

ESTUDO DE CASO: Implementação de Laje Subpressão em um Edifício Residencial no Setor Bueno, Goiânia-GO¹

CASE STUDY: Implementation of Underpressure Slab in a Residential Building in Setor Bueno, Goiânia-GO

**Ádrian Magalhães de Almeida²
Micael Fernandis da Silva³
Déborah Vilas Boas dos Passos⁴**

RESUMO

Ao longo das últimas décadas, pode-se observar um significativo crescimento populacional e avanços tecnológicos notáveis na área da engenharia civil, em paralelo a esses fatores, e diante da necessidade de otimização de espaço nas grandes cidades, testemunhamos a verticalização das construções. No entanto, esse tipo de estrutura traz consigo uma infinidade de desafios, especialmente em relação à gestão da água presente no subsolo. A construção de edifícios verticais requer fundações profundas, em que muitas das vezes, ultrapassam o lençol freático. O estudo em questão aborda uma solução para garantir que a água proveniente do subsolo não prejudique a estrutura, trazendo uma laje totalmente estanque, conhecida como laje de subpressão. Esse processo foi acompanhado desde a fase de planejamento até a sua execução. No que diz respeito à impermeabilização, foram utilizadas medidas preventivas como o uso da manta asfáltica nos poços dos elevadores, manta BITUTHENE® 3000 nos blocos de fundação, e a manta preprufe 100S em toda área do subsolo e nas paredes de contenção. Uma vez que a impermeabilização foi concluída e toda a estrutura de aço estava no local previsto em projeto, deu-se início ao processo de concretagem. Este processo recebeu cuidados minuciosos, envolvendo grandes frentes de serviços e realizando diversos ensaios e procedimentos para garantir a qualidade do concreto na obra. Para conferir resistência e características ideais para um bom concreto, foram empregados alguns aditivos como microfibras de polipropileno, aditivo polifuncional, aditivo plastificante e cristalizante.

Palavras-chave: Impermeabilização; medidas preventivas; estanqueidade; área de subsolo;

ABSTRACT

Over the last few decades, significant population growth and notable technological advances in the field of civil engineering can be observed, in parallel to these factors, and given the need to optimize space in large cities, we have witnessed the

¹ Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Inhumas FacMais, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, no segundo semestre de 2023

² Acadêmico(a) do 10º Período do curso de Engenharia Civil pela Faculdade de Inhumas. E-mail: adriamalmeida@aluno.facmais.edu.br

³ Acadêmico(a) do 10º Período do curso de Engenharia Civil pela Faculdade de Inhumas. E-mail: micaelsilva@aluno.facmais.edu.br

⁴ Professor(a)-Orientador(a). Mestre em Engenharia Civil. Docente da Faculdade de Inhumas. E-mail: deborah@facmais.edu.br

verticalization of constructions. However, this type of structure brings with it a small number of challenges, especially in relation to the management of water present underground. The construction of vertical buildings requires deep foundations, which often exceed the water table. The study in question addresses a solution to ensure that water coming from underground does not harm the structure, known as a subpressure slab. This process was monitored from the planning phase to its execution. With regard to waterproofing, preventive measures were used such as the use of asphalt blanket in the elevator shafts, BITUTHENE® 3000 blanket in the foundation blocks, and the 100S preprufe blanket in the entire basement area and on the retaining walls. Once the waterproofing was completed and the entire steel structure was in the location planned in the project, the concreting process began. This process received meticulous care, involved large service fronts and carried out several tests and procedures to guarantee the quality of the concrete on site. To provide resistance and ideal characteristics for good concrete, some additives were used such as polypropylene microfiber, polyfunctional additive, plasticizing and crystallizing additive.

Keywords: Waterproofing; preventive measures; tightness; basement area.

1 INTRODUÇÃO

Em virtude do expressivo crescimento populacional das últimas décadas e da crescente demanda por investimentos em áreas urbanas, viu-se a necessidade de otimização dos espaços construtivos, impulsionando a busca por novas tecnologias a serem utilizadas nesse setor (Guimarães, 2015). Uma das soluções adotadas por parte das construtoras, foi a utilização de terrenos previamente não explorados. Esses ambientes eram considerados desfavoráveis anteriormente, devido ao pouco conhecimento no que dizia respeito aos processos executivos, e ao seu alto custo de investimento, questões as quais não favoreciam a exploração de ambientes com elevados níveis de água.

Guimarães (2015) ressalta que, para maximizar o aproveitamento desses espaços, as estruturas subterrâneas se tornaram não apenas essenciais para construção de garagens em subsolo, mas também para obras complexas, como túneis e sistemas de metrô. No Brasil, a execução de obras que ultrapassam o nível do lençol freático deve obedecer às prescrições estabelecidas pelas normas da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), como a NBR: 6118: 2014 - Projeto de Estruturas de Concreto; NBR: 11682: 2009 - Estabilidade de Encostas; NBR: 9061: 1985 - Segurança de Escavação a Céu Aberto - Procedimentos; NBR: 6122: 2019 - Projeto de Execução de Fundações, e outras complementares como a NBR: 5629: 2006 - Execução de Tirante, se necessário.

