

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

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

DANILO MAIA SOARES

ANÁLISE DE LAJES DE SUBPRESSÃO EM OBRAS DE JOÃO PESSOA - PB

JOÃO PESSOA

2019

DANILO MAIA SOARES

ANÁLISE DE LAJES DE SUBPRESSÃO EM OBRAS DE JOÃO PESSOA - PB

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Lopes Soares

JOÃO PESSOA

2019

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

S676a Soares, Danilo Maia.
Análise de Lajes de Subpressão em Obras de João Pessoa
- PB / Danilo Maia Soares. - João Pessoa, 2019.
55 f. : il.

Orientação: Fábio Soares.
Monografia (Graduação) - UFPB/Tecnologia.

1. Laje. 2. Subpressão. 3. Estrutura. 4. Concreto. 5.
Lençol frático. 6. Drenagem. I. Soares, Fábio. II.
Título.

UFPB/BC

FOLHA DE APROVAÇÃO

DANILO MAIA SOARES

ANÁLISE DE LAJES DE SUBPRESSÃO EM OBRAS DE JOÃO PESSOA - PB

Trabalho de Conclusão de Curso em 25/09/2019 perante a seguinte Comissão Julgadora:

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

Andrea Brasiliano Silva APROVADO
Andrea Brasiliano Silva
Universidade Federal da Paraíba - UFPB

Clovis Dias APROVADO
Clovis Dias
Universidade Federal da Paraíba - UFPB

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

*Dedico à minha família por ter sido uma base sólida
para meu crescimento pessoal e profissional*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus, por me proporcionar todas as vitórias conquistadas até hoje, por nunca desistir de mim e por ter os melhores planos reservados para a minha vida.

Aos meus pais e toda a minha família pela compreensão pelos momentos de ausência e por todo o apoio, amor e carinho.

À minha namorada, Bianca, por todo o incentivo, companheirismo e amor.

Aos amigos que me acompanharam durante todo o curso, em especial a Chiara Teodoro, Davi Marinho, Elias Alves, Fernanda Diniz, Ian Germoglio, João Paulo Veríssimo, Lenore Menezes, Pedro Siqueira, Priscylla Camelo e Raimundo Gonçalves, que fizeram com que a jornada, por mais que difícil, se tornasse mais leve e prazerosa.

Aos amigos que fiz no colégio e que estão comigo até hoje em vários momentos da minha vida.

À minha família do Encontro de Jovens com Cristo e demais amigos da Igreja, que acompanham de perto minha caminhada e me levam para mais perto de Deus.

Ao meu orientador, Fabio Lopes, e aos professores Andrea Brasileiro e Clovis Dias, por serem exemplos de profissionais dedicados e competentes e por serem sempre amigáveis e solícitos.

Aos demais professores do curso por todos os ensinamentos.

À coordenação do curso, que sempre me atendeu da melhor forma possível e pensa sempre no bem estar dos alunos.

Às construtoras e profissionais do ramo da construção civil que me auxiliaram na realização desse trabalho.

RESUMO

Tem-se observado na cidade de João Pessoa, assim como em outras cidades litorâneas, uma crescente ocupação dos solos de áreas de praia por edificações que, para otimização do espaço, tem utilizado áreas enterradas para construção de subsolos. Em algumas situações a construção desses subsolos envolve escavações que acabam atingindo o lençol freático ou ficando próximas dele e com isso, torna-se fundamental proteger a edificação contra a ação da água. Essa proteção pode ser realizada através do uso de sistemas de drenagem permanente ou pela utilização de uma estrutura com concreto estanque a água, conhecida como laje de subpressão. Essa última solução vem ganhando espaço na cidade de João Pessoa e para que seja executada corretamente requer cuidados especiais em processos como rebaixamento do lençol freático, impermeabilização da estrutura, elaboração de projetos e concretagem. Diante disso, esse trabalho vem detalhar esses processos e contribuir para que problemas e patologias ocorram em uma quantidade bem mais reduzida e se tenha uma estrutura segura e durável. Para isso, foi feita uma revisão bibliográfica e uma análise de obras na cidade de João Pessoa que fazem uso de lajes de subpressão. Foi analisado também um caso de obra que faz uso de um sistema de drenagem permanente, uma solução alternativa à essas lajes, e fez-se um comparativo entre as duas soluções. Pode-se concluir que as obras com laje de subpressão foram devidamente projetadas e executadas, não apresentando até o momento problemas e patologias que possam vir a comprometer a estrutura, por isso os processos envolvidos na construção das mesmas podem ser utilizados como exemplo para futuras obras. Além disso, pode-se concluir também que a utilização de lajes de subpressão é mais viável a longo prazo do que a utilização do sistema de drenagem permanente, em virtude dos altos gastos com energia e baixa durabilidade desse último.

Palavras-chave: Estrutura, lençol freático, laje de subpressão, drenagem.

ABSTRACT

It has been noticed in João Pessoa and further coastal cities that sandy beach soils are being largely occupied by buildings in which parts of the structure are built underground for a better space optimization. In some cases these constructions involve excavations that reach the water table or at least staying close to it. For this reason it is important to protect the building against the water. This protection can be done by using permanent drainage systems or anti-flotation slabs. This latter has been largely used in João Pessoa and needs special care on procedures like groundwater drawdown, structure waterproofing, project development and concreting operations. This work intends to detail these procedures and contribute to reduce problems and pathologies on the structure and to make it safer and with a better durability. A literature review was done as well as an analysis of cases in the city of João Pessoa that use anti-flotations slabs. It was also analyzed a case that uses permanent drainage system which is an alternative solution for these slabs. And a comparison between them was done. It was noticed that the cases that use the anti-flotation slabs were properly projected and executed and don't present problems and pathologies that may cause damage to the structure. It was also noticed that the use of anti-flotation slabs is more viable than the use of permanent drainage systems when considering a long period of time because this last one is less durable and leads to high expenses with energy.

Key words: Structure, water table, anti-flotation slabs, drainage.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Planta esquemática de locação do sistema.....	17
Figura 2 - Seção esquemática de um poço com bomba submersa.....	19
Figura 3 - Impermeabilização por injeção de materiais no concreto.....	23
Figura 4 - Fissura por retração plástica.....	26
Figura 5 - Fissura em laje por retração térmica.....	26
Figura 6 - Detalhamento incorreto de armaduras.....	31
Figura 7 - Detalhamento correto de armaduras.....	31
Figura 8 - Subsolo em 3D com contenções, sapatas e vigas baldrame.....	34
Figura 9 - Armadura de viga-parede utilizando alvenaria como fôrma.....	34
Figura 10 - Armadura da laje sobre concreto magro, com espaçadores plásticos.....	37
Figura 11 - Lançamento do concreto.....	38
Figura 12 - Cura úmida do concreto.....	38
Figura 13 - Laje e fundação em radier de concreto armado.....	40
Figura 14 - Contenção em estacas hélice contínua.....	41
Figura 15 - Rebaixamento por ponteiros filtrantes.....	41
Figura 16 - Concretagem de laje de subpressão.....	44
Figura 17 - Armaduras em mudanças de plano.....	44
Figura 18 - Fita hidroexpansiva em emenda de laje com parede de concreto.....	45
Figura 19 - Manta asfáltica em emenda de laje com parede de concreto.....	45
Figura 20 - Espaço destinado a poço de elevador e poço de captação de água pluvial.....	46
Figura 21 - Tanque de captação de águas pluviais.....	48
Figura 22 - Projeto de drenagem de águas pluviais – planta baixa do subsolo.....	49
Figura 23 - Detalhe de tubo de dreno.....	49

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	12
1.1	Objetivos.....	13
1.1.1	Objetivo geral	13
1.1.2	Objetivos específicos	13
2.	METODOLOGIA	14
3.	REBAIXAMENTO DO LENÇOL FREÁTICO	15
3.1	Ponteiras Filtrantes (Well Points).....	16
3.2	Poços Profundos	18
4.	IMPERMEABILIZAÇÃO	20
4.1	Impermeabilização com Pressão Positiva.....	21
4.1.1	Mantas e Membranas Asfálticas	21
4.1.2	Membranas Especiais de PEAD	21
4.2	Impermeabilização com Pressão Negativa	22
4.2.1	Argamassa Impermeável.....	22
4.2.2	Cimento Cristalizante	22
4.2.3	Injeções no Concreto	22
4.2.4	Resinas Epoxidicas	23
5.	CONCRETAGEM	24
5.1	Patologias.....	25
5.1.1	Juntas Frias de Concretagem	25
5.1.2	Fissuras por Retração Plástica	25
5.1.3	Fissuras por Retração Térmica.....	26
5.1.4	Fissuras por Retração Hidráulica	27
6.	PROJETOS	29
6.1	Determinação da Subpressão	29
6.2	Análise Estrutural e Elaboração do Projeto Estrutural	30
7.	ANÁLISE DAS OBRAS	33
7.1	Obra A	33
7.1.1	Descrição da obra.....	33
7.1.2	Rebaixamento do lençol freático	35
7.1.3	Considerações de Projeto.....	35

7.1.4	Execução.....	36
7.1.5	Impermeabilização.....	39
7.1.6	Problemas	39
7.2	Obra B.....	39
7.2.1	Descrição da obra.....	39
7.2.2	Rebaixamento do lençol freático	41
7.2.3	Considerações de Projeto.....	42
7.2.4	Execução.....	43
7.2.5	Impermeabilização.....	44
7.2.6	Problemas	46
7.3	Obra C.....	47
7.3.1	Descrição da obra.....	47
7.3.2	Funcionamento do Sistema.....	47
7.3.3	Problemas e Patologias	50
7.4	Discussão	50
7.4.1	Uso de Lajes de Subpressão.....	50
7.4.2	Lajes de Subpressão x Sistema de Drenagem Permanente	53
8.	CONCLUSÃO	54
8.1	Considerações Finais	54
8.2	Sugestões para Trabalhos Futuros	54
9.	REFERÊNCIAS	56

1. INTRODUÇÃO

Em cidades litorâneas como João Pessoa, se observa uma forte tendência de expansão do centro para as regiões praianas. O sonho de morar, trabalhar e realizar outras atividades próximo à praia tem feito com que cada vez mais se invista em empreendimentos em bairros como Bessa, Manaíra, Tambaú e Cabo Branco.

Atrelada a busca em atender essa crescente demanda tem também a dificuldade de obtenção de novas áreas para a construção, o que tem levado construtoras a construir em espaços cada vez mais reduzidos e com o máximo de aproveitamento possível. Para isso, uma das soluções que vem sendo adotada é a construção de subsolos em áreas que anteriormente não eram utilizadas. (GUIMARÃES, 2015).

A construção desses subsolos envolve grandes escavações, o que por vezes acaba atingindo o lençol freático ou pelo menos ficando muito próximo de atingi-lo. Dessa forma, se torna imprescindível proteger o pavimento enterrado da ação da água, o que pode ocorrer de duas maneiras.

A primeira é por meio de sistemas de drenagem permanente, em que bombas coletam e descartam a água na rede pluvial. A manutenção desses sistemas, entretanto, necessita de demolição de piso e movimentação de terra, o que geralmente é danoso e oneroso. Em virtude dessa dificuldade na manutenção, a vida útil do sistema acaba não sendo como o esperado.

A segunda maneira é por meio da utilização de laje de subpressão, estrutura com concreto estanque a água cuja durabilidade é maior do que a primeira solução apresentada (CORTOPASSI; OURIVES, 2019).

