



## Sistema Construtivo de Subsolo Estanque e Laje de Subpressão

### *Waterproof Underground Construction System and Subpressure Slab*

FERREIRA, Fernanda Silva<sup>1</sup>; MIRANDA, Thaís Mangano da Silva<sup>2</sup>  
 engenheira.fernandaferreira@gmail.com<sup>1</sup>; cetimper@cetimper.com.br<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Especialista em Planejamento, Gestão e Controle de Obras Civis.

<sup>2</sup>Engenheira Civil.

#### **Informações do Artigo**

Palavras-chave:

*Laje de Subpressão  
 Cristalização do concreto  
 Subsolo Estanque.*

Key words:

*Subpressure Slab  
 Crystallization of concrete  
 Watertight Underground*

#### **Resumo:**

*Abordagem da relevância da execução com qualidade do sistema construtivo de subsolo estanque e laje de subpressão, devido a demanda de construção de edifícios muito altos que sugerem a utilização do subsolo, em terrenos com nível do lençol freático acima do último piso do subsolo, através da elaboração eficiente das etapas de planejamento, gestão e controle desde o projeto até a conclusão da execução da edificação, com desenvolvimento de um traço de concreto com aditivo cristalizante e o dimensionamento adequado da estrutura que garanta a estanqueidade e a resistência necessária para combater a pressão hidrostática negativa proveniente do lençol no terreno. Afim de conscientizar os construtores da imprudência da não execução desse sistema, causando: elevado custo do condomínio com manutenção predial e consumo de energia elétrica, devido ao uso de bombas ligadas 24 horas por dia, durante 365 dias do ano, para manter o nível do lençol abaixo do piso do subsolo; redução da vida útil da estrutura pelo surgimento de patologias; baixa produtividade e aumento de riscos durante a execução; e por último, não menos importante a conscientização de práticas não sustentáveis, por alteração do volume de água subterrânea, alterando o ciclo de vida e uso racional da água.*

#### **Abstract:**

*Addressing the relevance of the quality execution of the construction system of watertight basement and subpressure slab, due to the demand for construction of very tall buildings that suggest the use of the basement, on land with a water table level above the top floor of the basement, through efficient elaboration of the planning, management and control stages from the project to the completion of the building, with the development of a concrete mix with crystallizing additive and the appropriate dimensioning of the structure that guarantees the tightness and resistance necessary to combat hydrostatic pressure negative result from the sheet on the ground. In order to make builders aware of the imprudence of not implementing this system, causing: high cost of the condominium with building maintenance and electricity consumption, due to the use of pumps turned on 24 hours a day, for 365 days of the year, to maintain the level of sheet below the basement floor; reduction in the useful life of the structure due to the emergence of pathologies; low productivity and increased risks during execution; and last, not least,*

## 1 Introdução

A utilização do subsolo é fundamental, principalmente quando se demanda a construção de edifícios muito altos, sendo necessário sugerir projetos com construção de pavimentos no subsolo, que possibilitam acomodar a área destinada a garagem nesses pavimentos, sem comprometer o coeficiente de aproveitamento permitido para o terreno onde se pretende assentar a edificação. Tendo assim um maior número de pavimentos disponíveis para distribuição das unidades habitáveis. [1,2].

A prática de planejamento garante parte do sucesso na execução com qualidade de uma obra. É fundamental conhecer e definir às particularidades da edificação para avaliar os desafios e as soluções de cada etapa de sua construção. A execução de pavimentos no subsolo exige uma preparação adaptada ao tipo de uso previsto e a adequação às características do terreno. É necessário ter uma atenção especial com o subsolo da edificação, devido a interação direta com o solo ocasionar maiores danos à estrutura, principalmente no caso de infiltrações. Por se tratar de uma pequena parte da edificação, não é raro que seja negligenciada a etapa de planejamento, onde devem ser realizados estudos das particularidades do terreno e da região, como por exemplo a influência do nível do lençol freático. Sendo negligenciada também a etapa de execução, que muitas vezes é feita sem mão de obra qualificada, o que contribui para a ocorrência de patologias durante a vida útil da estrutura. [3]

A elaboração do projeto é a fase mais importante de uma edificação. O projeto estrutural consiste em dimensionar as estruturas para cumprir e atender objetivos e propósitos determinados para o tipo de utilização da edificação e das características do terreno e região onde ela será implantada. Ele é responsável por fornecer as especificações, a representação gráfica da estrutura e também as informações sobre as características do concreto e do aço relativos à sua execução. [4]

No caso de uma edificação, a estrutura terá a função de sustentar as cargas atuantes e transmiti-las, de forma adequada, ao terreno. No caso de uma estrutura no subsolo com nível do último piso abaixo do nível do lençol freático, ela deverá, além disso, suportar a pressão hidrostática negativa, proveniente da influência desse lençol. O que exigirá também a elaboração de um eficiente projeto de impermeabilização, atendendo ao que determina a NBR 15575 [5], em relação a estanqueidade da estrutura. Por isso é necessário entendimento aprofundado do comportamento dos componentes estruturais, dos materiais, e do sistema estrutural como um todo. A elaboração e execução desses projetos deverá ser realizada por profissionais especializados, que seguem todas as exigências das normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que não permitam improvisações, mas sim procedimentos rígidos dentro dos limites aceitáveis que asseguram a qualidade da edificação sem esquecer da sustentabilidade. [4, 5, 6]

Deste modo, estrutura é um sistema que deve garantir: segurança, baixo custo, durabilidade e boa performance em serviço, e seu projeto estrutural deve disponibilizar uma solução técnica e economicamente viável para a obra, utilizando em sua construção materiais com características duráveis e de fácil manutenção, que garantam estabilidade e segurança, sem deformações e patologias que comprometam sua durabilidade ou que impeçam seu uso adequado em serviço. [7]