A água figura entre os principais agentes causadores de patologias que surgem no concreto, seja de maneira direta ou indireta (Queruz, 2007), podendo comprometer a durabilidade e, em alguns casos, inviabilizar que as estruturas atendam às especificações inicialmente definidas em projeto. Em construções subterrâneas, onde os desafios são consideráveis e apresentam elevado grau de complexibilidade, especialmente devido à proximidade, ou até mesmo ao contato direto com o lençol freático, a presença da água, associada à alta pressão hidrostática, cria um ambiente ainda mais desfavorável para as estruturas de concreto armado. Diante desse cenário, a busca por soluções que garantam a estanqueidade, e que sejam economicamente viáveis, tornam-se persistentes, exigindo assim dos engenheiros, uma elevada competência técnica, e aptidão da mão de obra na execução nesse setor construtivo (Martin, 2021).

De acordo com Britez (2014), a estanqueidade em estruturas de concreto é essencial e pode ser definida como a capacidade de impedir a passagem de água ou a percolação. O autor ressalta que, para a execução perfeita e eficaz de uma obra que assegure perfeita estanqueidade, ao menos dois fatores devem ser minuciosamente considerados. O primeiro está relativamente ligado à escolha do material, que deve ser homogêneo e se constituir de todas as características necessárias para garantir resistência e durabilidade em diversos ambientes. Em segundo lugar, a atenção ao aspecto técnico, ou seja, aos procedimentos executivos.

O processo para garantir a estanqueidade de pavimentos aterrados pode ser abordado de duas maneiras. A primeira opção envolve a utilização do sistema de drenagem permanente, que pode ser de dois tipos distintos. Pode-se empregar bombas para captar a água presente no subsolo, ou pode-se recorrer a ponteiras filtrantes a vácuo. A segunda abordagem consiste na execução de uma laje de concreto armado, com capacidade estanque, utilizando aditivos cristalizantes para conferir à laje essa característica. Essa modalidade é denominada laje de subpressão (Cortopassi; Ourives, 2017).

Diante dos desafios abordados e dos inúmeros benefícios proporcionados pela implantação de uma laje de subpressão, o objetivo principal deste estudo é apresentar de maneira detalhada todo o processo de execução. Isso abrange desde as etapas construtivas, seleção de materiais específicos, uso de equipamentos

adequados, controle de qualidade, até o detalhado e minucioso processo de execução.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Controle da água do Subsolo

Quando se fala em execução de laje de subpressão, existe uma infinidade de fatores a serem considerados, entre eles, a água presente no subsolo, que se torna uma das maiores responsáveis por problemas que esse tipo de construção possa apresentar, tanto durante a execução quanto após a conclusão da obra, principalmente em casos de obras subterrâneas. Nesse sentido, é evidente a necessidade de um controle rigoroso da água presente no subsolo. Segundo Rosa *et al.* (2020), é de extrema importância conhecer o nível de água em relação ao terreno onde será executada a obra. Além disso, de acordo com Pereira (2021), uma vez que o nível de água é conhecido, é possível adotar medidas de controle dessa água, garantindo assim a viabilidade e a segurança dos processos construtivos, especialmente para obras aterradas.

Neste sentido, existem algumas maneiras de rebaixar a água presente no subsolo. De acordo com Grandis (1998), esse processo pode ser realizado de duas maneiras distintas. A primeira envolve a remoção ou interceptação da água da superfície por meio de bombeamento, drenagem superficial, ponteiros filtrantes ou poços profundos. A segunda maneira é por meio da separação entre o fluxo de água e a escavação, utilizando barreiras físicas, como estacas pranchas, estacas secantes ou justapostas, cortinas de cimento, trincheiras impermeáveis e outros métodos. Segundo o mesmo autor, a diferença entre as duas abordagens está na forma como afetam o lençol freático.

Apesar de existirem inúmeras formas de rebaixar o lençol freático, é fundamental que esse processo seja cuidadosamente estudado. Conforme apontado por Marangon (2004), quando executado de forma incorreta, pode acarretar mudanças significativas no subsolo, gerando complicações durante ou após as escavações, e em alguns casos, até mesmo causar danos às obras vizinhas. Em relação aos cuidados necessários para a execução, Muller (2014) cita três aspectos que devem ser considerados: conferência de indicadores e medição da vazão,

verificação do transporte de sólidos, principalmente no início do processo, e utilização de equipamentos elétricos capazes de identificar possíveis interrupções no processo de rebaixamento.

Portanto, além dos fatores já mencionados anteriormente, Grandis (1998) destaca alguns elementos a serem considerados ao iniciar o rebaixamento do lençol freático. Esses fatores incluem o tipo de obra, as condições de superfície, as formações geológicas, a altura do rebaixamento em relação à quantidade de água a ser retirada e a natureza do aquífero e suas fontes de percolação. Conforme o mesmo autor, o sistema de rebaixamento pode variar em sua duração, podendo ser temporário ou permanente, sendo o primeiro mais comumente utilizado. Em situações específicas em que se decide utilizar o próprio peso da estrutura para combater a flutuação, o rebaixamento terá início alguns dias antes da escavação e será concluído somente após a finalização de toda a obra.

2.2 Impermeabilização

A pressão negativa causada pela água é a principal responsável pela umidade nas estruturas de concreto. Nesse sentido, destaca-se a necessidade de uma execução perfeita do projeto de impermeabilização. Segundo a NBR 9575 (2003), o termo “impermeabilização” pode ser caracterizado como um conjunto de produtos e serviços com o objetivo de garantir estruturas estanques, ou seja, impedir a penetração ou passagem de fluidos por elas. Apesar do custo da impermeabilização em uma obra ser baixo, variando entre 1% a 3% do valor total da obra, as construtoras geralmente não dão a devida importância, o que pode resultar em custos econômicos de reparação até 10 vezes maiores.