Essa laje é utilizada em projetos que preveem estruturas com subsolos profundos sujeitos à pressão hidrostática aplicada pela água. É também a laje mais inferior dessas estruturas, que fica em contato direto com o solo e sofre maior empuxo da água, com uma pressão aplicada de baixo para cima. Além de vencer o empuxo, a laje deve também levar em conta outros fatores como a sobrecarga da própria estrutura, a ação produzida pelo maciço de solo em contato com a estrutura e a influência das edificações vizinhas.

Entretanto, esse tipo de estrutura não é de fácil planejamento e execução e exige uma série de cuidados para que não se tenham problemas futuros, principalmente relacionados com a ação da água nas áreas mais baixas como subsolos e até poços de elevador. Em virtude disso, uma atenção especial deve ser dada aos processos envolvidos como rebaixamento do lençol freático, impermeabilização da estrutura, elaboração dos projetos e execução da concretagem.

Assim, sabendo que esse tipo de estrutura vem sendo uma tendência, esse trabalho vem para contribuir como material de consulta para os construtores de João Pessoa e demais cidades para que problemas e patologias ocorram em uma quantidade bem mais reduzida e se tenha uma estrutura mais segura e durável.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo geral desse trabalho é o detalhamento dos processos envolvidos na construção de uma laje de subpressão em subsolos de edificações.

1.1.2 Objetivos específicos

- Avaliar os métodos de rebaixamento por ponteiras filtrantes e por poços profundos.
- Avaliar os métodos de impermeabilização envolvidos na execução de uma laje de subpressão.
- Indicar maneiras de minimizar os riscos envolvidos na concretagem e na elaboração de projetos de laje de subpressão.
- Comparar a utilização de uma laje de subpressão e de um sistema de drenagem permanente.

2. METODOLOGIA

O trabalho elaborado e os objetivos do mesmo foram alcançados seguindo algumas etapas que serão apresentadas a seguir.

Primeiramente fez-se uma revisão bibliográfica a fim de aprofundar o conhecimento no assunto e poder tratar do mesmo com propriedade e clareza. Para isso, fez-se uma seleção criteriosa de artigos, livros, teses, dissertações, trabalhos de conclusão de curso e anais que tratassem diretamente e indiretamente sobre os processos envolvidos em uma laje de subpressão.

Assim, elaborou-se o capítulo 3 que fala sobre a etapa de rebaixamento do lençol freático, o capítulo 4 que caracteriza o processo de impermeabilização e os capítulos 5 e 6 que tratam, respectivamente, sobre a realização da concretagem e sobre a elaboração dos projetos da laje.

Posteriormente apresenta-se um acompanhamento da execução de obras com uso de lajes de subpressão no subsolo da edificação. Além do acompanhamento, consultou-se também profissionais no assunto a fim de se ter um melhor entendimento sobre os processos envolvidos na execução e assim, poder descrevê-los com mais detalhes. O mesmo foi feito para uma obra que optou pela utilização de um sistema de drenagem permanente, sendo este um caso extra para posterior comparação.

Feita a revisão bibliográfica e o acompanhamento e descrição da execução das lajes de subpressão e do sistema de drenagem permanente, foi feita uma análise crítica dos diferentes resultados, considerando-se as situações das obras envolvidas.

3. REBAIXAMENTO DO LENÇOL FREÁTICO

Como dito anteriormente, as construções em João Pessoa tem buscado cada vez mais o máximo de aproveitamento do espaço disponível e com isso uma das medidas que vem sendo adotada é a utilização de subsolos em áreas que anteriormente não eram utilizadas. A utilização desses subsolos na maioria das vezes ocorre abaixo do lençol freático e essa água pode vir a trazer dificuldades e até impedir alguns processos construtivos. Entretanto, com um estudo detalhado quanto ao nível da água consegue-se determinar a melhor solução para um rebaixamento do lençol freático e assim realizar um tratamento para o problema.

O processo de rebaixamento deve ser cuidadosamente pensado uma vez que segundo Marangon (2004), quando esse é realizado de forma incorreta, a alteração na natureza do subsolo pode vir acompanhada de complicações no interior da escavação ou fora dela, vindo em alguns casos a causar recalques imprevistos em obras vizinhas. Além disso, o processo de retirada de água pode gerar problemas com o ambiente como por exemplo, o fenômeno de ruptura hidráulica ao se atingir águas artesianas, aprisionadas entre camadas sobrepostas do subsolo.

Em função disso, é de extrema importância que se acompanhe como o rebaixamento do lençol freático se comporta, para isso segundo Müller (2014) alguns procedimentos que devem ser realizados são:

- Conferência de indicadores de nível d'água e medição de vazão, principalmente através de medidas diretas ou hidrômetros.
- Verificação de transporte de sólidos por meio de caixa de sedimentação, primordialmente no início do processo de rebaixamento.
- Utilização de equipamentos sonoros e elétricos para verificar possíveis interrupções no processo de rebaixamento.

Os rebaixamentos podem variar quanto à duração do funcionamento do sistema, podendo ser de caráter temporário ou permanente. Segundo Grandis (1998), o sistema de rebaixamento temporário é mais comumente utilizado e permanece ativo apenas enquanto se estiver realizando o processo de escavação. Entretanto, Müller (2014)

afirma que em situações específicas como quando se decide combater o efeito de flutuação com o peso da própria estrutura, o rebaixamento deve ser iniciado bem antes e finalizado apenas após o fim da obra subterrânea. Podem-se ainda ocorrer casos especiais em que os sistemas de rebaixamento devam permanecer ativos mesmo após o término da construção, nesses casos se farão uso de rebaixamentos permanentes.

Na escolha do sistema de rebaixamento vários fatores devem ser levados em consideração. Segundo Grandis (1998), alguns desses são o tipo de obra, a altura do rebaixamento e a quantidade de água a ser bombeada, a natureza do aquífero e fontes de percolação e as condições da superfície. Existem vários tipos de sistema de rebaixamento, porém, neste trabalho irá ser comentado apenas sobre os dois principais utilizados no Brasil, ponteiros filtrantes e poços profundos.

3.1 Ponteiros Filtrantes (*Well Points*)

Segundo Müller (2014), na execução desse sistema deve-se a princípio instalar as ponteiros, para isso as mesmas são colocadas em poços perfurados e ligadas a tubos que se prolongam até acima da superfície. Após isso, através de um selo de argila realiza-se o processo de contenção na parte superior do poço.

Com o auxílio de uniões articuladas os tubos verticais são ligados a um tubo coletor e este conectado a um sistema de bombas, que por meio das ponteiros colhe a água do solo. A água captada é então destinada a um local mais adequado por meio de um tubo de descarga. A planta esquemática de locação do sistema pode ser vista na Figura 1.

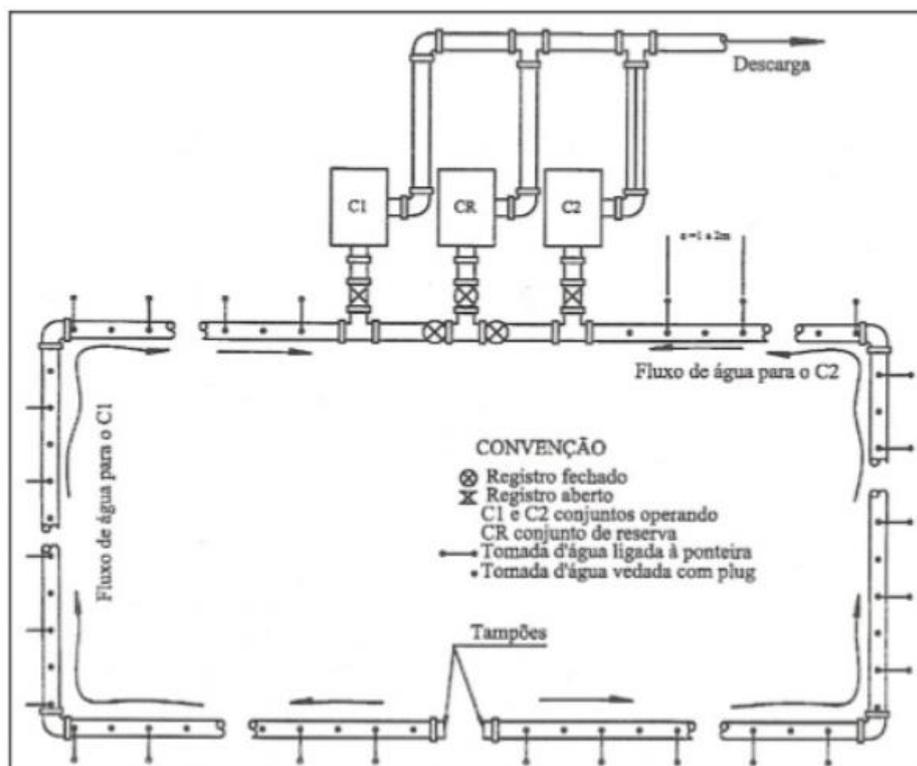


Figura 1 - Planta esquemática de localização do sistema de ponteiros filtrantes

Fonte: Alonso (2007)

Caputo e Caputo (2015) afirmam ainda que para que se diminua satisfatoriamente a influência de uma ponteira sobre a outra as mesmas devem estar espaçadas de pelo menos 15 vezes o diâmetro do tubo a essas conectada. Além disso, as ponteiros devem ser colocadas a uma profundidade um pouco mais baixa do que o ponto mais baixo da escavação.

A desvantagem apresentada para ponteiros é de que as mesmas se tornam limitadas a um rebaixamento máximo de lençol freático em torno de 5m (cinco metros) de profundidade. Assim, para profundidades superiores a isso, são necessários mais de um estágio de ponteiros, o que muitas vezes termina por não ser a solução mais viável.

Já em relação às vantagens tem-se que é um sistema de fácil implementação e baixo custo. Dobereiner e Vaz (1998) dizem ainda que o sistema impede rebaixamentos não planejados em virtude da limitação do rebaixamento do lençol às imediações da linha das ponteiros. Além de que, esse método utilizado evita o carreamento de partículas de solo, e assim uma regressiva erosão interna.

3.2 Poços Profundos

Em virtude da limitação do rebaixamento do lençol freático pelo sistema de ponteiros filtrantes, tem-se como alternativa o sistema de rebaixamento por poços profundos. Esse método pode envolver a utilização de injetores ou de bombas de recalque submersas.

No sistema com utilização de injetores uma tubulação horizontal se conecta a tubos de injeção e através de uma bomba centrífuga a água é injetada sob alta pressão até o injetor, localizado no fundo do poço. Uma água capitada do solo junta-se a água injetada e essas sobem pelo tubo de retorno, sendo este ligado a uma outra tubulação conhecida como coletor geral, que transporta a água a um reservatório. Neste reservatório o nível da água permanece constante e o excesso é direcionado para fora da obra (MÜLLER, 2014).

Dobereiner e Vaz (1998) afirmam que o processo de perfuração dos poços é muito parecido com o aplicado em poços profundos ou tubulares utilizados no abastecimento de água. Ainda segundo ele o sistema com o auxílio de injetores se demonstra vantajoso por não sofrer danos mesmo sem se ter uma quantidade de água suficiente para ser bombeada e por poder trabalhar mesmo com a existência de sólidos na água. A desvantagem é de que são necessários vários poços em virtude da baixa vazão.

