHAS - VISTORIAS CAUTELARES. **Universidade Federal de Minas Gerais**, Belo Horizonte, 2016., p. 86

TAKAGI, E. M. RUMO AO CONCRETO DE AMANHÃ. **Estrutura**, São Paulo, v. 2, n. 5, p. 39-45, Abril. 2018.

VARELA, M. **Estruturas de contenção**. [S.l.].

ZAPLA, L. S.; RABELO, P. F. R.; MOTTA, A. S. D. IMPERMEABILIZAÇÃO NEGATIVA DE ESTRUTURAS DE ESTRUTURAS DE CONCRETO. **ENTAC**, Fortaleza, 7 Outubro 2008.

APÊNDICE A – FLUXOGRAMA EXECUTIVO