O sistema de impermeabilização na construção civil pode ser dividido, em termos de comportamento, em dois tipos principais: flexível (mantas asfálticas e alguns moldados in loco, como asfalto e emulsões aplicados a quente ou frio), e rígido (aditivos hidrofugantes ou cristalizantes indicados para concreto e argamassa).

2.3 Concreto Auto Cicatrizante

Para garantir a diminuição do processo de entrada de água no concreto é preciso atender uma série de fatores, como, por exemplo, o controle da relação água/cimento, esta tem relação direta com os poros capilares. Além destes e outros critérios, o uso de cristalizantes é sim o mais eficiente, este garante estruturas cristalinas e insolúveis, nas quais preenchem os poros capilares do concreto, este processo é o mais resistente ao intemperismo e a ação da água, uma vez que tais estruturas cristalinas tornam-se parte integrante do concreto (Bilesky; Ourives; Yokoyama (2009).

De acordo com Viapol (2023), o cimento cristalizante é composto por componentes químicos aditivados, resina e água. Esse tipo de produto é aplicado diretamente na estrutura que se deseja impermeabilizar. Quando entra em contato direto com a água, ocorre o processo de cristalização, preenchendo todos os poros do concreto e evitando a passagem de água ou umidade.

Esse produto possui duas variedades: cimento cristalizante ou cristalizante líquido à base de silicatos e resinas. Para a primeira variedade, Siqueira (2001) descreve que o produto é aplicado na forma de pintura, utilizando um pincel ou brocha. Já no segundo caso, o cristalizante é líquido e sua aplicação é feita através de um furo na estrutura, por onde o cristalizante é inserido.

2.4 Método Executivo

Para a realização da implementação da laje de subpressão primeiramente é necessário realizar o rebaixamento do lençol freático, através de poços nos quais é realizado o sistema de bombeamento ininterrupto, aliviando assim a pressão hidrostática, possibilitando a execução dos blocos, cortinas de contenção e a laje de subpressão, e é somente desligado após a execução total da mesma.

Com o projeto executivo definitivo definido, inicia-se o processo de execução da laje, para a execução é necessário fazer um concreto magro sem função estrutural, como apresentado na imagem 1, de acordo com Fracon *et al.* (2018) em razão do concreto magro não ter função estrutural, e na maioria dos casos, este tem a função de regularizar o piso e garantir proteção às armaduras, podendo sua

resistência ser de até mesmo 15 Mpa; após a execução de todo concreto magro é feita a montagem e armação da laje.

Imagem 1: Laje em concreto magro.



Fonte: Fracon, (2018).

3 METODOLOGIA

Para a fundamentação de maneira sólida o desenvolvimento deste projeto, foi conduzido inicialmente uma pesquisa bibliográfica com o objetivo de aprofundar o conhecimento sobre o tema. Essa abordagem possibilitou uma análise fundamentada e clara, utilizando como base a parte teórica para explorar e disseminar o entendimento sobre a laje de subpressão.

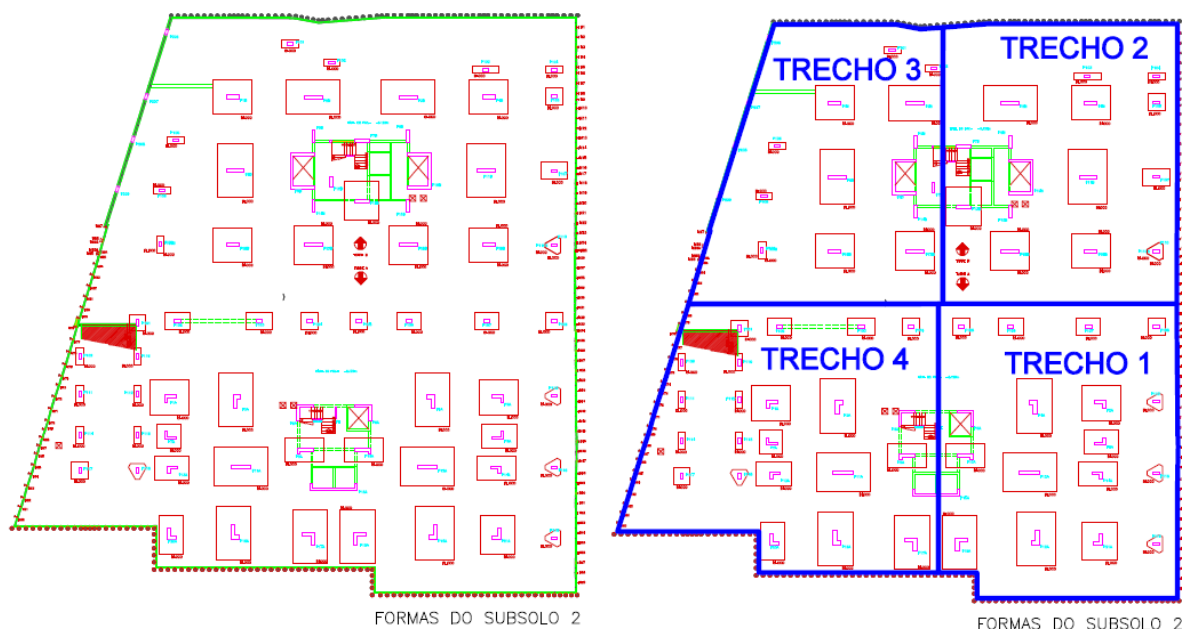
Quanto à metodologia de pesquisa adotada, optou-se por um estudo de caso. Este método implica no acompanhamento detalhado da implementação de uma laje de subpressão em um edifício de múltiplos pavimentos, especificamente no empreendimento Moove Home da Incorporadora Brasal, localizado no setor Bueno em Goiânia-GO. O propósito deste estudo de caso foi analisar a viabilidade, os materiais empregados e os métodos construtivos utilizados, abrangendo desde a fase de planejamento até a execução da laje de subpressão. Dessa forma, visou-se uma compreensão abrangente e contextualizada, permitindo a identificação de práticas eficientes e desafios enfrentados ao longo do processo de construção.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Preparação do Subsolo 2