Já no sistema com utilização de bombas de recalque submersas a perfuração e a instalação se dão de forma semelhante ao sistema com injetores. Segundo Müller (2014), a retirada da água é feita por um conjunto motor-bomba localizado dentro do tubo filtrante, sendo as bombas ativadas e desativadas por eletrodos ligados ao motor quando esses entram em contato com a água. O sistema pode ser visto na Figura 2.

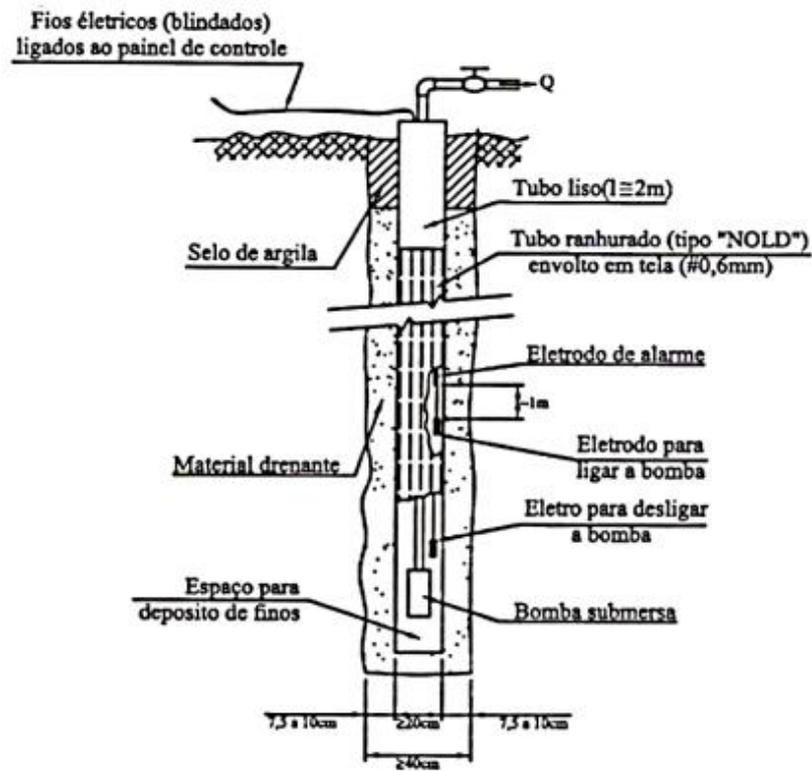


Figura 2 - Seção esquemática de um poço com bomba submersa

Fonte: Alonso (2007)

Dobereiner e Vaz (1998) afirmam que esse método é aplicado principalmente na necessidade de altas vazões e profundidades e para bombeamentos de extenso período de tempo.

4. IMPERMEABILIZAÇÃO

O processo de impermeabilização por vezes é tido como um complemento para o projeto estrutural e apenas após análise de cargas impostas, de contenção da estrutura e de outros condicionantes da obra que se começa a pensar em qual o melhor sistema de impermeabilização que se adaptará aos requisitos existentes, ou se optará por um sistema de drenagem. Entretanto deve-se considerar que problemas relacionados poderão surgir caso não se parta do compromisso de que o sistema de impermeabilização seja integrado a infraestrutura da obra (GUIMARÃES, 2015).

Após conclusão da obra, alguns elementos se encontrarão aterrados, e com isso a correção de possíveis falhas estará muito comprometida. Sendo assim, parte-se do princípio de que a impermeabilização seja planejada com cautela e que dure enquanto o período de vida útil estimado para a construção estiver em vigor. (GABRIOLI; THOMAZ, 2002).

Alguns pontos críticos que merecem atenção especial e devem receber um reforço na impermeabilização são as juntas de concretagem, a emenda entre a parede de contenção e a laje, assim como mudanças de planos e ângulos. (PIRONDI, 1988, p. 200).

Segundo Guimarães (2015) as considerações básicas para realização de uma estanqueidade adequada são:

- Verificar o nível da água e os efeitos causados por este no subsolo, levando em conta variáveis como marés, períodos de chuva, veios artesianos e outros.
- Verificar por meio de estudos detalhados a forma pela qual a estrutura será impermeabilizada, ou seja, se será realizada usando de um sistema de pressão positiva ou negativa.
- Corrigir ou validar processos de acordo com as interfaces encontradas.
- Determinar, de acordo com as características e processos envolvidos na obra, os materiais e sistemas mais adequados à realidade local.
- Estudar os processos construtivos de contenções, fundações e laje de subpressão, analisando a forma como será realizado o rebaixamento do lençol freático

Em paredes de contenção os tipos de soluções de impermeabilização são divididos em função do lado em que essa impermeabilização será feita. Se a impermeabilização ocorrer pela face em contato com o solo (face externa) serão Sistemas de Pressão Positiva e nesse caso, a impermeabilização terá como objetivo não só prevenir infiltrações mas também proteger a estrutura contra a ação da água. Já se a impermeabilização ocorrer pela face oposta ao solo (face interna) serão Sistemas de Pressão Negativa e nesse caso, não protege a estrutura, evitando apenas que ocorra infiltração na cortina.

4.1 Impermeabilização com Pressão Positiva

4.1.1 Mantas e Membranas Asfálticas

As mantas são produtos pré-fabricados feitos por processos como extensão e calandragem, cujas características são bem definidas. São ainda produtos impermeabilizantes flexíveis e possuem estruturante interno recoberto por composto asfáltico nas faces.

Já as membranas asfálticas são sistemas em camadas sobrepostas de asfalto interpostas por um estruturante cuja função é apenas atender aos esforços de tração e cisalhamento, não tendo esse estruturante participação direta no processo de impermeabilização .

Para uma ligação efetiva das camadas de asfalto é importante que em alguns pontos o feltro asfáltico seja atravessado por asfalto quente. (GABRIOLI; THOMAZ, 2002).

4.1.2 Membranas Especiais de PEAD

Há ainda a possibilidade de formar um bloqueio impermeável por meio de membranas especiais de PEAD que agindo com um gel adere ao concreto. Por meio dessa adesão previne-se que alguma perfuração do sistema venha a se tornar um caso de infiltração.

4.2 Impermeabilização com Pressão Negativa

4.2.1 Argamassa Impermeável

Nesse tipo de argamassa, além da utilização de cimento e areia, recorre-se também a aditivos químicos para que se garanta a função de impermeabilização. A argamassa impermeável mais difundida é a argamassa polimérica. Entretanto, esse tipo de sistema não é de fácil aplicação e depende de alguns fatores para dar certo como mão de obra especializada na execução e utilização de um cimento adequado para que reações de hidratação sejam obtidas.

4.2.2 Cimento Cristalizante

Trata-se de um tipo de solução que envolve cimento e aditivos químicos minerais que, quando saturados com água no concreto, cristalizam e fecham os poros do substrato, conferindo aos capilares do concreto características de baixa passagem osmótica (LONZETTI, 2010).

Isso funciona da seguinte maneira, ao interagir com a água esses cimentos cristalizantes formam um gel que adentra na porosidade do substrato e se transforma em cristais insolúveis, que irão conferir uma maior impermeabilização e conseqüentemente maior durabilidade para a estrutura. Vale salientar que esses não devem ser utilizados em argamassa incorporadas com cal ou estruturas passíveis de fissuração (SILVEIRA, 2001).

4.2.3 Injeções no Concreto

Essa solução é utilizada pela injeção de materiais no concreto, como mostrado na Figura 3, principalmente para correção de locais específicos com indicação de aberturas de fissuras e jatos de água. Segundo Cunha e Neuman (1979, p. 199) existem dois tipos de injeção: a primeira em que se faz uso de resinas sintéticas reativas, do tipo Epóxi, para atuar em processos de impermeabilização onde não se tenha infiltrações com grande movimentação de água ou elementos construtivos que não ofereçam condições de aderência, e a segunda em que se veda a infiltração de fora para dentro pela injeção, no lençol freático, de materiais que se tornarão uma pasta elástica e

pegajosa. Essas soluções são bem custosas, mas tem sido adotadas frente às patologias que vem surgindo e necessitam de correção.



Figura 3- Impermeabilização por injeção de materiais no concreto

Fonte: Seminário Nacional de Grandes Barragens (2015)

4.2.4 Resinas Epoxídicas

Trata-se de uma solução constituída por materiais poliméricos termoendurecíveis com características de rigidez, impermeabilidade e resistência que não podem ser utilizados com a base saturada, mas necessitam de cura prévia do concreto do substrato. Para realização da impermeabilização é preciso ainda que o rebaixamento permaneça ativado por todo o processo. (GUIMARÃES, 2015).

5. CONCRETAGEM

Resistência à compressão axial de projeto (f_{ck}) e trabalhabilidade são características fundamentais na qualidade de um concreto. Entretanto, apenas esses dois quesitos não são suficientes para garantir que o mesmo tenha um bom desempenho, principalmente em casos especiais como a laje de subpressão.

Patologias nesse tipo de laje acontecem após o sistema de rebaixamento do lençol freático ser desligado e a água do lençol dar início a uma pressão hidrostática na estrutura. A fim de suportar a ação da água, estudos detalhados quanto a escolha dos materiais envolvidos assim como o processo executivo devem ser pensados com cautela.

Ischakewitsch (2015) afirma que em relação ao cimento o tipo mais indicado é o CP III, visto que, por liberar menos calor, resulta numa menor fissuração por causas térmicas. Para lajes de espessura inferior a 30 cm (trinta centímetros), o CP II-E, que tem menos escória, pode ser utilizado, no entanto, esse não é facilmente encontrado no mercado. Quanto ao CP V-ARI, não há recomendação para seu uso uma vez que favorece o surgimento de fissuras por liberar uma quantidade considerável de calor.

Caso se decida fazer uso do CP III, Ischakewitsch (2015) recomenda ainda que a cura seja feita de forma mais demorada, uma vez que se a água evaporar, não ocorrerá a reação com o clínquer e com isso o hidróxido de cálcio não se encontrará numa quantidade suficiente para reagir com as adições. A evaporação da água de amassamento resultará em fissuras e ainda em um concreto de alta permeabilidade e com esfarelamento superficial.

Já com o CP V-ARI tem-se uma rápida reação do clínquer com a água e grandes quantidades de hidróxido de cálcio são liberadas, reagindo rapidamente com as adições e assim obtendo alto teor de calor de hidratação. Em virtude disso, é muito importante que se realize prontamente e intensamente uma cura e em algumas situações deve-se ainda fazer uso de gelo ou água resfriada no concreto.

5.1 Patologias

Segundo Ischakewitsch (2015) deficiências no concreto armado tem sido responsáveis pela maior parte das patologias que surgem no processo de impermeabilização da laje de subpressão. Algumas causas do surgimento das patologias podem ser associadas a juntas frias de concretagem, fissuras por retração plástica, retração térmica e retração hidráulica e em função do tipo de cimento utilizado e dos processos de cura realizados, esses últimos citados anteriormente.

5.1.1 Juntas Frias de Concretagem

Essas juntas se caracterizam por serem trechos em que o concreto possui diferença de idade. A emenda entre esses concretos se torna um local com grandes chances de infiltração, visto que a rugosidade e a aderência entre o concreto novo e o existente não é assegurada. Além da infiltração, as juntas frias trazem outros problemas como aceleração da corrosão das armaduras e diminuição da resistência ao cisalhamento e deslocamentos.

5.1.2 Fissuras por Retração Plástica

Essas fissuras ocorrem em função de alto calor, baixa umidade relativa do ar, ventos fortes, dentre outros motivos. A retração ocorre em virtude da evaporação da água pelo processo de exsudação antes do início da “pega”. Um exemplo desse fenômeno pode ser observado na Figura 4.