Durante a elaboração do projeto é necessário também que as técnicas adotadas para execução levem em consideração a sustentabilidade e a redução no impacto ambiental. A sustentabilidade deixou de ser um diferencial e passou a ser praticamente um pré-requisito, para o desenvolvimento de edificações mais conscientes, eficientes, que levem em conta o uso racional dos recursos naturais desde a sua concepção. A certificação *LEED*, existente no mercado, têm o intuito de mudar a mentalidade dos construtores e

consumidores, promover melhores práticas na construção e torná-las altamente sustentáveis. A Certificação nos permite pensar no futuro e em como seria adequado se todos adotássemos estas práticas. Tanto para os prédios já construídos, como, principalmente, para as novas construções, promovendo uma geração de *green buildings*. Muitos empreendimentos buscam essa certificação *LEED* como um meio de associarem-se ao meio ambiente, conseguindo uma considerável redução no consumo de água e energia elétrica, por exemplo. É importante frisar que a certificação funciona para todas as edificações e pode ser aplicada durante ou após sua construção. É errôneo pensar que um empreendimento sustentável é inacessível, tanto por aspectos financeiros como por aspectos executivos. [8, 9]

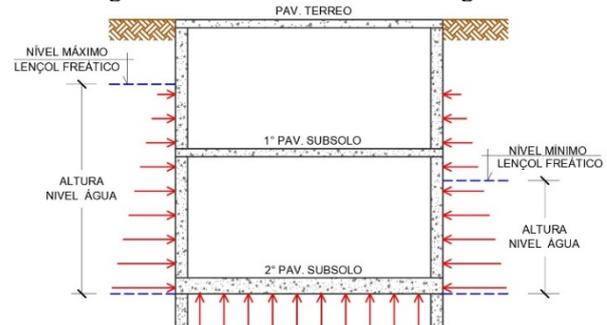
Sendo assim, a abordagem deste trabalho se dá devido à importância da conscientização dos construtores que ao decidirem pela construção de pavimentos no subsolo, devem redobrar os cuidados com o planejamento, gestão e controle desses projetos. Durante seu planejamento, devem identificar de forma precisa as interferências que essas estruturas no subsolo sofrerão durante sua vida útil, afim de desenvolver um projeto estrutural e de impermeabilização que assegurem a estanqueidade e a resistência dessas estruturas para suportar a pressão hidrostática negativa exercida pelo lençol freático, buscando prezar pela sustentabilidade e eliminar possíveis danos que essas interferências possam ocasionar nos elementos estruturais. E de igual importância também, durante o controle e gestão da execução desse projeto, sigam as técnicas e procedimentos especificados, garantindo a estanqueidade, a qualidade, a mínima manutenção e máxima vida útil para a edificação.

## 2 Carga Hidrostática Negativa Atuante no Subsolo

A água é considerada um dos maiores influentes de manifestações patológicas nas edificações, devido a sua capacidade de acelerar os mecanismos de deterioração. Ela está presente no solo, na atmosfera, nos sistemas e

procedimentos de higiene da habitação e associada a outros agentes agressivos, ela é capaz de comprometer a durabilidade das estruturas de concreto armado. O tratamento adequado contra a umidade na estrutura é fundamental para minimizar as manifestações patológicas, que ocasionam a perda das condições de segurança, conforto e de higiene e abreviam sua vida útil. Os sistemas de pisos devem assegurar estanqueidade às fontes de umidades externas a eles, considerando-se a altura máxima do lençol freático prevista para o local da obra. Os projetos de impermeabilização das fundações e pisos nessas condições, devem considerar condições de exposição à umidade proveniente do solo, e indicar o sistema construtivo que previna e impeça a penetração de líquidos ou umidade ascendente e que seja resistente as cargas hidrostáticas negativas, conforme figura 1, garantindo a estanqueidade dessa estrutura. [5]

Figura 1 – Pressão Hidrostática Negativa



Fonte: Autor

### 2.1 Estanqueidade

O concreto pode ser considerado impermeável, quando visto como um único material que é capaz de fornecer condições satisfatórias de baixa permeabilidade. Ele é capaz de gerar uma barreira eficiente impedindo o ingresso da água. É, portanto, um material utilizado comumente na construção de grandes reservatórios de armazenamento de água, piscinas, barragens, estações de tratamento de água e esgoto, etc. [10]

No entanto, a maior dificuldade do apropriado uso desse material potencialmente “impermeável” está relacionada com a complexidade de se obter a estanqueidade da estrutura, que depende do material empregado,

e principalmente, dos procedimentos executivos. Neste aspecto, além de um material de qualidade pertinente, são necessários procedimentos executivos combinados com boas práticas de execução para que não ocorra adensamento inadequado, ninhos de concretagem, juntas frias ou de concretagem não estanques e fissurações não previstas, por onde possa vir ocorrer a percolação ou infiltração de água. [10]

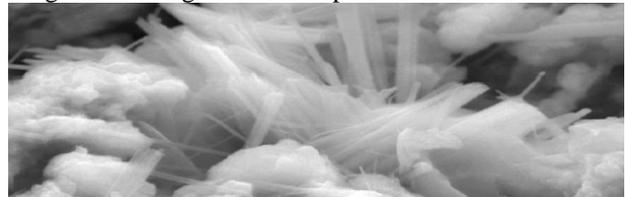
Então, a estanqueidade de uma estrutura de concreto pode ser entendida como a capacidade dessa estrutura de não permitir a percolação de líquidos, por nenhuma das partes de seu sistema. Para o sucesso da construção de elementos estanques, pelo menos dois conceitos devem ser cuidadosa e profundamente considerados: o primeiro relativo ao material que deve ser homogêneo e apresentar a resistência requerida, assim como durabilidade adequada frente a um determinado ambiente; o segundo relativo aos cuidados e procedimentos durante a execução, que constituem o conjunto de técnicas de bem construir, para que se possa obter uma estrutura final estanque. [11]

