

ESTUDO DE CASO: IMPERMEABILIZAÇÃO DO SUBSOLO DO CONDOMÍNIO ADELAIDE

Cláudio Neves Ourives (1); Marcelo Araújo (2); Paulo Sérgio Freire (3)

(1) Penetron, claudio@penetron.com.br

(2) Andrade Mendonça, marceloaraujo@andrademendonca.com.br

(3) PS Consultoria, psfreire@mundodoconcreto.com.br

Palavras-chave: subsolo, impermeabilização, concreto, cristalização, proteção

1. Introdução

A construção de condomínios em locais próximos ao mar apresenta diversos desafios nas etapas de projeto, execução e, mais especificamente, na proteção das estruturas contra a maresia e a impermeabilização das áreas mais baixas como subsolos e poços de elevadores. O objetivo deste trabalho é apresentar um estudo de caso da impermeabilização de toda estrutura do subsolo do Condomínio Adelaide, em Salvador, BA.

Construído praticamente dentro do mar da Baía de Todos os Santos, na avenida do Contorno, o subsolo compõe-se basicamente de uma laje de subpressão, com fechamento lateral de muros de concreto moldado “in loco”. A laje de subpressão é submetida a pressões negativas variáveis, com pressão máxima de 4 toneladas por m² e altura de maré de até 2,60m. A área da laje de subpressão, que é praticamente igual a área do terreno, é de 2.500 m². O volume total de concreto é de 630m³.

Para que houvesse uma impermeabilização integral das estruturas do subsolo, foram adotados vários cuidados na etapa de projeto e execução:

- Execução de estacas raiz, para funcionar como estacas de tração;
- Planejamento detalhado do processo executivo sob constante rebaixamento do lençol. Foram usados 7 equipamentos de rebaixamento do lençol, que funcionavam 24 horas;
- Planejamento das etapas de concretagem;
- Adoção de concretos especiais com baixa permeabilidade;
- Uso de aditivo redutor de permeabilidade por cristalização capilar;
- Selamento das juntas de concretagem com veda juntas expansivo.

2. Permeabilidade

A durabilidade do concreto depende muito da facilidade com a qual os fluidos, tanto líquidos como gases, podem ingressar no concreto e se deslocar no seu interior. Essa característica é geralmente mencionada como permeabilidade do concreto. A rigor, permeabilidade se refere ao escoamento de um fluido através de um meio poroso sob diferencial de pressão. Esta propriedade é influenciada pelos poros capilares de dimensões maiores que 50µm, e pelas bolhas de ar incorporado, que podem chegar a até 3mm (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

O escoamento dos fluidos no concreto dependerá da porosidade do concreto. Porosidade é a medida da proporção do volume total do concreto ocupado pelos poros. Se a porosidade for grande e se os poros estiverem interligados, a permeabilidade ou escoamento dos fluidos pode ser alta. Se os poros forem descontínuos, a permeabilidade será baixa, mesmo com a porosidade alta.

Segundo Powers 1959, para altas relações água/ cimento – maiores do que 0,6 a 0,7 – os poros capilares são conectados mesmo com a completa hidratação do cimento. A tabela 1 mostra o tempo requerido para que os poros capilares se tornem descontínuos em função da relação água/cimento.

Tabela 1 – Idade aproximada para que os sistemas de poros capilares se tornem descontínuos*

| Relação água/cimento | Tempo necessário |
|----------------------|------------------|
| 0,40 | 3 dias |
| 0,45 | 7 dias |
| 0,50 | 14 dias |
| 0,60 | 6 meses |
| 0,70 | 1 ano |
| >0,70 | Impossível |

* Powers 1959

A permeabilidade do concreto depende também das dimensões, distribuição, forma, tortuosidade e continuidade dos poros. Também é influenciada pelas propriedades do cimento. Para uma mesma relação água/cimento, cimentos mais grossos tendem a produzir pastas de cimento com porosidade maior do que as produzidas por cimentos mais finos. Em geral, quanto maior a resistência da pasta endurecida, menor a permeabilidade.

Quanto aos agregados, em geral, é pequena a influência do teor de agregado na mistura não contribuindo muito para o escoamento de fluidos. A permeabilidade da pasta de cimento é que tem o principal efeito sobre a permeabilidade do concreto.

Especificamente no concreto, buscam-se técnicas para a diminuição de sua permeabilidade, uma vez que isso propicia maiores resistências mecânicas e uma maior durabilidade. Para que se reduza a passagens de fluidos pelo concreto, faz-se necessário melhorar a pasta de cimento que envolve os agregados. Isso é possível reduzindo a quantidade de água livre no concreto, por meio do uso de baixas relações água/cimento e, conseqüentemente, de maiores consumos de cimento e de aditivos redutores de água, tais como os superplastificantes, e de um processo de cura adequado.

Há ainda a possibilidade do uso de aditivos específicos para impermeabilização por cristalização integral, os quais são adicionados ao traço do concreto no momento de sua produção.

3. Características e desempenho dos materiais usados

3.1 Concreto

À partir dos traços apresentados para a obra do edifício Adelaide, conforme tabela 2, foram verificadas as propriedades do concreto no estado fresco utilizando os seguintes ensaios:

- Avaliação da consistência do concreto pelo método de abatimento do tronco cone – NBR NM 67;
- Verificação das propriedades (trabalhabilidade, consistência, segregação, etc) para as classes de concreto estudadas.