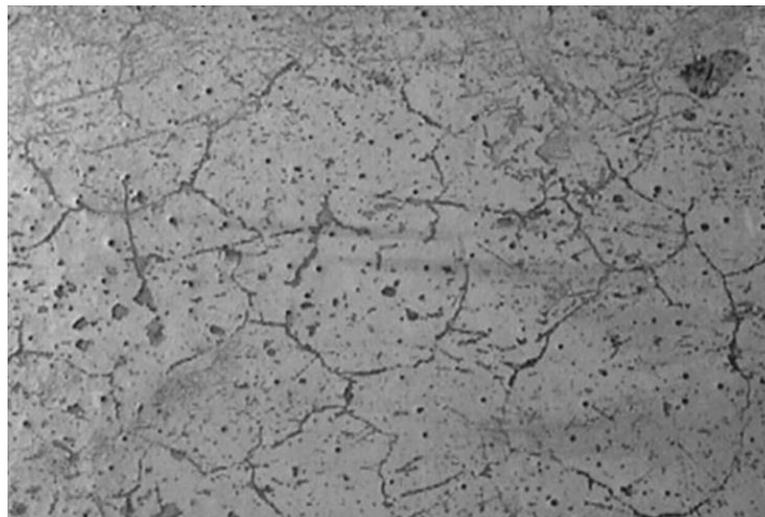


Figura 4- Fissura por retração plástica

Fonte: Mehta e Monteiro (2008)

5.1.3 Fissuras por Retração Térmica

Essas fissuras ocorrem geralmente nas primeiras idades pós concretagem em que, a princípio, a estrutura de concreto se dilata em virtude do calor liberado na reação de hidratação do cimento em contato com a água e das condições ambientais no entorno, e posteriormente passa por um processo de resfriamento e tende a se retrair. Um exemplo desse fenômeno pode ser visto na Figura 5.

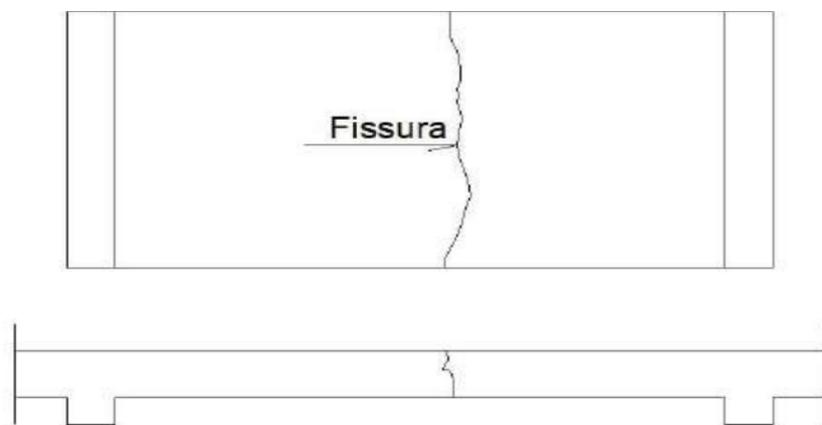


Figura 5- Fissura em laje por retração térmica

Fonte: Carasek; Cascudo (2013)

5.1.4 Fissuras por Retração Hidráulica

Essas fissuras também ocorrem em virtude da perda de água, mas diferentemente da retração plástica, essa perda ocorre com o material já endurecido. Ocorrem quando se adiciona ao concreto mais água que o recomendado, ou por algum motivo a água ainda não se encontrar totalmente ligada ao concreto.

Assim, segundo Guimarães (2015) algumas medidas fundamentais a serem tomadas são:

- Realizar um estudo prévio para definir os materiais a serem utilizados na concretagem e como esses serão aplicados, o que inclui a dosagem do concreto e escolhas dos tipos de aditivo e cimento. Em virtude das grandes espessuras da laje de subpressão, recomendam-se utilizar, no processo de dosagem, aditivos plastificantes, diminuição de fator água/cimento e até o uso de gelo.
- Determinar planos de concretagem e como serão realizadas as emendas, caso necessário, seja pela utilização de resinas epoxidicas, fitas hidro expansivas ou outras maneiras, assim como a realização de ações básicas como lavagem e limpeza da camada superficial.
- Evitar fatores como curtos espaçamentos entre armaduras e existência de água, mesmo com o sistema de rebaixamento ativo, que venham a dificultar o lançamento do concreto.
- Evitar que as barras da armadura se movimentem e saiam da posição prevista durante a concretagem, para que a armadura permaneça desempenhando sua função adequadamente.
- Realizar testes de abatimento no concreto antes do seu lançamento para que se faça uma verificação isenta de plasticidade.
- Ter cuidado com as curas realizadas a fim de se evitar efeitos indesejados do calor de hidratação.

Em síntese, sabendo-se dos efeitos indesejados que o surgimento de patologias causa em uma laje de subpressão e da complicação em corrigi-las, e que boa parte dessas patologias ocorre durante o processo executivo, deve-se procurar atender às

recomendações para se ter um concreto de boa qualidade por meio de uma concretagem adequada. Para isso, é fundamental que se contrate um profissional experiente no assunto e este acompanhe e controle todo o processo, tomando medidas como as apresentadas anteriormente.

6. PROJETOS

O processo de construção de uma laje de subpressão necessita ser planejado de forma que o projeto estrutural, a execução da estrutura e demais serviços envolvidos não apresentem falhas e estejam funcionando em plena harmonia.

Um cuidado especial deve ser dado ao projeto estrutural, pois esse representa o início do ciclo construtivo e erros nessa etapa, além de bem onerosos, podem ser também de difícil solução, uma vez que podem ser encontrados com a obra já bem avançada ou até com a mesma já entregue. Vale salientar ainda que é impossível estabelecer um padrão para a laje de subpressão, pois assim como outras partes da estrutura, essa também apresenta características específicas.

Algumas incoerências no projeto estrutural podem estar associadas a erros na determinação da subpressão e inconformidades na análise estrutural e elaboração do projeto.

6.1 Determinação da Subpressão

Esses erros estão associados a um subdimensionamento da estrutura em função da pressão hidrostática que a água presente no solo saturado aplica sobre parte dessa estrutura que se encontra mais profunda que o lençol freático do terreno. Muitos podem ser os motivos que levam a esses erros, como relatórios de sondagem e desenhos de implantação de arquitetura em que o nível do lençol não foi colocado ou foi colocado de forma equivocada, e a presença de terrenos com inclinação, o que resulta em diferentes níveis de lençol freático. Outro motivo pode ainda ser associado a uma interpretação inadequada dos dados existentes, isso se dá, por exemplo, quando não se levam em conta as variações no lençol em virtude de chuvas, alterações de marés e rebaixamentos em áreas vizinhas (PINTO, 2016).

6.2 Análise Estrutural e Elaboração do Projeto Estrutural

O projeto de uma estrutura deve ser elaborado de forma a evitar ineficiência, desperdícios e possíveis falhas e primar pela durabilidade, funcionalidade e segurança da estrutura. Assim, para que se tenha um comportamento satisfatório de uma laje de subpressão em serviço, uma análise minuciosa deve ser realizada para uma série de fatores que atuam de forma isolada ou simultânea.

Além da sobrecarga da própria estrutura, devem ser levados em conta outros fatores como a pressão hidrostática causada pela água do solo saturado, a ação produzida pelo maciço de terra em contato com a estrutura e a influência das estruturas vizinhas.

Segundo Pinto (2016) no momento da elaboração do projeto estrutural deve-se ainda haver um cuidado para que fissuras em paredes, vigas e lajes não sejam maiores que 0,2 mm e assim se tenha um controle da estanqueidade. Para que isso ocorra, devem-se evitar rótulas ou plastificações entre paredes e lajes do subsolo e adotar algumas medidas como:

a) Evitar juntas de dilatação

Isso se deve ao fato de que estruturas em contato com o solo saturado possuem uma elevada inércia térmica, o que impede alterações térmicas, e a vedação dessas juntas não se demonstra muito satisfatória.

b) Antever em projeto juntas de concretagem

Isso deve ser realizado, quando necessário, para que as juntas de concretagem permitam que haja retração hidráulica do concreto. Além disso, deve-se também prever adequadamente as “esperas” das armações.

c) Armaduras devem respeitar os limites impostos

Para que isso ocorra, o dimensionamento e detalhamento das armaduras devem ser pensados para que a estrutura se comporte de forma contínua. Dessa forma, especial atenção deve ser dada para mudanças de plano e esperas utilizadas em fases da concretagem. A Figura 6 mostra como é um detalhamento incorreto, em que a armadura não acompanha as mudanças de plano, gerando pontos em que há concentração de tensão. A Figura 7 mostra como a armadura deve acompanhar as mudanças de plano.

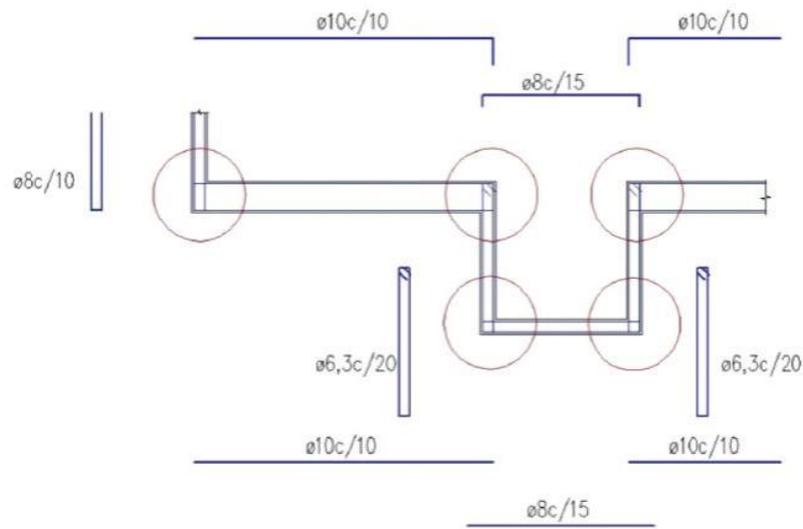


Figura 6- Detalhamento incorreto de armaduras

Fonte: Pinto (2016)

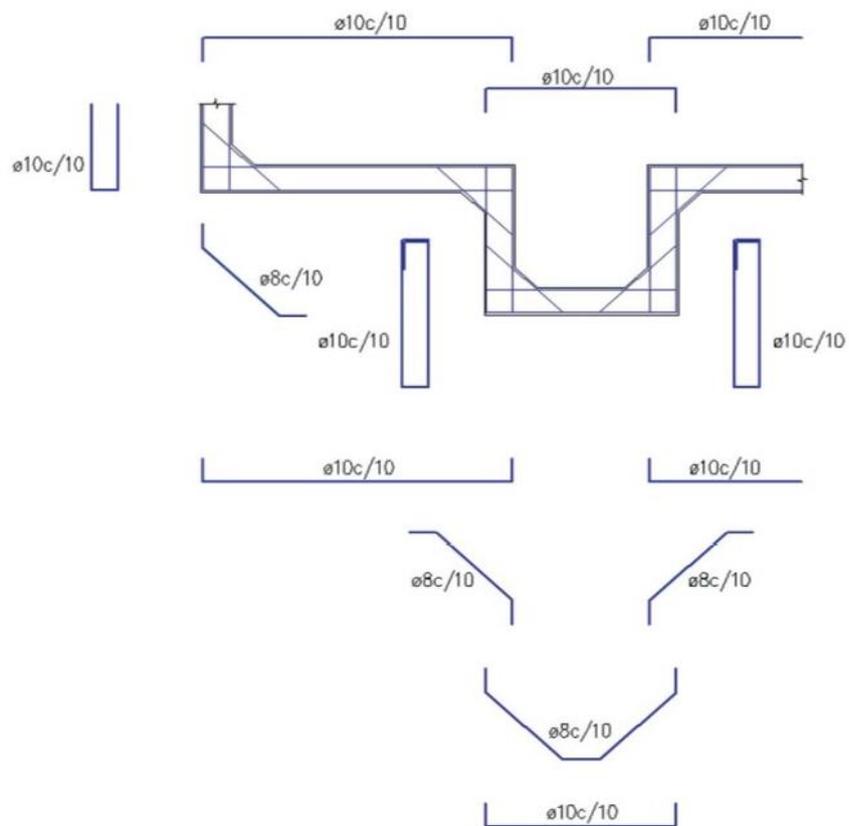


Figura 7- Detalhamento correto de armaduras

Fonte: Pinto (2016)

Ainda de acordo com Pinto (2016) outras recomendações para projeto são:

- Superdimensionar a estrutura a fim de que lajes, vigas e paredes sofram menores tensões no aço e no concreto, tornando a concretagem mais fácil de se executar e reprimindo a abertura de fissuras.
- Controlar rigorosamente o posicionamento das armaduras. Para isso, o projeto deve conter várias anotações nos desenhos de detalhamento das armações.
- Buscar evitar sempre que possível convergir tensões nos encontros de paredes com lajes pela adoção de mísulas.