## 2.2 Cristalização do Concreto

Desempenhando a função de garantir a baixa permeabilidade do sistema construtivo de subsolos e lajes de subpressão é indispensável a elaboração de um concreto com acréscimo de aditivos para impermeabilização por cristalização integral, além de um projeto detalhado com o intuito de evitar fissuras e deformações geradas pela pressão hidrostática negativa. Esses aditivos químicos, são classificados em: aditivos redutores de permeabilidade não expostos a pressão hidrostática (ARPNH) e os aditivos de permeabilidade expostos à pressão hidrostática (ARPH). Além de reduzir a permeabilidade, o uso do aditivo durante a produção da mistura, oferece inúmeros benefícios ao concreto, como: resistência à altas pressões hidrostáticas, acréscimo de resistência à compressão, resistência a ataques químicos, prevenção de corrosão das armaduras, proteção das estruturas contra o ataque de sulfatos combatendo a reação álcali agregado (RAA) e a reação sílica agregados (RSA) e por fim, mas sem dúvida o benefício mais satisfatório, que é a capacidade

de autocicatrização (figura 2 – ANEXO A) com tratamento de fissuras de até 0,4mm, que quando não são tratadas, comprometem a durabilidade do concreto, representando assim, uma economia de custo pela menor necessidade de reparos. O processo de cristalização ocorre em virtude de os componentes do aditivo serem hidrofílicos, ou seja, reagem facilmente com água, formando uma estrutura cristalina insolúvel, conforme figura 3, capaz de obstruir os poros e capilares do concreto, impedindo a passagem das moléculas de água, por isso trata-se de um mecanismo de autocicatrização, que denomina o resultado da adição do aditivo cristalizante ao concreto usual como: concreto autocicatrizante. [13, 14]

Figura 3 – Imagem microscópica dos cristais insolúvel



Fonte: Mendes Lima Engenharia [14]

O uso de concreto autocicatrizante vem sendo muito recomendado e empregado em novas edificações que demandam o uso dessa tecnologia, diante da necessidade de proteger e aumentar a vida útil das estruturas de concreto, atendendo o que estabelece a NBR 15575 [5]. Importante destacar também, que o aditivo cristalizante não é um produto tóxico, permitindo sua utilização até mesmo em reservatórios de água potável. [5, 14, 15]

## 3 Sistemas Construtivos de Impermeabilização de Subsolos

As construções enterradas exigem cuidados especiais quanto à impermeabilização. Quando constatada a presença de água no subsolo, ela irá exercer pressão nas paredes e lajes dos pavimentos profundos e ocasionar o surgimento de infiltrações. [13]

Deverá ser considerada a pressão hidrostática negativa, que é a pressão exercida pela água sobre a estrutura. De acordo com a NBR 9575 [6], a água sob pressão negativa,

confinada ou não, exerce pressão hidrostática superior a 1 kPa (0,1 metro de coluna de água - m.c.a), de forma inversa à estrutura e sua impermeabilização. [6]

Com o último nível da construção inferior ao nível do lençol freático, é necessário o rebaixamento temporário do nível d'água. O desvio permanece enquanto a obra, ou parte dela, encontra-se em execução, após a conclusão, as intervenções devem ser retiradas e o fluxo voltará ao seu caminho natural. Por isso, a estrutura deve ser preparada para suportar a pressão hidrostática negativa. [13]

Existem no mercado atualmente duas maneiras de impermeabilizar o pavimento enterrado. A primeira é com o sistema de drenagem permanente do nível d'água, em que bombas coletam e descartam a água na rede pluvial, durante a obra e toda vida útil da edificação. A segunda é a execução de uma estrutura (laje de subpressão) com concreto estanque a água. Esta segunda opção consiste no uso de aditivo cristalizante integral no concreto, garantindo a estanqueidade de toda a estrutura, abrangendo cortina e laje de subpressão (estrutura armada para suportar o carregamento proveniente da carga hidrostática negativa do lençol). Essa alternativa exige um projeto detalhado para evitar que o empuxo gere fissuras ou deformações. [13]

### **3.1 Sistema de Drenagem Permanente**

A solução mais utilizada para permitir a estanqueidade de subsolos é a utilização do sistema de drenagem permanente. Deste modo, em muitas cidades no país, os subsolos das edificações, utilizam a drenagem permanente que bombeia a água para a rede de águas pluviais. Os projetos são elaborados com cortinas de contenção lateral e com paredes falsas para promover um acabamento estético no estacionamento e precisam de um sistema de drenagem que atenda a vazão necessária para reduzir o nível da água. Há inconvenientes nesse sistema, como: deterioração da estrutura de concreto da cortina, carreamento de solo, assoreamento das canaletas, umedecimento da parede falsa, proliferação de fungos devido à alta umidade, infiltração, aparecimento de contaminantes oriundos de postos de gasolina,

recalques na vizinhança associados ao rebaixamento do lençol freático. [14]