Para o recebimento e execução da laje de subpressão, foi imprescindível realizar uma preparação cuidadosa do local de execução. Na obra Moove Home, optou-se pela metodologia de execução após atingir 50% da conclusão da estrutura das torres. Essa escolha se justifica pelo fato de que a estrutura proporciona um contrapeso sobre a laje, impedindo desta forma, que pressão hidrostática negativa a empurre e cause danos a essa estrutura. A área de execução da laje compreenderá todo o piso subsolo 2, subindo ao longo de todas as paredes de contenção até a viga de coroamento, como ilustrado na imagem 2. Para viabilizar a execução, o subsolo 2 será dividido em quatro trechos, conforme demonstrado na mesma imagem, seguindo todas as etapas de preparação da laje de maneira uniforme.

Imagem 2: Croqui e planos de concretagem da laje de subpressão e cortina de contenção do subsolo 2.



Fonte: Autores, (2023).

Devido a alteração no curso da construção, o subsolo 2 não foi preparado adequadamente para receber a execução da laje. Os blocos de fundação não foram providos dos arranques e esperas necessárias para o engastamento, além disto, os

blocos não foram nivelados de acordo com os padrões de pé direito exigidos para este subsolo. Essa situação resultou em retrabalho e custos adicionais para a execução. Conforme especificado no projeto da Colmeia (2022), foi necessário executar uma viga de dimensões 40x40 cm em todo perímetro de cada bloco de fundação, além da perfuração na parte superior dos blocos para o grauteamento dos vergalhões, os quais serão responsáveis pelo engastamento da laje com os blocos.

Primordialmente, foi aplicado concreto magro sem função estrutural em toda a área do subsolo 2. Esse concreto magro tem como função exclusiva a eliminação de irregularidades na superfície onde a manta será instalada, visando evitar o contato direto com o solo e a correção de imperfeições do piso. Devido à falta de nivelamento dos blocos, foi necessário realizar a escarificação de todos eles. Para viabilizar a escarificação da capa do bloco, foram conduzidos ensaios de pacometria, este consiste em determinar a localização ou a condição das armaduras no concreto, a fim de minimizar impactos nos vergalhões de aço. Adicionalmente, foram criadas valetas em todo o perímetro dos blocos, destinadas a receber as vigas que foram inseridas posteriormente.

4.2 Impermeabilização

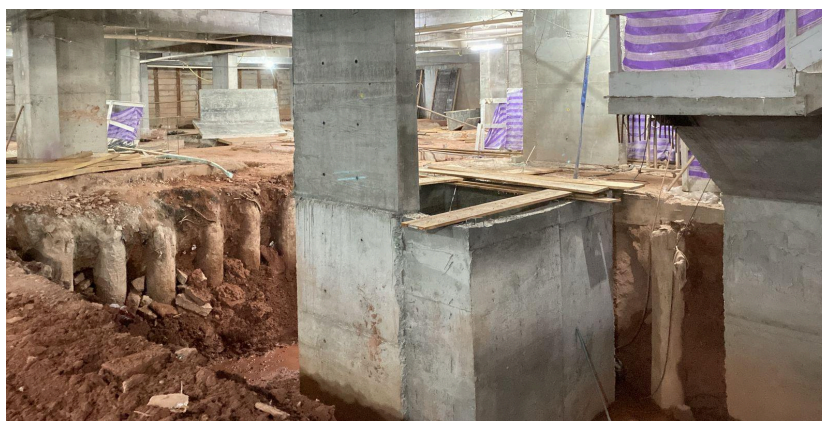
No que diz a NBR 9575 - Impermeabilização: Seleção e Projetos de Impermeabilização de 2003, a impermeabilização é um conjunto de produtos e serviços com finalidade de proporcionar estanqueidade a partes de uma construção, evitando assim, a passagem de fluidos pelas estruturas. Não há dúvidas de que grande parte dos problemas encontrados em obras de construção civil está relacionado a impermeabilização, dentre os quais diversos fatores, incluindo a dificuldade de visualização do problema, negligenciando ocasionalmente a falta de devida importância atribuída a essa etapa da construção (Righi, 2009).