Além disso, o projeto deve prever considerações a serem seguidas, como a determinação de especificações dos materiais e de critérios de durabilidade. Algumas das especificações são o tipo de aço a ser utilizado e a tensão de escoamento e módulo de elasticidade do mesmo, assim como a classe do concreto e qual o *slump* a ser atendido. Já alguns critérios de durabilidade se referem ao tipo de ambiente e à agressividade ambiental, ao risco de deterioração e ao cobrimento de concreto utilizado nas peças estruturais.

7. ANÁLISE DAS OBRAS

Neste capítulo serão analisadas diferentes situações que foram acompanhadas durante a fase de execução em três obras na cidade de João Pessoa, Paraíba, no período de junho a setembro de 2019. Foram escolhidas duas obras em que o subsolo da edificação foi protegido da ação da água por meio de laje de subpressão, e uma obra em que para combater a ação da água se fez uso de um sistema permanente de drenagem.

7.1 Obra A

7.1.1 Descrição da obra

A obra trata-se de um edifício residencial multifamiliar de alto padrão localizado no bairro do Cabo Branco. Além de térreo, pavimentos tipo e cobertura, a edificação conta ainda com um subsolo, tendo este 3m (três metros) de altura. O subsolo encontra-se abaixo do nível do lençol freático e para combater a ação da água optou-se pela utilização de uma laje de subpressão.

Para a contenção na obra utilizou-se estaca hélice contínua em um dos lados, aproveitou-se a contenção da edificação vizinha já existente em outro lado e fez-se uso de paredes de concreto armado nos outros dois lados. O subsolo contou ainda com uma fundação em sapatas e vigas baldrame como pode ser visto na Figura 8. Para a parede de concreto utilizou-se uma contenção provisória de alvenaria, que posteriormente foi utilizada também como fôrma como mostrado na Figura 9. Além dessas, outra consideração feita foi de que as ancoragens estivessem ligadas às estacas, fazendo com que os esforços transmitidos para essas estacas fossem distribuídos por meio de vigas de coroamento.

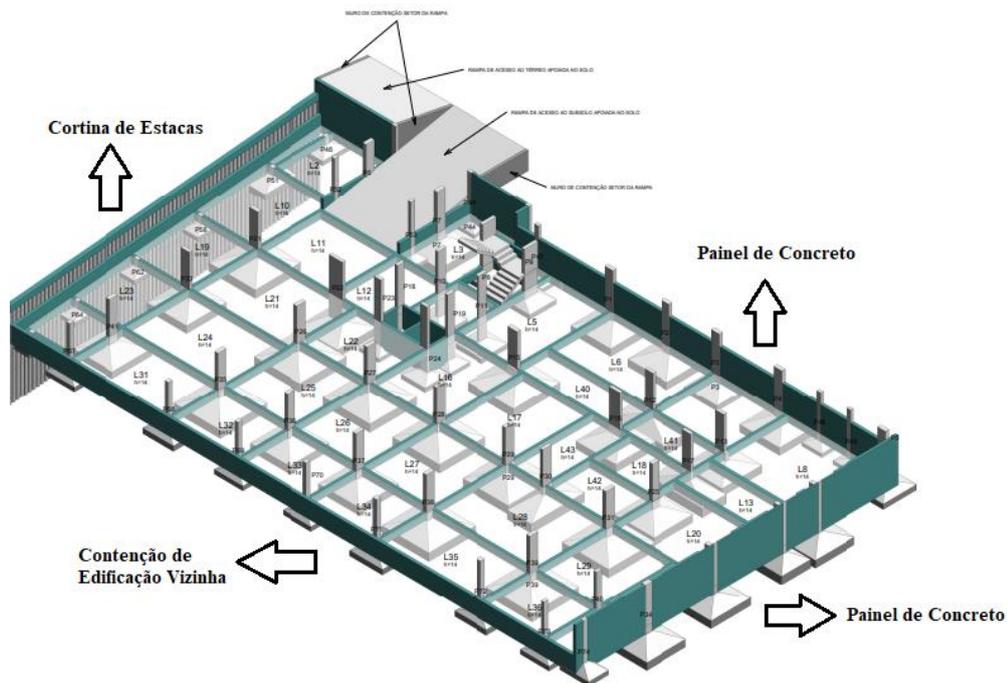


Figura 8- Subsolo em 3D com contenções, sapatas e vigas baldrame

Fonte: do Autor (2019)



Figura 9- Armadura de viga-parede utilizando alvenaria como fôrma

Fonte: do Autor (2019)

7.1.2 Rebaixamento do lençol freático

Nessa edificação apenas algumas sapatas se encontravam localizadas um pouco abaixo do nível do lençol freático, estando este a 2,70m (dois metros e setenta centímetros) quando medido. Assim, realizaram-se estudos a fim de suspender essas sapatas e com isso dispensar a necessidade de se fazer grandes rebaixamentos. A solução adotada foi de que as sapatas seriam suspensas e as vigas baldrame da estrutura passariam por dentro destas.

Em virtude disso, o rebaixamento foi necessário apenas para o poço do elevador, que representa a cota mais profunda do terreno, com o auxílio de ponteiras filtrantes. O rebaixamento realizado teve funcionamento de caráter temporário, permanecendo ativo apenas enquanto se realizava a obra subterrânea.

7.1.3 Considerações de Projeto

Na elaboração do projeto da laje de subpressão foram feitas algumas considerações a serem seguidas:

- Classe de agressividade ambiental:
 - Classe III (Forte – Marinha / Industrial).
- Relação água/cimento em massa (a/c) (a ser validado pelo tecnologista do concreto):
 - $a/c \leq 0,55$
- Classe de concreto:
 - Classe \geq C40 – $F_{ck} \geq 40$ Mpa
- Cobrimento das armaduras (com controle rigoroso de execução):
 - Lajes: armadura base = 3 cm
 - Fundação, pilares, vigas e escadas: armadura base = 3,5 cm
- Categoria do aço:
 - CA-50, CA-60
 - $F_{yk} = 500$ MPa, 600 Mpa
- Limites para fissuração e proteção das armaduras:
 - ELS-W – $w_k \leq 0,3$ mm

- Vida útil de projeto (VUP) – Estrutura:
 - ≥ 50 anos

7.1.4 Execução

A concretagem foi feita para uma laje de 70 cm (setenta centímetros) de espessura e no total foram utilizados cerca de 500 m³ (quinhentos metros cúbicos) de concreto. A concretagem teve duração total em torno de dez horas e foi realizada de uma só vez, a fim de se evitar juntas que pudessem vir a ser pontos falhos para invasão da água, mesmo sabendo-se que existem tratamentos para essas juntas como a utilização de fitas hidroexpansivas.

Entretanto, trabalhando a laje toda em um único lance de concretagem, perdeu-se área para estocagem de material e para canteiro. Assim, teve-se que espremer o canteiro e utilizar um local de apoio próximo a obra para atividades como alimentação dos trabalhadores. Além disso, a estocagem de material concentrou-se toda em um lado e a medida que a ferragem do outro lado ia ficando pronta, o material era realocado.

Um ponto importante observado foi a correta compactação do solo e utilização do concreto magro, como mostrado na Figura 10, a fim de impedir que os espaçadores afundassem e a ferragem se deslocasse.



Figura 10- Armadura da laje sobre concreto magro, com espaçadores plásticos

Fonte: do Autor (2019)

Durante a execução, observou-se ainda cuidadosamente como o concreto se comportava quanto a falhas, quanto a perda de água e se estava tudo homogêneo, desde o lançamento, mostrado na Figura 11, até o endurecimento. Quanto ao resfriamento da laje, não foi necessário pois se tratava de uma seção pequena e não iria ser lançado concreto em cima dela, uma vez que a mesma iria ser concretada de uma só vez.

Em relação à cura, manteve-se, seguindo recomendação, uma lâmina de água sobre o concreto por 7 (sete) dias como mostrado na Figura 12, a fim de evitar problemas decorrentes da perda de água por calor e vento e permitir que o concreto ficasse hidratado em todos os pontos.



Figura 11- Lançamento do concreto

Fonte: do Autor (2019)



Figura 12- Cura úmida do concreto

Fonte: do Autor (2019)

7.1.5 Impermeabilização

Para combater as ações da água no subsolo foi utilizado um aditivo para impermeabilização por cristalização integral, sendo esse adicionado ao concreto no momento de sua produção.

7.1.6 Problemas

A captação e o destino da água pluvial que vem da rampa não foram previamente pensados, em virtude disso, a solução adotada foi realizar uma pequena abertura na rampa para receber a água e com o auxílio de bombas redirecionar o fluxo de água para fora.

Até o presente momento, já com a laje concluída, não foi observada a presença de água do lençol freático invadindo o subsolo, apenas água de caimento direto da chuva. Além disso, não se tem observado problema algum com fissuras, o que não quer dizer que alguma possa vir a surgir em algum momento, por isso a estrutura deve estar constantemente sob observação.

7.2 Obra B

7.2.1 Descrição da obra

A obra trata-se de um edifício residencial multifamiliar de alto padrão localizado no bairro do Cabo Branco. Além de térreo, pavimentos tipo e cobertura, a edificação conta ainda com um subsolo, tendo este 4,5m (quatro metros e meio) de altura. Assim como na Obra A, o subsolo encontra-se abaixo do nível do lençol freático e também fez uso de uma laje de subpressão para combater a ação da água.

Como a princípio não se tinha boa contribuição do peso da edificação para neutralizar o empuxo da água, a laje tinha que ser feita de forma tal que o peso próprio da mesma fosse suficiente para combater essa pressão vinda de baixo para cima. O valor

para isso, entretanto, era tão alto e custoso que decidiu-se aumentar um pouco mais a espessura da laje e assim, utiliza-la também como fundação. A laje e fundação em radier de concreto armado pode ser vista na Figura 13.