Devido ao uso de bombas que drenam e controlam o nível do lençol, esta solução permite que as paredes do subsolo sejam mais finas e que não sejam dimensionadas lajes de subpressão, pois não precisarão suportar a pressão hidrostática negativa. Por outro lado, essa solução gera um elevado gasto energético ao condomínio para manter todo maquinário funcionando constantemente, causando um impacto ambiental negativo. Existe a necessidade de investimentos em bombas reservas para não paralisar o funcionamento do sistema e, também, em geradores que permitem o funcionamento do sistema mesmo em caso de falta de energia. [13]

O sistema de drenagem permanente é de difícil manutenção, e tem um curto prazo de vida útil devido à colmatação das valas de drenagem, motivada pelos sólidos em suspensão na água de rebaixamento, e, conseqüentemente, os equipamentos são danificados, onerando os custos do condomínio para manutenção. Existem casos de edificações que precisaram revitalizar o sistema após três anos de funcionamento, devido à colmatação dos equipamentos. Essa manutenção costuma ser onerosa e traumática, necessitando de demolição de piso e movimentação de terra, para refazer o sistema de drenagem, estando a edificação pronta e habitada. [13]

### **3.2 Sistema de Subsolo Estanque e Laje de Subpressão**

Quando o nível do lençol freático no terreno é maior que o último nível do piso subsolo previsto em projeto, a estrutura em contato direto com o solo estará sujeita à pressão hidrostática negativa do terreno. Essa estrutura é denominada laje de subpressão. É a laje mais profunda da edificação e quanto maior a cota de profundidade em relação ao nível do lençol, maior tende a ser a pressão hidrostática negativa, que deve ser considerada no dimensionamento da armadura da laje. O sistema construtivo de subsolo estanque e laje de subpressão foi desenvolvido para substituir o sistema de rebaixamento de lençol freático permanente. Numerosas são as vantagens

obtidas com a execução da laje de subpressão, tais como o desuso do sistema permanente de drenagem, reduzindo o consumo de energia elétrica e os impactos ambientais. Além de menor influência sobre a água subterrânea, reduzindo também as consequências negativas na disponibilidade desse recurso e sobre a ocorrência de recalques ocasionados pelo rebaixamento do lençol freático, que se estende para as áreas adjacentes ao terreno da edificação. Elimina o risco de acidentes por dispensar a realização da impermeabilização do lado positivo da estrutura de contenção, sendo necessário, para tal atividade, o confinamento dos funcionários entre a cortina/contenção e o maciço de solo sob o risco de desbarrancamento do solo. [14, 15]

É imprescindível o cumprimento das especificações de projeto, com a elaboração de estudo e desenvolvimento de um traço de concreto apropriado, uma laje e cortinas dimensionadas estruturalmente para suportar a pressão hidrostática característica do terreno e da região, assim como uma metodologia construtiva bem definida, para garantir um elemento estrutural íntegro e estanque. Deste modo, essa solução é considerada complexa, no que tange aos aspectos de garantia da estanqueidade e durabilidade do concreto armado, devido a estes fatores estarem atrelados com parâmetros de execução, climáticos e logísticos (fornecimento de concreto usinado). Por isso a composição do concreto, o plano de concretagem e os procedimentos executivos empregados podem ser decisivos para promover uma estrutura íntegra e com propriedades estanques, dispensando, nesse caso, alternativas tradicionais e convencionais de impermeabilização. O maior desafio, portanto, é uma execução que garanta a integridade do concreto sem o surgimento de manifestações patológicas que comprometam a distribuição das tensões e o funcionamento da estrutura. [10, 15]

#### **4 Planejamento e Pré-Execução de Sistema de Subsolo Estanque e Laje de Subpressão**

As normas NBR 9574 [17] e NBR 9575 [6], estabelecem em seus escopos as exigências e recomendações relativas à seleção, projeto e execução de impermeabilização para atendimento das condições mínimas de proteção da construção contra a penetração de fluidos, bem como a salubridade, segurança e conforto do usuário, de forma que seja garantida a estanqueidade das partes construtivas que a requeiram.

Nos requisitos gerais a NBR 9575 [6], determina que a impermeabilização deve ser projetada de modo a garantir estanqueidade dos elementos estruturais; protege-los contra a ação de agentes agressivos; evitar sua degradação; possibilitar menor intervenção nos revestimentos sobrepostos ao sistema de impermeabilização, afim de realizar o reparo imediato do mesmo, sempre que percebida falha; e proteção ao meio ambiente por meio da utilização de sistemas de impermeabilização que impeçam a ação de agentes contaminantes. [6, 17]

Afim de garantir o cumprimento das recomendações das normas citadas acima é necessário seguir algumas etapas importantes durante a fase de planejamento e pré-execução, como: executar a sondagem do terreno; definir o maior nível de lençol freático; definir a solução estrutural da laje de subpressão; definir o tipo de fundação; contratar o projeto de cálculo estrutural; contratar consultoria para avaliação técnica de projeto; contratar tecnólogo de concreto; contratar empresa para acompanhamento físico das concretagens; definir as etapas de concretagem; definir a técnica para rebaixamento do lençol freático; e realizar reunião com todos os envolvidos para definir o detalhamento da execução. [15]

Para obtenção do concreto com a máxima capacidade de estanqueidade e com a resistência, durabilidade e controle de retração requerida, é necessário a contratação de tecnólogo para definir o traço do concreto, juntamente com as especificações técnicas do projetista, no qual determine a proporção entre os materiais e as propriedades do concreto a ser utilizado na execução da laje, atendendo as exigências específicas. O traço de concreto deve ser desenvolvido para atender as especificações

mínimas de projeto. É importante salientar, também, que o traço deve ser desenvolvido tendo em vista os insumos disponíveis na região. Uma boa opção é o teste de protótipos na obra em elementos secundários, a fim de se aferir as condições do concreto no estado fresco e as posteriores resistências no estado endurecido. O concreto deve ter sua produção de acordo com as prescrições da NBR 12655 e da NBR 7212. [10, 15]