Neste sentido, para que seja possível a realização de uma estrutura totalmente estanque, uma série de precauções deve ser adotada, com intuito de impedir a infiltração ou percolação da água na estrutura. No estudo de caso em questão, foram utilizados dois tipos diferentes de impermeabilização. Para a impermeabilização em contato direto com o solo, foram utilizadas as mantas betuminosas, como a manta asfáltica 4mm e a bituthene 3000, aplicada nos seis

poços de elevadores e nos blocos de fundação. Para percorrer a laje e as paredes de contenção, foi utilizada a manta PREPRUFE 100S.

A laje de subpressão não adentra dentro dos poços de elevadores, ela percorre apenas o piso e as paredes de contenção. Para criar somente um elemento contínuo, sem furos e possíveis pontos de falhas para infiltração, foram construídas paredes de concreto armado em volta dos poços dos elevadores. A laje é engastada na parte superior dessas paredes, que descem até o fundo dos poços, conforme demonstrado na imagem 3. Para garantir a estanqueidade das paredes e piso do fundo do elevador, foi realizada a imprimação com primer asfáltico, e impermeabilização com manta asfáltica 4 mm. Além disso, foi utilizado EPS de 25 mm e uma camada separadora de polietileno, como demonstrado nas imagens 4 e 5. Após a impermeabilização, os poços foram aterrados, conforme mostrado na imagem 6.

Imagem 3: Execução das paredes dos poços de elevadores.



Fonte: Autores, (2023).

Imagem 4: Execução da manta asfáltica.



Fonte: Autores, (2023).

Imagem 5: Execução da Impermeabilização do poço.



Fonte: Autores, (2023).

Imagem 6: Execução do aterramento do poço de elevador.



Fonte: Autores, (2023).

Para os blocos de fundação, empregou-se a manta BITUTHENE® 3000, conforme indicado no Boletim Técnico da GCP (2023). De acordo com este Boletim, a manta BITUTHENE® é uma membrana destinada a fundações, a base de asfalto/polietileno emborrachado, sua aplicação é totalmente a frio, com alto desempenho e adesiva. Composta pelo filme flexível de polietileno de alta densidade (PEAD) laminado entrecruzado, a manta é especialmente projetada para aderir a substratos de concreto.

A aplicação da manta foi realizada nas valetas escavadas nos perímetros dos blocos, utilizando a mesma para realizar a impermeabilização de contato entre o solo e o bloco. Para a execução da junta de dilatação, foi utilizado EPS de 25 mm. Após a aplicação da manta, procedeu-se à concretagem com concreto magro sobre a mesma. Notavelmente, aproximadamente 20 cm da borda da manta foram deixados para fora da área de aplicação, permitindo desta forma, a dobra sobre o concreto magro, como demonstrado nas imagens 7 e 8.

Imagens 7 e 8: Instalação da manta BITUTHENE® 3000 e concreto magro.



Fonte: Autores, (2023).

Para a impermeabilização da área do subsolo 2 e das paredes de contenção, foi utilizada a manta PREPRUFE® 100S, uma solução que assegura a estanqueidade de toda a laje e paredes de contenção, atuando como um elemento impermeabilizante integral. Conforme detalhado no boletim técnico da GCP (2023), a manta PREPRUFE® é composta de PEAD, com camada sensível à pressão do concreto fresco e uma camada granular protetiva do adesivo. Ao entrar em contato com o concreto fresco, proporciona uma aderência exclusiva e abrangente, resultando em uma barreira robusta contra a penetração da água.

A aplicação da manta estendeu-se por toda a área percorrida pelo piso do subsolo 2, acompanhando as valas dos blocos da fundação juntamente com as paredes de contenção, conforme apresentado nas imagens 9 e 10. Essa abordagem garante uma cobertura eficaz, assegurando o bom desempenho da impermeabilização em toda a extensão necessária.

Imagem 9: Execução da manta preprufe 100S da laje do subsolo.

Imagem 10: Execução da manta preprufe 100S nas paredes de contenção.



Fonte: Autores, (2023).



Fonte: Autores, (2023).

4.3 Armação

Com base em todos os estudos realizados para o subsolo 2, foi concebido o projeto da laje de subpressão, que engloba a preparação do bloco da fundação para o processo de impermeabilização. Nesse processo, procedeu-se ao grauteamento de vergalhões em toda a superfície dos blocos, criando arranques estrategicamente posicionados para o engastamento da laje, conforme demonstrado na imagem 11. Esses arranques desempenham um papel crucial como fixadores, estabelecendo uma ponte de conexão entre elementos estruturais, ligando um elemento já concretado a outro.

Conforme as diretrizes delineadas nos projetos desenvolvidos por Colmeia (2021), a armação da laje foi dimensionada com barras de $\varnothing 8\text{mm}$ para as barras positivas e negativas, como demonstrado na imagem 12. No que tange às paredes de contenção, adotou-se uma malha de 10×10 com barras de $\varnothing 6\text{mm}$. A espessura da laje foi dimensionada com 16 cm, garantindo um cobrimento de 3 cm tanto na parte superior quanto na inferior, conforme especificado nas normativas de segurança e desempenho estrutural.

Imagem 11: Arranque de ancoragem dos blocos.

Imagem 12: Armação positiva e negativa da laje.



Fonte: Autores, (2023).



Fonte: Autores, (2023).