Além disso, a contenção na obra foi feita com estacas hélice contínua em torno de todo o terreno, como pode ser visto na Figura 14. Para a parede de concreto foram utilizadas fôrmas em madeira.

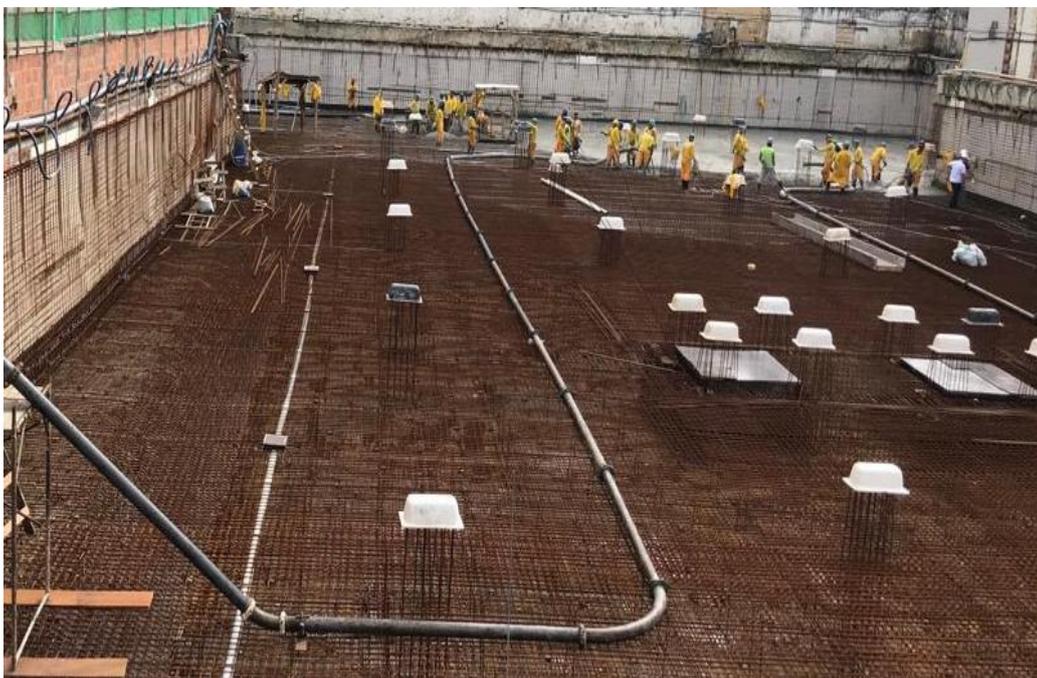


Figura 13- Laje e fundação em radier de concreto armado

Fonte: do Autor (2019)

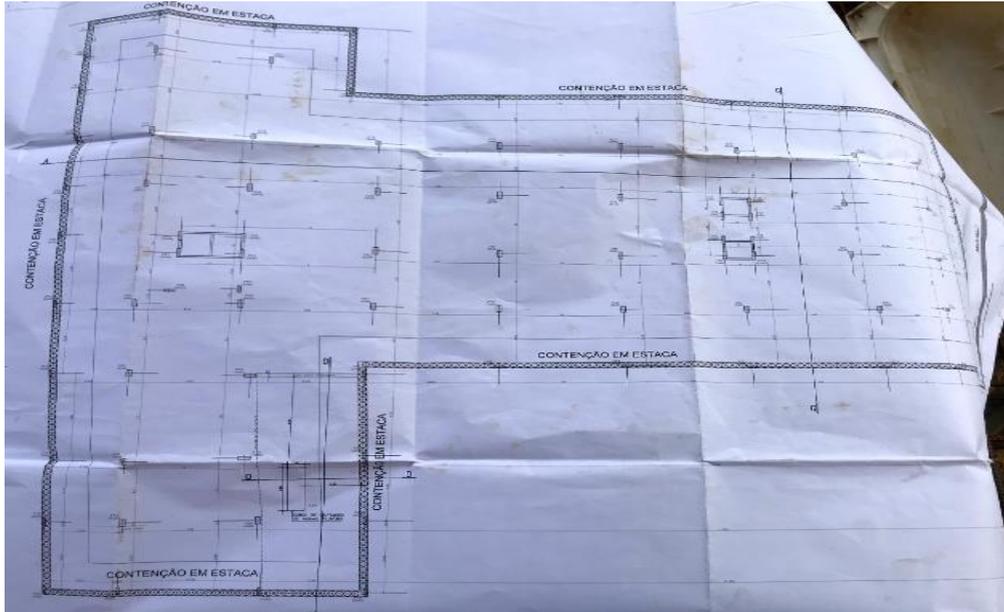


Figura 14- Contenção em estacas hélice contínua

Fonte: do Autor (2019)

7.2.2 Rebaixamento do lençol freático

O rebaixamento realizado foi feito para um lençol freático a 2,80m (dois metros e oitenta centímetros) do nível da rua, quando medido. O rebaixamento foi feito por ponteiros filtrantes, como mostrado na Figura 15 e teve caráter temporário, estando ativo apenas na realização da obra subterrânea.



Figura 15- Rebaixamento por ponteiros filtrantes

Fonte: do Autor (2019)

7.2.3 Considerações de Projeto

Na elaboração do projeto da laje de subpressão foram feitas algumas considerações a serem seguidas:

- Ações e Segurança
 - Concreto – peso normal e resistência moderada – massa específica 2500 kg/m³
 - Alvenaria de vedação – bloco cerâmico vazado – massa específica 1400 kg/m³
 - Revestimento de piso – 1.00 kN/m²
 - Sobrecarga de uso residencial – 1.80 kN/m²
 - Sobrecarga de garagem – 4.00 kN/m²
 - Coeficiente de impacto de carga móvel – 1.20
- Critérios de durabilidade
 - Agressividade ambiental – classe II
 - Nível de agressividade – moderado
 - Tipo de ambiente – urbano
 - Risco de deterioração – pequeno
- Concreto
 - Fator água cimento (a/c) < 0.50
 - Classe: C35
 - *Slump*: Entre 80 e 120 mm
- Cobrimento de Concreto
 - Lajes – 2,0 cm
 - Vigas e Pilares – 2,5 cm
 - Fundações – 3,0 cm
- Limites para fissuração e proteção das armaduras:
 - Fissuração – $W_k < 0.30$ mm
- Especificação dos Materiais
 - Módulo de elasticidade secante: $E_s = 26$ Gpa
 - Aço: CA50 e CA60
 - Tensão de escoamento: 500 MPa a 600 MPa

7.2.4 Execução

A concretagem foi feita como mostrado na Figura 16 para uma laje com cerca de 1m (um metro) de espessura, sendo utilizados para isso em torno de 1800 m³ (mil e oitocentos metros cúbicos) de concreto. A concretagem da laje seguiu recomendação e foi realizada de uma só vez, e para isso, foi pensada e realizada toda uma logística envolvendo concreteira, empregados e demais envolvidos.

No concreto utilizado também foram adicionados fibras e gelo. Macrofibras foram empregadas com a finalidade principal de melhorar a propriedade de resistência à tração, enquanto as microfibras foram principalmente utilizadas a fim de controlar a fissuração gerada por retração do concreto. Já o gelo foi utilizado no concreto a fim de evitar a ocorrência de possíveis fissuras de origem térmica, problema frequente em peças de grandes dimensões. Ademais, durante a concretagem, fez-se uso de sensores dentro do concreto a fim de se ter um controle sobre a temperatura.

A cura foi feita conforme recomendação técnica. Primeiramente foi realizada uma cura química a fim de se ter uma melhoria no processo de hidratação e evitar fissuras por retração plástica e ter um ganho na resistência superficial. Posteriormente realizou-se uma outra cura, deixando uma lâmina de água sobre o concreto por sete dias.

A fim de impedir que espaçadores afundassem e a armadura se deslocasse, o solo foi devidamente compactado e em seguida foi feita uma camada de concreto magro. Além disso, as armaduras em mudanças de plano foram corretamente utilizadas, como pode ser visto na Figura 17.

Para combater o surgimento de patologias motivadas pela movimentação das peças estruturais, seja em virtude de diferenças térmicas ou da combinação de carregamentos, foi utilizado isopor entre as estacas e a parede de concreto.



Figura 16- Concretagem de laje de subpressão

Fonte: do Autor (2019)



Figura 17- Armaduras em mudanças de plano

Fonte: do Autor (2019)

7.2.5 Impermeabilização

Para impermeabilização fez-se uso de um aditivo que funciona por cristalização integral, sendo esse aditivo já adicionado ao concreto que vem da usina.

Além disso, visto que a laje e as paredes de concreto não seriam concretados em conjunto e que as emendas entre essas peças estruturais são pontos críticos para infiltração, optou-se pela utilização de fitas hidroexpansivas e de manta asfáltica, mostradas respectivamente nas Figuras 18 e 19. A fita hidroexpansiva é um composto

de selamento muito utilizado para evitar problemas de infiltração em juntas de construção e além do uso nas emendas entre laje e paredes a fita foi usada também nos poços dos elevadores. Já a manta é um produto impermeabilizante flexível, mas que no caso das emendas não necessariamente precisaria ser utilizado, servindo apenas como um reforço.



Figura 18- Fita hidroexpansiva em emenda de laje com parede de concreto

Fonte: do Autor (2019)



Figura 19- Manta asfáltica em emenda de laje com parede de concreto

Fonte: do Autor (2019)

7.2.6 Problemas

Além do subsolo, o piso do térreo também está localizado abaixo do nível da rua, assim, existem dificuldades quanto ao destino de parte da água pluvial e parte da água de esgoto. Em virtude disso, houve a necessidade de poços de captação de água pluvial para a água que desce da rampa e das demais áreas abaixo do nível da rua e necessidade de uma elevatória de esgoto para recalcar parte do esgoto que não consegue sair, sendo este encaminhado para a rede de esgoto da rua.

A fim de evitar a necessidade de se escavar ainda mais o terreno, os poços de captação foram alocados no mesmo espaço destinado aos poços de elevador, como mostrado na Figura 20.

Até o momento não foram encontrados problemas de infiltração, estando a estrutura visualmente ausente de fissuras e demais patologias, porém, é preciso que a laje esteja sempre sendo observada.

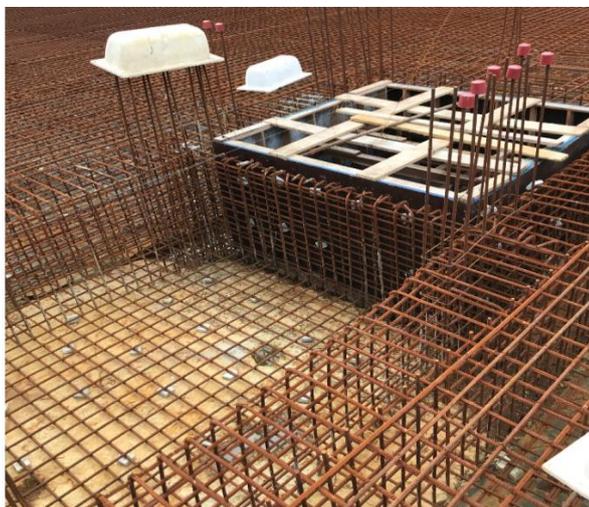


Figura 20- Espaço destinado a poço de elevador e poço de captação de água pluvial

Fonte: do Autor (2019)

7.3 Obra C

7.3.1 Descrição da obra

A obra trata-se de uma edificação residencial de alto padrão à beira-mar localizada no bairro do Cabo Branco. Assim como os outros casos apresentados, a edificação também é constituída de subsolo, térreo e pavimentos tipo, sendo o subsolo abaixo do nível do lençol freático. Entretanto, diferentemente dos casos anteriores, em que foram utilizadas lajes de subpressão para neutralizar as ações indesejadas da água do subsolo, nessa obra fez-se uso de um sistema de drenagem que será melhor explicado adiante.