#### **4.1 Cuidados com o Rebaixamento do Lençol Freático**

O processo de rebaixamento do lençol freático permite a execução da fundação, laje de subpressão e cortinas do pavimento subsolo. Em função da necessidade de se ter peso próprio para suportar parte das cargas ascendentes da subpressão, o bombeamento só pode ser desligado, permitindo que o lençol freático volte ao nível natural, após a concretagem do número de lajes necessárias para compor esse peso próprio, definidas no projeto estrutural. [15]

Porém, o rebaixamento pode provocar uma série de danos, e impactam no volume de água subterrânea em determinadas circunstâncias, rebaixando o nível de água não só no terreno onde será realizada a obra, mas também na vizinhança. Entre os problemas causados estão: trincas nas paredes e muros de divisa, afundamentos de pisos, emperramentos de portas e janelas, danos em revestimento e em tubulações, afundamentos de ruas e calçadas e até mesmo colapso da estrutura. No entanto, é necessária uma soma de fatores para que as situações de prejuízo ocorram, por exemplo, quando o rebaixamento acontece em camada de solo mole no terreno, com característica de elevada compressibilidade (recalques significativos) e baixa resistência, sendo superficialmente ou não. Além disso, os recalques não são instantâneos, mas demandam muito tempo para ocorrer. Se o rebaixamento afetar o nível d'água da vizinhança, essas argilas moles sofrerão compressão, provocando os danos. Para efeito comparativo, cerca de um metro de rebaixamento do nível d'água praticamente dobra a tensão provocada no solo por uma casa térrea. [18]

*A Cidade do México é um caso extremo, onde há a ocorrência de camada de argila mole com espessura de até 50 metros. Lá, o rebaixamento do lençol freático se dá pelo bombeamento, para consumo do volume proveniente do aquífero subjacente ao solo mole. Cerca de 2/3 do suprimento de água da cidade provém desse aquífero. Em algumas áreas, nos últimos 100 anos, o centro urbano sofreu recalque de até oito metros, sendo que, atualmente, o afundamento se dá à razão de cerca de sete a dez centímetros por ano. Tem sido constatado que o nível d'água em certas regiões de São Paulo está se aprofundando. Resultado da impermeabilização da superfície e do rebaixamento permanente do nível d'água em áreas com concentração de edifícios com operação de bombeamento após sua conclusão.* [18]

#### **5 Execução de Sistema de Subsolo Estanque e Laje de Subpressão**

Para o sucesso da construção de elementos estanques, pelo menos dois conceitos devem ser profundamente considerados: O primeiro relativo ao material (concreto) que deve ser de qualidade pertinente, possuir homogeneidade e apresentar a resistência requerida, assim como durabilidade adequada frente a um determinado ambiente; O segundo relativo aos cuidados e procedimentos necessários combinados com boas práticas de execução para que não ocorram falhas na concretagem, criando pontos de falhas de estanqueidade. Por isso, durante o procedimento executivo é essencial atender às recomendações e especificações técnicas detalhadas em projeto. [10, 15, 16]

Dentre os cuidados durante a execução da concretagem temos: controle e monitoramento dos parâmetros de temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento, que influenciam diretamente no controle da taxa de evaporação da água superficial do concreto e ocasionam fissuras de retração; cuidados com a cura de cada etapa de concretagem da laje de subpressão que deve ser realizada pelo período mínimo especificado em projeto, e deve ser iniciado após o endurecimento superficial do concreto, através de uma análise tátil-visual, afim de impedir a evaporação prematura da água na estrutura concretada que gera trincas e

fissuras; execução da concretagem garantindo o adensamento adequado e o cobrimento especificado das armaduras; execução cuidadosa das juntas de concretagem. Antes de iniciar a concretagem se faz necessário verificar a montagem da armação para certificar-se da garantia de posicionamentos dos elementos. [10, 15, 16]

O resultado final depende muito do rigor da execução, há estruturas estanques com concretos de 9MPa, assim como estruturas não estanques com concretos de 50MPa. A experiência tem confirmado, no entanto, que as maiores causas de falhas estão relacionadas menos com o material e mais com as técnicas e procedimentos executivos (boas práticas de construção). Em resumo, quando o engenheiro é capaz de projetar e construir uma estrutura estanque e, conseqüentemente, durável, torna-se irrelevante a discussão se o material concreto é fundamentalmente “impermeável” ou não. [16]

### 5.1 Cuidados com as Juntas Frias ou de Concretagem

Durante a execução de uma obra que demande estruturas em concreto estanque, são as juntas frias ou de concretagem (figura 4 – ANEXO B) os pontos mais delicados e que merecem maior atenção e cuidado. Planejar a execução de forma a minimizar não conformidades nesses pontos deve ser a preocupação permanente para uma boa execução. [10, 15]

Sendo assim, a concretagem deve ser dividida em etapas distintas (determinadas pelo projetista), a execução das juntas deve garantir a rugosidade no concreto e é recomendado o uso de fita hidroexpansiva entre as concretagens. [10, 15]

A fita hidroexpansiva é um produto de selamento à base de materiais hidrofílicos, no qual se expande de forma controlada quando exposto a umidade. As juntas de concretagem devem ser preparadas com a escarificação do concreto e pintura com primer no trecho onde será colada a fita, afim de se obter melhor aderência entre a fita e a superfície do concreto. Pode ser recomendado, também, a instalação de um sarrafo com as dimensões da fita hidroexpansiva, sendo retirado após a cura do

concreto, deixando o espaço para a colocação da fita. A fita hidroexpansiva deve ser instalada minutos antes do início da etapa seguinte de concretagem, sendo inserida no meio da espessura da laje anterior. [15]