4.4 Concretagem

A concretagem é a parte mais delicada e suscetível a desafios durante sua execução. Diante dessa consideração, optou-se por segmentar a área de concretagem em trechos, conforme detalhado anteriormente no item 2.1. O dimensionamento dos trechos foi cuidadosamente calculado para evitar problemas relacionados à ultrapassagem do limite do horário de lançamento do concreto, eliminando a necessidade de se realizar juntas frias fora do planejado primordialmente.

O método escolhido para a execução da laje foi o bombeamento, com utilização de mangotes de 6 polegadas, conforme demonstrado nas imagens 13 e 14. O trecho 1 foi concretado no dia 22/11/2023, com volume total de 176 m³ de concreto. O processo teve início com o primeiro caminhão lançando concreto às 07:51 Horas, e foi concluído pelo último caminhão às 19:20 Horas. Essa concretagem destinou-se à formação do piso do estacionamento do subsolo 2, com o tipo de acabamento definido de laje polida.

O polimento da laje estendeu-se até 06:00 horas da manhã do dia 23/11/2023. Após essa fase, foi realizada a cura química do concreto lançado, com aplicação do Bautech cure, produto da bautech que conforme sua ficha técnica é um agente de cura química à base de copolímero estireno butadieno (SBR), para proteção contra perda de água, garantindo uma cura total sem aparecimento de fissuras, aplicado com pulverizador de baixa pressão, a fim de garantir a qualidade e a durabilidade do material.

Imagens 13 e 14: Concretagem laje subpressão.



Fonte: Autores, (2023).

4.4.1 Recebimento do concreto

Foi utilizado o concreto usinado fornecido pela concreteira Concrecon, com o auxílio de tubulação e bomba estacionária, conforme evidenciado nas imagens 15 e 16. Em estrita conformidade com a norma da ABNT NBR 12655:2022, o recebimento do caminhão betoneira na obra seguiu um protocolo rigoroso. A verificação da nota fiscal foi realizada para assegurar que as especificações estivessem em consonância com a carta traço estabelecida pela construtora, incluindo a conferência do volume programado. Posteriormente, os ensaios e testes do concreto no estado fresco foram conduzidos.

Em conformidade com a ABNT NBR 16889:2020, o ensaio do concreto do estado fresco foi realizado seguindo os preceitos do abatimento do tronco de cone, ou slump test. Esse método é fundamental para determinar a consistência do concreto fresco, mensurando seu assentamento. Este teste estabelece parâmetros críticos que são necessários no momento do lançamento, incluindo a trabalhabilidade, homogeneidade do concreto e se o abatimento estava dentro do intervalo solicitado pela construtora, que neste caso, foi de classe S100 (10 ± 3 cm).

Com todos os dados aprovados conforme as especificações, e em conformidade com a norma NBR 16886:2020, procedeu-se com a moldagem dos corpos de prova. Esse processo teve início antes do lançamento dos primeiros 15% e antes de completar a descarga dos últimos 85% do volume total do concreto. Posteriormente, foram realizados ensaios de rompimento à compressão, sendo dois

rompidos aos 7 dias, e dois aos 28 dias de moldagem. Essas práticas são recorrentes no âmbito da construção civil, tendo em vista que, os testes e ensaios no concreto lançado seguem padrões de qualidade e segurança para garantir a performance duradoura da estrutura idealizada.

Imagens 15 e 16: Bomba estacionária e caminhões betoneira.



Fonte: Autores, (2023).

4.4.2 Materiais e processos executivos

A composição do concreto fornecido pela concreteira Concrecon foi cuidadosamente determinada em colaboração com a consultoria da Vinci Engenharia, conforme demonstrado no traço do concreto apresentado na imagem 17. Um dos desafios enfrentados durante a concretagem refere-se à retração do concreto, conforme destacado por Onghero (2017). Segundo o autor, a principal origem dessa retração reside na perda de água na pasta cimentícia, manifestando-se de diversas formas, como retração por carbonatação, retração térmica, retração por secagem e retração autógena.

Segundo Onghero (2017), o concreto e seus constituintes podem apresentar deformações em resposta a variações térmicas, podendo esse fenômeno ocorrer principalmente durante as primeiras 12 horas após o lançamento. Para mitigar esse fenômeno, foram adicionados 90 KG/M³ de gelo à composição do concreto, evitando assim, elevadas temperaturas na concretagem, o que acelera as reações químicas presentes na reação entre a água e o cimento. Conforme evidenciado pelas amostragens retiradas no recebimento do caminhão betoneira, a temperatura média alcançada pela mistura foi de 23.6° Celsius.

Para combater as demais retrações e aprimorar o desempenho da mistura, introduziu-se no traço do concreto microfibras de polipropileno. Conforme destacado por Lucena (2017), existem grandes vantagens na adição dessa microfibra no traço do concreto, dentre elas, podemos incluir a inibição de fissuras por retração plástica, e aumento da resistência à tração, compressão e fadiga.

Ressalta-se também a utilização de outros aditivos na composição do traço, como o aditivo polifuncional e plastificante, conforme evidenciado na imagem 17. Esses aditivos não apenas reduzem a quantidade de água necessária no traço, mas também aprimoram a trabalhabilidade do concreto, proporcionando uma aplicação mais eficiente e uma manutenção prolongada.