7.3.2 Funcionamento do Sistema

O projeto de drenagem é relativamente simples. O sistema possui um conjunto de tubulações com caimento direcionado para um reservatório, sendo este calculado pelo projetista de acordo com os requisitos necessários. No reservatório existe um sistema com duas bombas que funcionam alternadamente a cada 15 (quinze) dias e cujas especificações são determinadas em projeto. Esse sistema possui chaves boia e assim, toda vez que se chega em um limite, também determinado em projeto, o sistema joga a água para fora.

O tanque de captação, representado na Figura 21, deve conter:

- Bomba-01
 - Centrífuga Submersível SCHNEIDER BCS-220 (0,5CV) Trifásica
 - Recalque 2”
 - Altura manométrica = 5,35 m.c.a
 - Vazão = 16,10 m³/h
 - Volume esgotável = 7,00 x 2,70 x 1,00h = 18,90 m³
 - Tempo recalque 1º evento = 70,43 min

- Bomba-02
 - Centrífuga Submersível SCHNEIDER BCS-220 (0,5CV) com os mesmo dados técnicos da Bomba-01.

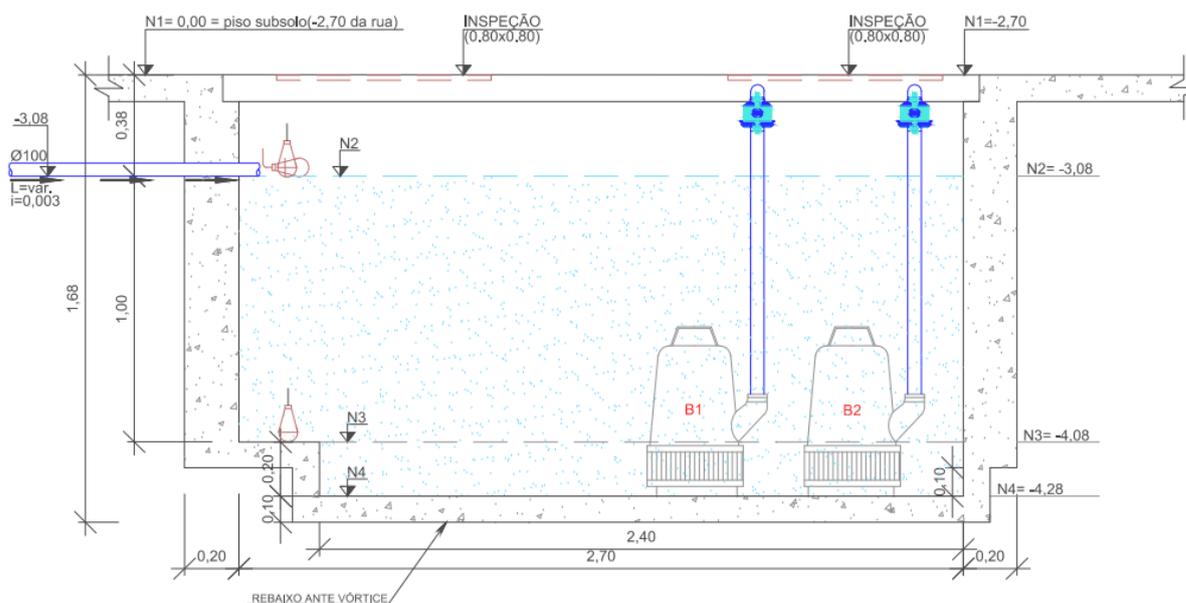


Figura 21- Tanque de captação de águas pluviais

Fonte: do Autor (2019)

Como dito anteriormente, trata-se de um projeto relativamente simples, entretanto, deve ser feito com muito cuidado, a fim de obedecer aos desníveis e se direcionar de fato a água para o reservatório. Para garantir o caimento correto da água como representado na Figura 22, existem cotas de altura de entrada e de saída dos tubos envolvidos no processo.

Os tubos de drenagem são tubos furados que ficam no meio de valas especificadas. Para favorecer a questão da filtragem o conjunto e as camadas envolvidas (piso de concreto alisado, reaterro, brita fina, brita média e colchão de areia) são apresentados como no detalhe da Figura 23 e acrescenta-se ainda uma manta geotêxtil a fim de melhorar as propriedades de drenagem.

Na ocorrência de obstrução da tubulação a manutenção pode ser realizada através de manilhas pré-moldadas, que funcionam como pontos de visita.

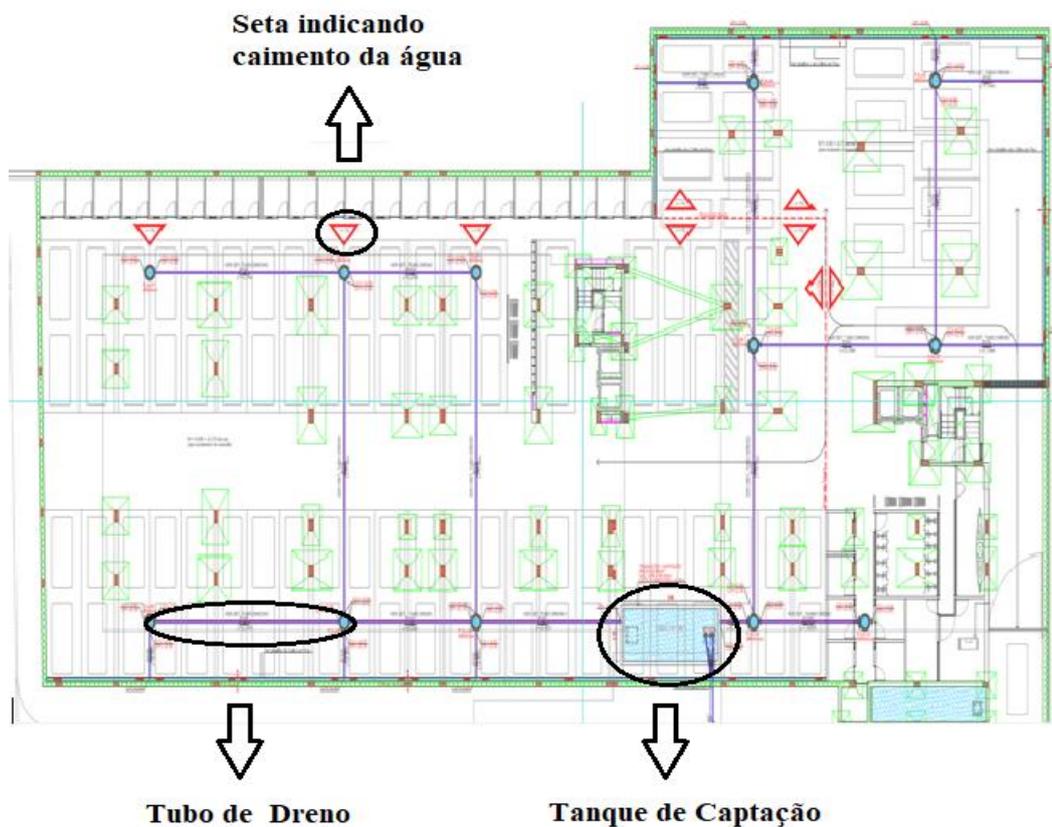


Figura 22- Projeto de drenagem de águas pluviais – planta baixa do subsolo

Fonte: do Autor (2019)

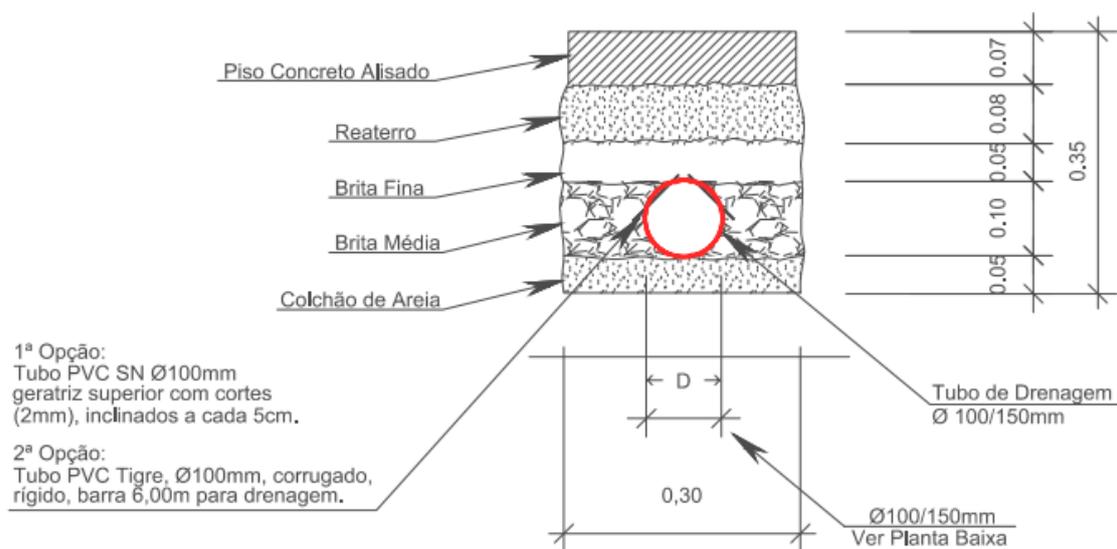


Figura 23- Detalhe de tubo de dreno

Fonte: do Autor (2019)

7.3.3 Problemas e Patologias

O sistema ainda não está totalmente concluído, o que impossibilita afirmar sobre sua eficácia, entretanto, em outras obras da construtora, o mesmo foi aplicado e demonstrou resultado satisfatório, sem o surgimento de problemas e patologias que poderiam vir a comprometer o processo de drenagem, motivo pelo qual optou-se por continuar usando esse sistema de drenagem.

Em virtude do sistema não estar completamente pronto, o mesmo encontra-se impossibilitado de realizar a drenagem de toda a água. Assim, parte da água está sendo direcionada para o tanque de captação de águas e parte está sendo filtrada através de ponteiras.

7.4 Discussão

7.4.1 Uso de Lajes de Subpressão

As obras acompanhadas, assim como a maioria das obras com laje de subpressão em João Pessoa, utilizaram o sistema de rebaixamento por ponteiras filtrantes.

Esse sistema tem se demonstrado o mais propício para as características das obras na cidade, visto que as construções tem geralmente apresentado subsolos com até 5m (cinco metros) de profundidade, com necessidade de rebaixamentos relativamente pouco profundos de lençol freático e por um curto tempo de funcionamento e os subsolos são arenosos, constituídos por areias sobrepostas em camadas de diferentes graus de compactidade .

Além disso, as obras tem ocupado praticamente todo o espaço do terreno, assim, o fato desse rebaixamento ser localizado junto a escavação, atrelado a rápida e fácil instalação e ao baixo custo do processo, também tem contribuído para a escolha desse tipo de sistema de rebaixamento.

Entretanto, como o rebaixamento por ponteiros filtrantes alcança apenas profundidades relativamente baixas, quando se precisar de rebaixamentos mais profundos deve-se recorrer a um rebaixamento por poços profundos.