## 6 Considerações Finais

Em relação ao impacto sobre a sustentabilidade, o sistema de rebaixamento de lençol freático permanente, demanda o uso de equipamentos e bombas que elevam o consumo de energia elétrica, e impacta através do próprio mecanismo de drenagem, no volume de água subterrânea, alterando o ciclo de vida e uso racional da água. Já o sistema construtivo de subsolo estanque e laje de subpressão dispensa a utilização desses equipamentos e bombas diminuindo os impactos ambientais pela redução do consumo de energia elétrica e do desperdício de água. Tendo ainda o benefício de eliminar a possibilidade da ocorrência de recalques na vizinhança, como há relatos de ocorrência em rebaixamento do lençol freático permanente. Além disso, com a cristalização do concreto adquire-se a propriedade autocicatrizante que é uma grande inovação para o mercado da construção civil, sendo desnecessária a impermeabilização do substrato das estruturas de concreto, tornando tal sistema ainda mais sustentável, pela não emissão de gases poluentes, produzidos no processo de aplicação de diversos impermeabilizantes e que são capazes de prejudicar o meio ambiente, e também, por não ocasionar o descarte de seus resíduos em locais inapropriados provocando contaminação do solo e da água. Logo, o aditivo cristalizante não é um produto tóxico e pode ser utilizado até mesmo em reservatórios de água potável. Tais práticas permitem que a edificação possua a certificação *LEED* e o selo obra amiga do meio ambiente. O sistema de subsolo estanque e laje de subpressão preserva o meio ambiente, reduz impactos e gera economia significativa nos custos de condomínio por extinguir a manutenção de equipamentos ao longo da vida útil da estrutura.

*“A sustentabilidade consiste em construir pensando no futuro”.* [19]

Quanto a comparação da produtividade durante a execução entre os sistemas, a metodologia de execução do subsolo estanque e da laje de subpressão, possibilita uma construção mais eficiente, e implica no ganho de produtividade, por eliminar diversas etapas construtivas, como a elaboração do projeto de drenagem permanente e sua execução, que demanda tempo e cuidados especiais durante a etapa de pré-execução da obra. Sendo assim além de proporcionar uma economia de tempo no cronograma de execução da obra, garante também economia financeira. A execução do sistema de subsolo estanque e laje de subpressão elimina também o risco de acidentes por dispensar a realização da impermeabilização do lado positivo da estrutura de contenção. Há diversos casos noticiados de acidentes dessa natureza em que ocorreu o soterramento e até óbito do colaborador. O sistema de subsolo estanque e laje de subpressão trata-se, então, de uma solução definitiva em que se elimina riscos e etapas construtivas. [14, 15]

A execução do sistema construtivo de subsolo estanque e da laje de subpressão tem o benefício de atender aos requisitos mínimos de vida útil, desempenho e durabilidade de acordo com a NBR 15575 [5]. A vida útil de projeto para estruturas deve ser de no mínimo 50 anos e o sistema permite durabilidade por mais de 50 anos já que apresenta em sua composição o aditivo cristalizante. Trata-se de um mecanismo de autocicatrização do concreto que em caso de surgimento de fissuras na estrutura de até 0,4mm, que permitam percolação de água, o aditivo reagirá com a mesma, formando-se cristais insolúveis e os movendo para a região da fissura, promovendo sua vedação. Esse mecanismo assegura maior estanqueidade e durabilidade à edificação, gerando economia financeira por menor necessidade de reparos e manutenção ao longo da vida útil da estrutura. [5, 14, 15]

Em termo de viabilidade e execução, observa-se que o custo inicial do sistema de subsolo estanque e laje de subpressão é relativamente maior quando comparado com o sistema de drenagem permanente, por ser necessário o dimensionamento de uma estrutura mais robusta que suporte as cargas hidrostáticas

negativas, resultando em um custo maior de implantação, com maior demanda de consumo de concreto e aço, porém esse gasto é compensado e diluído ao longo da execução do sistema e do tempo de utilização da edificação, por representar economia no quesito manutenção. O grau de eficiência desse sistema tem sido comprovado pela alta demanda de implementação em diversas cidades brasileiras, cuja metodologia de execução empregada está consolidada e tem sido praticada com sucesso há mais de 10 anos, além de não apresentar restrições, sendo recomendada sua concepção juntamente com o projeto da edificação. Caso não tenha sido previsto tal sistema construtivo no projeto, é possível implementá-lo, desde que a fundação não tenha sido concluída. [14, 15]

Pode-se inferir a importância da definição de um procedimento construtivo e o desenvolvimento de um traço de concreto, com o intuito de garantir as exigências requeridas em projeto. Tal metodologia documentada para concretagem de uma laje de subpressão, são determinantes para a concepção de um elemento estrutural íntegro e estanque em condições adversas de terreno, clima e logística, assegurando a qualidade da execução de todo sistema de subsolo estanque e laje de subpressão. Considera-se também alertar, que o uso adequado de procedimentos simples (menos onerosos), descritos em normalizações nacionais vigentes, associados com boas práticas e técnicas de bem construir, são favoráveis para um resultado final satisfatório. [10]

*Os prédios vão ficando mais altos, os solos mais profundos e a tendência de a gente interceptar o aquífero ao nível da água é maior pela profundidade dessas escavações. [1]*