Com o objetivo de garantir estanqueidade ao concreto e minimizar ao máximo a formação de fissuras causadas pela perda de água do concreto, incorporou-se o aditivo cristalizante Penetron Admix à sua composição. De acordo com a ficha técnica disponibilizada pelo fabricante, esse aditivo é classificado como autocicatrizante, destinado à impermeabilização e proteção do concreto. Sua formulação é composta por agentes químicos que reagem tanto com o concreto fresco quanto com os produtos de hidratação do cimento. Esse processo resulta na formação de uma estrutura cristalina insolúvel nos poros e capilares do concreto, conferindo-lhe impermeabilidade eficaz contra a ação da água e de outros líquidos.

Imagem 17: Carta traço concreto laje subpressão.

Legenda de traço	
TR 1	Código: 11004356 - FCK 35 MPA BRITA 0 E 1 ADIT (CLASSE S100) - CRIST+MICROFIBRA+GELO PISO
TRAÇO (1m ³)	TR 1
Cimento (kg)	320
Sílica ativa (kg)	30
Cristalizante (kg)	2,80
Microfibra (kg)	0,60
Brita 1 (kg)	920
Brita 0 (kg)	220
Areia Natural (kg)	475
Areia Artificial (kg)	345
Água (L)	95
Gelo (kg)	90
Aditivo Polifuncional (kg)	1,72
Aditivo Superplastificante (L)	1,40

Fonte: Concrecon, (2023).

4.4.3 Cura do concreto

A etapa de cura do concreto desempenha um papel fundamental na garantia da durabilidade e qualidade do elemento estrutural. Diante dessa premissa, diversas técnicas de cura podem ser empregadas, sendo a escolha determinada pelo método de execução adotado. No caso da laje de subpressão em estudo, foram utilizadas duas formas distintas de cura.

A primeira delas foi a cura por membrana, que conforme mencionado por Beserra (2005), o método consiste na aplicação de um produto químico que, ao secar, forma uma película sobre a superfície do concreto, impedindo a evaporação da água abaixo da superfície. Após a aplicação deste produto químico na laje, foi realizada a cura úmida. Segundo o mesmo autor, a cura úmida consiste no encharcamento do concreto, podendo ser realizada por espalhamento contínuo ou inundação, isto é, molhar a laje de forma que a mesma sempre tenha uma película de água na sua superfície.

Para a execução da cura úmida, optou-se pelo uso de manta Geotêxtil Bidim, conforme evidenciado nas imagens 18 e 19. O Bidim é empregado para armazenar a água e criar uma película sobre o concreto assegurando a retenção, e prevenindo a perda de água. Essa abordagem combina de maneira eficiente a cura por membrana com a cura úmida, assegurando uma proteção abrangente e eficaz durante o processo de cura da laje, contribuindo para a robustez e longevidade da estrutura concretada.

Imagens 18 e 19: Cura do concreto utilizando Bidim.



Fonte: Autores, (2023).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A técnica inovadora da laje de subpressão marca uma revolução na construção civil, deixando para trás métodos antigos e introduzindo desafios singulares em cada empreendimento. Trata-se, de fato, de uma abordagem inédita em grandes edificações, pois cada terreno apresenta características distintas, demandando estudos aprofundados para a adoção de medidas específicas à natureza do solo. No caso da obra Moove, um processo meticuloso foi conduzido, envolvendo várias visitas com consultores e analistas de diferentes áreas. Ao longo de dois anos e seis meses, desde o início da fundação até oito meses após o início da execução da laje, foram empregados esforços para alcançar os resultados visíveis atualmente.

A espera ansiosa concentrou-se no término da estrutura, uma etapa que consumiu um extenso período de execução, além dos projetos detalhados para a execução da laje. Sem dúvidas, a laje de subpressão destaca-se como a escolha mais viável para construções subterrâneas, pois preserva o meio ambiente, evitando assim, impactos no lençol freático. Sua eficácia reside na entrega de um elemento totalmente estanque, livre de manutenções frequentes e despesas diárias associadas às práticas mais antigas, como ponteiras filtrantes e bombas submersas que operam ininterruptamente.

A conclusão bem-sucedida da laje no trecho 1 reflete a conformidade com todo o planejamento inicial. Ainda que os resultados finais em relação à resistência ainda estejam em processo de amadurecimento, uma estimativa preliminar aos sete dias pós-concretagem sugere que alcançará aproximadamente 70% do valor especificado em projeto, com uma média laboratorial de rompimento dos corpos de prova aos sete dias registrando 38,7 MPa, variando entre 28,8 MPa e 47,7 MPa. Esses dados indicam uma trajetória promissora para atingir a resistência de 35 MPa em 28 dias, período o qual ainda está em apuração, visto que, a data de concretagem ainda não atingiu esse ciclo pré determinado.

A execução meticulosa, observando todos os itens críticos como controle de temperatura, realização do slump teste, adequada vibração do concreto para prevenir brocas, supervisão ininterrupta durante a concretagem e a incorporação de compostos, como aditivos, influenciaram diretamente esses resultados. Essa abordagem refinada resultou em um concreto e uma laje de alto desempenho e

resistência, contribuindo para evitar potenciais problemas futuros, como fissuras, trincas e percolação de água nos poros do concreto.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 11682: Estabilidade de encostas - Procedimento: Referências:** Rio de Janeiro, ABNT, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12655: concreto de cimento Portland - Preparo, controle e recebimento: Procedimento.** Rio de Janeiro, ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16889: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone - Referências:** Rio de Janeiro, ABNT, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento: Referências:** Rio de Janeiro, ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6122: Projeto de execução de fundação - Procedimento: Referências:** Rio de Janeiro, ABNT, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9061: Segurança de escavação a céu aberto - Procedimento: Referências:** Rio de Janeiro, ABNT, 1985.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7212: Concreto dosado em central - Preparo, fornecimento e controle: - Referências:** Rio de Janeiro, ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9575: Impermeabilização - Seleção e projeto:** Rio de Janeiro, ABNT, 2003.