Em relação a impermeabilização, em João Pessoa, assim como no resto do Brasil, há uma considerável repulsão a adoção de soluções com pressão positiva. Apesar desses métodos serem considerados mais seguros e eficazes por além de evitar infiltrações, também proteger a estrutura contra a ação da água, profissionais do ramo da construção afirmam que o processo se torna impraticável em virtude do alto custo e do atraso na execução da obra por ter que realizar a impermeabilização antes da estrutura.

O tipo de impermeabilização que vem sendo mais utilizado na cidade é o que também foi feito nas obras apresentadas, que faz uso de cimentos cristalizantes incorporados ao concreto, cuja função já foi explicada no tópico sobre soluções com pressão negativa. Essa utilização em grande escala é atrelada a justificativa de que o método se demonstra satisfatório quando executado da forma correta, além de ser menos oneroso e causar menos prejuízos quanto ao tempo de execução da obra.

Entretanto, em alguns casos especiais podem ser exigidos outros elementos de impermeabilização, como foi o caso da obra B, em que fez-se uso de fitas hidroexpansivas nas emendas entre laje e paredes de concreto. Nesse caso, o composto de selamento se expande controladamente ao entrar em contato com a umidade, e se torna um selante para juntas de concretagem.

Quanto a elaboração dos projetos das lajes de subpressão, as obras A e B foram muito bem projetadas, levando em conta os fatores previamente apresentados como sobrecarga da estrutura, pressão da água, ação do maciço de terra e carregamentos de estruturas vizinhas.

Ademais, respeitaram os limites para fissuração e as considerações para se ter uma boa durabilidade da estrutura. Para isso, algumas medidas precisaram ser garantidas como a determinação antecipada de juntas de concretagem, como foi o caso da obra B, e o correto dimensionamento e detalhamento das armaduras, assim como um rigoroso controle sobre o posicionamento das mesmas, a fim de se ter uma estrutura contínua.

Além da existência de juntas de concretagem, outra diferença entre as obras prevista em projeto foi que em uma usou uma fundação em sapatas associada a laje,

enquanto que na outra a própria laje foi utilizada também como fundação. O principal motivo para isso foi em razão da espessura necessária para cada laje e da economia que cada solução traria para as obras, ou seja, para uma laje mais espessa se tornou mais viável usa-la também como fundação e para uma menos espessa se tornou mais viável a outra solução.

Em relação a concretagem, a princípio realizou-se um estudo prévio para a definição dos materiais que seriam utilizados na concretagem, como o tipo de cimento e aditivo e a dosagem do concreto, assim como a forma que esses seriam aplicados. Em ambos os casos, optou-se por fazer a concretagem da laje de uma vez só, a fim de se evitar possíveis pontos críticos de infiltração pela junção de concreto novo e velho. Para isso, houve um grande planejamento, particular de cada construtora, envolvendo a equipe para executar o serviço, a concreteira e a frota de caminhões, profissionais para inspeção, dentre outros.

Na obra B, diferentemente da obra A, utilizaram-se ainda gelo, microfibras e macrofibras no concreto e fez-se um controle tecnológico sobre a temperatura do mesmo. O que não quer dizer que a obra A foi executada de forma incorreta, apenas que a obra B, por ser tratar de uma laje de dimensão muito maior, necessitou de cuidados especiais, os quais foram detalhados anteriormente.

No mais, o lançamento do concreto foi feito de forma correta, sem que barras de armaduras se movimentassem e saíssem da posição prevista, sem a existência de água, e com os planos de concretagem e de realização de emendas bem definidos. Além disso, as curas também foram feitas adequadamente, respeitando os critérios estabelecidos para evitar efeitos indevidos do calor de hidratação.

Tudo isso resultou, até o momento, na execução de lajes de subpressão sem problemas de fissuras plásticas, térmicas, hidráulicas ou de qualquer outro caráter e sem o surgimento de quaisquer patologias que pudessem vir a prejudicar o funcionamento da estrutura.

7.4.2 Lajes de Subpressão x Sistema de Drenagem Permanente

O combate a ação da água em contato com o subsolo de uma edificação pode ser feito através de uma laje de subpressão ou de um sistema de drenagem permanente. A primeira é uma laje estanque que fica em contato direto com o solo e por estar abaixo do nível da água, sofre uma pressão hidrostática aplicada pela mesma. Já o sistema de drenagem trata-se de um processo simples em que a água é direcionada por caimento a um tanque e deste tanque as bombas destinam a água para fora. Essa solução por drenagem permanente, entretanto, é utilizada apenas para escavações relativamente rasas.

A laje, assim como a cortina ligada a ela, deve ser projetada cuidadosamente a fim de que se tenha uma estrutura estanque, sem fissuras e sem deformações. Para isso, há a necessidade de que as estruturas sejam mais espessas, resultando num alto gasto com concreto e com consumo de armaduras. Já o sistema de drenagem, por não estar sofrendo a pressão hidrostática da água, permite que se tenha uma laje menos espessa, resultando em um menor gasto com os materiais utilizados na estrutura. Em contrapartida, há um alto gasto com energia a fim de manter o sistema sempre ativo.

Além do alto gasto com energia, os sistemas de drenagem geralmente tem durabilidade menor do que as lajes de subpressão, necessitando de manutenções em períodos de tempo relativamente curtos. Essas manutenções são um tanto agressivas, pois faz-se necessário quebrar o piso e movimentar o solo. Esses fatores fazem com que, a longo prazo, se torne mais vantajoso a utilização de uma laje de subpressão.

Outras vantagens da construção de uma laje de subpressão é que, se feita logo no início da obra, fica-se com um subsolo seco, ganha-se espaço para armazenamento de materiais e não se tem necessidade de remanejamento de equipes nessa parte quando a obra já estiver sendo finalizada.

8. CONCLUSÃO

8.1 Considerações Finais

Muitas são as consequências causadas pela falta de estanqueidade de subsolos em contato com a água. Os problemas decorrentes, além de difícil solução, podem trazer às construtoras grandes prejuízos financeiros e jurídicos.

O trabalho atingiu seu objetivo geral de abordar de forma detalhada os processos envolvidos na execução de uma laje de subpressão como rebaixamento do lençol freático, impermeabilização da estrutura, elaboração dos projetos e execução da concretagem, a fim de que construtores possam consultar esse material e ter estruturas de concreto impermeáveis com uma quantidade bem mais reduzida de problemas e patologias.

Além disso, a partir da análise das obras acompanhadas foi possível concluir que as mesmas seguiram adequadamente as recomendações apresentadas nesse trabalho e com isso, podem ser utilizadas como exemplos de estruturas seguras e de boa durabilidade.

A partir da comparação entre uma solução que utiliza laje de subpressão e uma que utiliza sistema de drenagem permanente pode-se ainda concluir que essa última se limita a escavações relativamente rasas de subsolo e que, a longo prazo, se torna a solução menos viável em virtude de altos gastos com energia, baixa durabilidade e dificuldade de manutenção.

8.2 Sugestões para Trabalhos Futuros

Sabendo que a utilização de lajes de subpressão está ganhando cada vez mais espaço, seguem algumas sugestões para contribuir ainda mais com o tema:

- Relatar problemas em edificações que não tem a estrutura protegida contra a ação da água a fim de comprovar ainda mais a importância da utilização de lajes de subpressão.
- Realizar um comparativo com a utilização de lajes de subpressão em outras cidades
- Além de aprofundar ainda mais na revisão bibliográfica e em estudos de caso, buscar discutir o tema de forma mais detalhada com projetistas e demais profissionais especializados no assunto.
- Abordar como pode ser aplicado o controle tecnológico nos processos envolvidos na construção da laje a fim de se ter um menor índice de problemas e patologias.

9. REFERÊNCIAS

ALONSO, Urbano Rodriguez. **Rebaixamento Temporário de Aquíferos**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2007

BARBOSA, Rafael Madeira Estevam. **Patologia da Impermeabilização: Aspectos Técnicos e Metodológicos**. 2018. 122 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

CAPUTO, Homero Pinto; CAPUTO, Armando Negreiros. **Mecânica dos Solos e Suas Aplicações**. 7. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2015.

CARASEK, H; CASCUDO, O. **Notas de aula da disciplina de patologia das construções para a turma de engenharia civil**. Universidade Federal de Goiás. Goiânia. 2013.

CORTOPASSI, Renato Salles; OURIVES, Cláudio Neves. **Concreto pode garantir estanqueidade a obras enterradas**. Disponível em:

<https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/concreto-pode-garantir-estanqueidade-a-obras-enterradas_13897_10_0>. Acesso em: 10 set. 2019.

CUNHA, A. G. da; NEUMANN, W. **Manual de impermeabilização e isolamento térmico: como projetar e executar**. 5. ed. ampl. e atual. Rio de Janeiro: Argus, 1979.

DOBEREINER, L. e VAZ, L. F., **Tratamento de Maciços Naturais In Geologia de Engenharia**, Associação Brasileira de Geologia de Engenharia – ABGE, 1 edição, São Paulo, 1998.

GABRIOLLI, J.; THOMAZ, E. Impermeabilização de fundações e subsolos. **Revista Técnica: revista de tecnologia e negócios da construção**. São Paulo, ano 10, n. 67, p. 77-80, out. 2002.

GRANDIS I. **Rebaixamento e Drenagem In Fundações – Teoria e Prática**, 2 Edição, Pini, São Paulo, 1998.

GUIMARÃES, Jacqueline Passamani Zubelli. **Estruturas enterradas sujeitas a ação de lençol freático: o desafio de torna-las estanques**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE IMPERMEABILIZAÇÃO, 14., 2015, São Paulo. Anais... . São Paulo: Ibi, 2015. p. 1 - 13.

ISCHAKEWITSCH, Georg Thomas. **Subsolos em Áreas Litorâneas: Impermeabilização** - Patologia - Experiências no Rio de Janeiro. São Paulo: Pini, 2015.

LONZETTI, Felipe Bischoff. **Impermeabilizações em Subsolos de Edificações Residenciais e Comerciais**. 2010. 61 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

MARANGON, M. **Tópicos em Geotecnia e Obras de Terra**. Apostila do Curso de Tópicos em Geotecnia e Obras de Terra da Universidade Federal de Juiz de Fora, 2004.

MEHTA, P. Kumar & MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 3. ed. São Paulo, IBRACON, 2008. 660p.

MÜLLER, Maria Cristina Nakano. **Rebaixamento de Lençol Freático: Indicações, Métodos e Impactos Decorrentes**. 2014. 84 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2004.

PINTO, Cesar S.. Causas Frequentes de Insucessos na "Materialização" de Subsolos Estanques no que se Refere à Estabilidade da Estrutura. **Revista Estrutura**, São Paulo, p.79-81, 2016.

PIRONDI, Z. **Manual prático da impermeabilização e da isolação térmica**. 2. ed. São Paulo: Pini, 1988.

SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS, 30., 2015, Foz do Iguaçu. **Tratamento de Infiltrações e Selamento Estrutural de Fissuras com os Sistemas de Injeção de em Estruturas de Concreto de Barragens e Usinas Hidrelétricas**. Foz do Iguaçu: Comitê Brasileiro de Barragens, 2015. 16 p.

SILVEIRA, M. A. Impermeabilizações com cimentos poliméricos. **Revista Técnica: revista de tecnologia e negócios da construção**. São Paulo, ano 10, n. 54, p. 108-110, set. 2001.