Em resumo, compreende-se que, optar pela execução do sistema construtivo de subsolo estanque e laje de subpressão é mais assertivo (figura 5 – ANEXO C), tanto para o construtor como para os consumidores, por muitos fatores, como: atendimento às questões de sustentabilidade, pela economia significativa no consumo de energia elétrica, menor impacto ao meio ambiente e pela redução de interceptação no volume de água subterrânea, evitando recalques de solo na vizinhança; pelo baixo

custo devido a menor necessidade de reparos e manutenção comparado ao sistema de drenagem permanente; por atendimento ao quesito desempenho quanto a estanqueidade e durabilidade da estrutura; quanto a vantagem de melhor produtividade e a minimização de riscos durante sua execução. [10, 15, 20]

## 7 Referências

- [1] CORTOPASSI, Renato. *Web seminário explica estruturas estanques submetidas a carregamentos de aquíferos – lajes de subpressão*. Rev. Mapa da Obra. Disponível em: <https://www.mapadaobra.com.br/inovacao/webseminario-lajes-de-subpressao/> Acesso em: 25 set. 2022
- [2] SANTOS, Altair. *Lajes de subpressão estanques: saiba como construir - Técnica permite a execução de fundações em solos com lençóis freáticos atingidos por escavações profundas*. Rep. web-seminário. AECweb, pelo eng-projetista Renato S. C. Disponível em: <https://www.cimentoitambe.com.br/massa-cinza/como-construir-para-conter-a-agua-de-lencois-freaticos/>. Acesso em: 25 set. 2022.
- [3] FIORAVANTI, Thiago. *Pisos de subsolo de edifícios: como planejar e executar*. Blog Belgo B. Arames. Disponível em: <https://blog.belgobekaert.com.br/engenharia/construcao-civil/pisos-de-subsolo-de-edificios-como-planejar-e-executar/>. Acesso em: 25 set. 2022
- [4] ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento*. Rio de Janeiro, 2004.
- [5] ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 15575: Edificações habitacionais - Desempenho*. Rio de Janeiro, 2013.
- [6] ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 9575: Impermeabilização - Seleção e Projeto*. Rio de Janeiro, 2010.
- [7] CLÍMACO, João Carlos Teatini de Souza. *Estruturas de Concreto Armado: Fundamentos de Projeto, Dimensionamento e Verificação*. 2ª ed. Revis. Brasília, Ed. Univ. Brasília. 2008.
- [8] ARES. *Certificação LEED*. Disponível em: <https://aressustentabilidade.com.br/quem-somos/>. Acesso em: 14 out. 2022.
- [9] KLABUNDE, Carolina. *Certificação Leed: saiba o que é e qual a sua importância*. Sienge Disponível em: <https://www.sienge.com.br/blog/o-que-e-certificacao-leed/>. Acesso em: 14 out. 2022.
- [10] BRITZ, C. et al. *Estanqueidade de lajes de subpressão. Caso MIS-RJ*. ANAIS 55º Cong. Bras. de Concreto. Rev. IBRACON. Disponível em: <https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2014/06/268.pdf>. Acesso em: 25 set. 2022.
- [11] HELENE, P. R. L. et al. *Considerações sobre estanqueidade de estruturas de concreto*. In: Anais 2º Simp. Bras. de Imper. RJ: Inst. Bras. de Imper. 1980, p. 176-97.
- [12] ALISON, F. et al. *Concreto Autocicatrizante. Blog Concreto fora do cotidiano. Abr/2017*. Disponível em: <http://concretoforadocotidiano.blogspot.com/2017/04/concreto-autocicatrizante.html>. Acesso em: 18 out. 2022.
- [13] CORTOPASSI, R. S. et al. *Concreto pode garantir estanqueidade a obras enterradas*. AECweb. Rev. Dig. Mat. e Soluções. 2017. Disponível em: [https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/concreto-pode-garantirestanqueidadea-obras-enterradas\\_13897\\_10\\_0](https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/concreto-pode-garantirestanqueidadea-obras-enterradas_13897_10_0). Acesso em: 03 ago. 2022.
- [14] MENDES LIMA ENGENHARIA. *Sistema construtivo de solos estanques e lajes de subpressão*. Prêmio CBIC Inov. e Sust. 2018. Disponível em: <https://www.cbic.org.br/premioinovacoesustentabilidade/edicao-2018-mendes-lima-engenharia/>. Acesso em: 15 out. 2022.
- [15] FRACON, F. et al. *Estudo de caso: metodologia executiva de uma laje de*

*Subpressão no setor noroeste, Brasília – DF. Anais 15º Simpósio Brasileiro de impermeabilização IBI. Disponível em: <http://ibibrasil.org.br/simpósio2018/wp-content/uploads/2018/06/Estudo-de-caso-Metodologia-executiva-de-uma-laje-de-subpress%C3%A3o-no-Setor-Noroeste-Bras%C3%ADlia-DF.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2022.*

- [16] BRITZ, Carlos. *O concreto é impermeável? Boas práticas na execução de estruturas de concreto*. Rev. Estrutura. [online]. Ed.1. P.58-60. Jul/2016. Disponível em: [http://abece.com.br/Revista\\_estrutura/Edicao1/files/assets/basic-html/page58.html](http://abece.com.br/Revista_estrutura/Edicao1/files/assets/basic-html/page58.html). Acesso em: 10 ago. 2022.
- [17] ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 9574: Execução de impermeabilização*. Rio de Janeiro, 2008.
- [18] BARROS, José M. C. *Rebaixamento do lençol freático exige cuidados e a melhor técnica*. Rep. AECweb. Disponível em:

<https://www.aecweb.com.br/revista/materias/rebaixamento-do-lencol-freatico-exige-cuidados-e-a-melhor-tecnica/16886>.

Acesso em: 10 out. 2022.