BESERRA, S. T.; **Influência do tipo e do tempo de duração de cura nas propriedades mecânicas de concretos de alto desempenho (cad) produzidos em período quente ($t > 25^{\circ}\text{C}$) e de baixa umidade relativa do ar ($h < 50\%$):** Goiânia, 2005.

BILESKY, P. C.; OURIVES, C. N.; YOKOYAMA, C. M. **Avaliação do desempenho dos sistemas de impermeabilização por cristalização capilar do concreto.** Revista Concreto & Construções, São Paulo, ano XXXVII, nº 55.

BRITEZ, C. et al. **Estanqueidade de lajes de subpressão**. Caso MIS-RJ. Rev. **IBRACON Estrut. Mater.** [online]. 2014. Disponível em: <https://tinyurl.com/4zkudce9> . Acesso em Abril de 2023.

COLMEIA Consultoria e Projetos. **Projeto estrutural da laje SS2 – Edifício Residencial Moove Home Brasal**, agosto/2021:

CORTOPASSI, R. S.; OURIVES, C. N. **Concreto pode garantir estanqueidade a obras enterradas**. AECweb, Revista Digital Materiais e Soluções [S.]. 2017.

FRACON, F, S, T *et al.* **Estudo de Caso: Metodologia Executiva de Uma laje de subpressão no setor noroeste**, Brasília-DF, São Paulo, 2018. Disponível em: http://ibibrasil.org.br/simposio2018/wp-content/uploads/2018/06/01-02-Felipe-Fracon-Estudo-de-caso-Metodologia-executiva-de-uma-laje-de-subpress%C3%A3o_Trabalho_15_SBI.pdf . Acesso em Abril de 2023.

GCPAT. GCP Applied Technologies, C2023. Disponível em: <https://gcpat.com.br/pt-br/solutions/products/bituthene-post-applied-waterproofing#documentos> Acesso em novembro de 2023.

GRANDIS, I.; MELLO, L. G. F. **Rebaixamento e Drenagem**. In: **Fundações: teoria e prática**. 2. ed. São Paulo: 1998.

GUIMARÃES, J.Z. **Estruturas enterradas sujeitas a ação de lençol freático: o desafio de torná-las estanques**. 14º Simpósio Brasileiro de Impermeabilização, São Paulo, p. 1-13, 15 jul. 2015.

LUCENA, J. C. T. **Concreto reforçado com fibras de polipropileno: estudo de caso para aplicação em painel alveolar de parede fina**. 83 P. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2017.

MARTIN, F. F. S. **Avaliação da auto cicatrização do concreto com a adição de cristalizante: Análise em obras e em laboratório**. Porto Alegre, 2021. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/225664> . Acesso em Abril de 2023.

MARANGON, M. **Tópicos em Geotecnia e Obras de Terra**. Universidade Federal de Juiz de Fora, 2004. Disponível em: <https://tinyurl.com/5ndukkr> . Acesso em Abril de 2023.

MÜLLER, Maria Cristina Nakano. **Rebaixamento de Lençol Freático: Indicações, Métodos e Impactos Decorrentes**. São Paulo 2014. Disponível em: <https://tinyurl.com/y7nxe4xs> . Acesso em Março de 2023.

ONGHERO L. **Combate à retração e fissuração em concretos de alto desempenho reforçados com microfibras de vidro**. Florianópolis, 2017

PEREIRA, B, E. **Análise dos critérios para a escolha do tipo de fundação para um obra localizada em Uberlândia/MG 2021**. Disponível em: <https://tinyurl.com/4wfpj79c> . Acesso em Abril de 2023.

QUERUZ, F. **Contribuição para identificação dos principais agentes e mecanismos de degradação em edificações da Vila Belga**. Santa Maria: UFSM, 2007. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/7685> . Acesso em Abril de 2023.

ROSA, D. DA S. et al. **Rebaixamento de Lençol Freático - Análise do Método Executivo Empregado na Construção da Eta Santinho em Ribeirão das Neves (2020)**. Disponível em: <https://tinyurl.com/bdex3n9m> . Acesso em Março de 2023.

RIGHI, G. V. Dissertação de Mestrado - **Estudo dos Sistemas de Impermeabilização: Patologias, Prevenções e Correções – Análise de Casos**. dezembro de 2009.

SILVEIRA, M. A. Impermeabilização com cimento polimérico. São Paulo, 2001. **Revista téchne**: Revista de tecnologia e negócio da construção. São Paulo, ano 10, n. 54, p. 108-110. set. 2001. Disponível em: <https://revistatechne.com.br/edicao/227/> . Acesso em Abril de 2023.

VIAPOL. Viapol: soluções e qualidade, c2023. Disponível em: <http://www.viapol.com.br>. Acesso 15 Abril, 2023.