- [19] MIRANDA, Thaís M. S. *Sistemas de Impermeabilização*. Aula UFRJ. Turma PGCOG 24. Apostila: Aula 23. Disponível em: <https://nppg.org.br/portaldosaluno/mod/folder/view.php?id=4604>. Acesso em: 30 abr. 2022.
- [20] TAKAGI, E. M. *Concretos autocicatrizantes com cimentos brasileiros de escória de alto-forno ativados por catalisador cristalino*. Dissertação de mestrado em Eng. de Infr. Aeroportuária. Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos. 130p. 2013.

## 8 Anexos e Apêndices

### ANEXO A

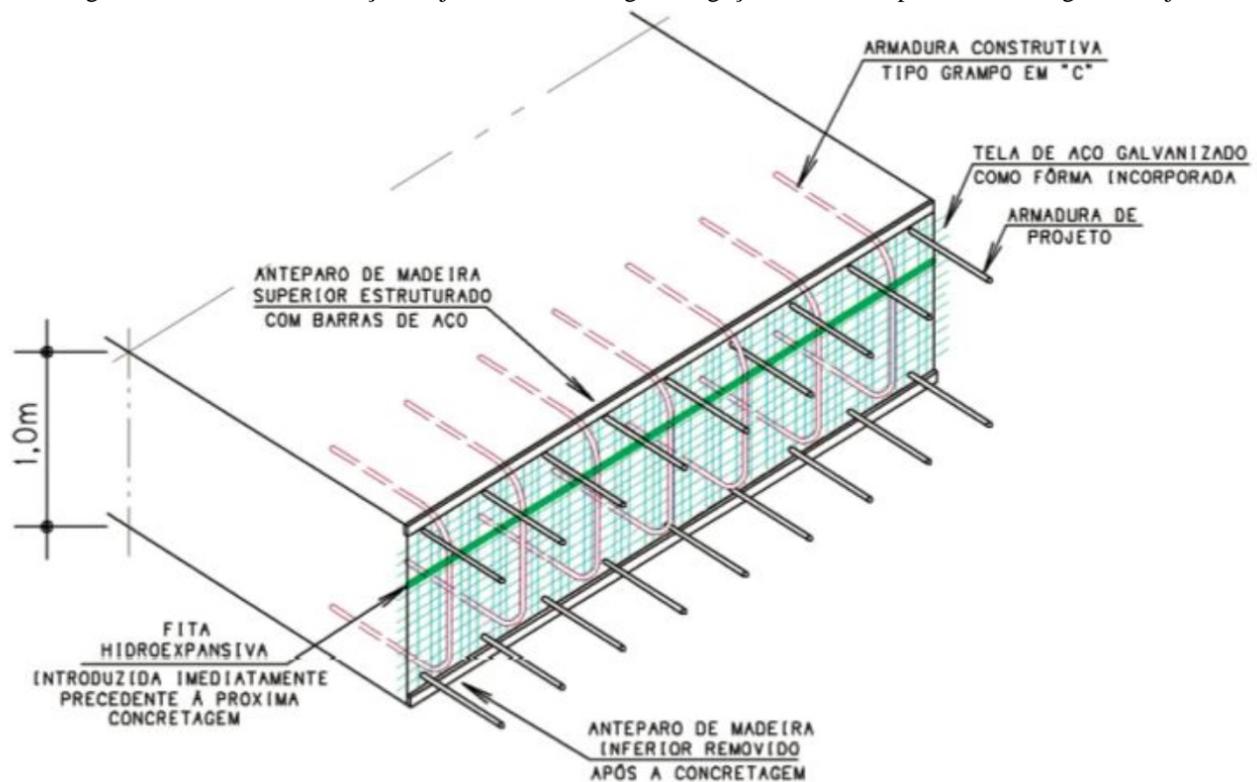
Figura 2 – Detalhe de execução de junta de concretagem - ligação entre as etapas de concretagem da laje



Fonte: Alison [12]

### ANEXO B

Figura 4 – Detalhe de execução de junta de concretagem - ligação entre as etapas de concretagem da laje



Fonte: Brites [16]

### ANEXO C

Figura 5 – Quadro comparativo entre o sistema de drenagem permanente e subsolo estanque e laje de subpressão

Critério	Sistema de drenagem permanente	Laje de subpressão
Custo	Maquinário gera um elevado gasto energético, sendo necessário investimento nos geradores e nas bombas à combustão que mantêm o seu funcionamento mesmo em caso de queda de energia.	Devido aos esforços suportados pela laje de subpressão é necessário uma estrutura mais robusta, resultando em um custo maior de implantação com maiores volumes de concreto e aço. Além da utilização de aditivo cristalizante para a obtenção de um concreto estanque.
Vida útil	A colmatção das valas de drenagem, bem como o desgaste natural dos equipamentos de bombeamento que funcionam de forma ininterrupta (24h por dia) podem trazer grandes transtornos futuros para o condomínio.	Em caso de eventual aparecimento de fissuras, que permitam percolação de água, o aditivo reagirá com a mesma, movendo os cristais dissipados no concreto para a região da fissura, promovendo sua "auto cicatrização" e fazendo com que seja selada. Tal fato garante uma maior durabilidade da construção.
Impactos Ambientais	Elevado gasto energético e grande impacto sobre o volume da água subterrânea presente na região, uma vez que se bombeia água do subsolo de forma ininterrupta, descartando a mesma nas galerias de águas pluviais.	Redução de impactos ambientais uma vez que evita a instalação de sistemas permanentes de drenagem, o que diminui o uso de energia elétrica, além de não acarretar impacto sobre o volume da água subterrânea.

Fonte: Fracon (2018, p.6) [14]