Tabela 2 – traço do concreto especificado x obtido em obra

| Materiais | Traços em kg/m³ | Traços em kg/m³ na OBRA |
|---|-----------------------------------|---|
| Cimento CII F 32 | 410 | 410 |
| Agregado miúdo natural | 494 | 494 |
| Agregado miúdo artificial | 212 | 212 |
| Agregado graúdo D _{máx} 19mm | 1112 | 1112 |
| Aditivo Plastificante | 3,03 l/m ³ | 3,03 l/m ³ |
| Aditivo Redutor de Permeabilidade por cristalização | - | 4,1 kg/ m ³ |

| | | |
|------|-----|-----|
| Água | 194 | 194 |
|------|-----|-----|

| Ensaio de abatimento do concreto | | |
|---|--------|--------|
| Abatimento esperado (mm) | 100±20 | 100±20 |
| Abatimento obtido (mm) | 160 | 150 |

| Resistência do concreto | | |
|--------------------------------|---|---|
| Especificação | Sem o aditivo redutor de permeabilidade | Com o aditivo redutor de permeabilidade |
| 3 dias (32 MPa) | 32,2 | 29,5 |
| 7 dias (36 MPa) | 38,2 | 44,3 |
| 28 dias (46,6 MPa) | 47,7 | 50,1 |

3.2 Aditivo redutor de permeabilidade

O aditivo redutor de permeabilidade por cristalização capilar é adicionado ao traço do concreto no momento de sua produção em dosagens que variam de 0,8% a 1,0% sobre a massa de cimento. Estes aditivos consistem de cimento Portland, areia de sílica fina tratada e compostos químicos ativos, os quais reagem com a umidade do concreto fresco e com os produtos da hidratação do cimento formando uma estrutura cristalina insolúvel nos poros e capilares do concreto (PENETRON, 2012). Dessa maneira o concreto se torna permanentemente selado contra a penetração de água ou de outros líquidos em qualquer direção. O concreto fica também protegido da deterioração devido aos agentes agressivos da atmosfera.

Ensaio realizado na Universidade Federal do Ceará por CABRAL, TORRES, OURIVES 2012, avaliaram o desempenho do concreto com a adição do aditivo redutor de permeabilidade por cristalização quanto a penetração de água sob pressão, conforme a UNE 83-309-90 (Tabela 3). Diante dos resultados apresentados, pode-se concluir que a adição do aditivo redutor de permeabilidade por cristalização no concreto avaliado diminuiu em média 57% a profundidade de penetração máxima de água no ensaio de permeabilidade e reduziu em média 51,7% a penetração de cloreto a uma profundidade de 3cm.

Tabela 3 – Resultados de penetração de água sob pressão – UNE 83-309-90

| Tipo de concreto | Profundidade máxima de penetração da água (mm) | Tipo de cura |
|---------------------------------------|--|--|
| Referência | 47,0 | 28 dias submerso |
| | 53,0 | |
| | 49,0 | |
| | 50,0 | 2 ciclos de 7 dias submerso e 7 dias ao ar |
| | 42,0 | |
| | 49,0 | |
| Com aditivo redutor de permeabilidade | 19,8 | 28 dias submerso |
| | 21,1 | |
| | 23,8 | |
| | 19,7 | 2 ciclos de 7 dias submerso e 7 dias ao ar |
| | 21,6 | |
| | 20,5 | |

3.3 Veda juntas para selamento de junta de concretagem

O veda juntas utilizado é um composto de selamento que se expande de forma controlada quando exposto a umidade tornando-se um material de selamento para aplicações em juntas de construção. É um produto de selamento sofisticado à base de materiais hidrofílicos. Não se expande prematuramente mesmo com o lançamento do concreto fresco. Em ensaio de penetração de água sob pressão em junta de concretagem (Figura 1), CT-18733-JAS – Cingapura (2012), resistiu à pressão de até 6 bar. (Tabela 4)



Figura 1 – aparato de ensaio de pressão em junta de concretagem - CT-18733-JAS – Cingapura (2012).

Tabela 4 – Evolução de pressão de água no aparato de ensaio e resultados.

| Corpos de Prova de Referência | Controle do teste | | |
|--|--------------------------|----------------------|--|
| Data inicial | Data final | Pressão (psi) | Observação |
| 03/01/12 | 06/01/12 | 0 | Água potável foi introduzida no aparato deixando estabilizado por 72 horas sem pressão |
| 06/01/12 | 06/01/12 | 0,2 | Vazamento de água e queda de pressão. |
| O teste foi interrompido após o vazamento de água | | | |

| CPs com veda junta expansivo | Controle do teste | | |
|-------------------------------------|--------------------------|----------------------|--|
| Data inicial | Data final | Pressão (bar) | Observação |
| 03/01/12 | 06/01/12 | 0 | Água potável foi introduzida no aparato deixando estabilizado por 72 horas sem pressão |
| 06/01/12 | 09/01/12 | 0,34 | Sem vazamento de água ou queda de pressão |
| 09/01/12 | 11/01/12 | 0,69 | Sem vazamento de água ou queda de pressão |
| 11/01/12 | 16/01/12 | 1 | Sem vazamento de água ou queda de pressão |

| | | | |
|--|----------|---|---|
| 16/01/12 | 19/01/12 | 2 | Sem vazamento de água ou queda de pressão |
| 19/01/12 | 25/01/12 | 3 | Sem vazamento de água ou queda de pressão |
| 25/01/12 | 30/01/12 | 4 | Sem vazamento de água ou queda de pressão |
| 30/01/12 | 02/02/12 | 5 | Sem vazamento de água ou queda de pressão |
| 02/02/12 | 09/02/12 | 6 | Sem vazamento de água ou queda de pressão |
| O teste foi interrompido após 7 dias a uma pressão de 6 bar sem vazamento ou queda de pressão | | | |

4. Roteiro executivo da laje de subpressão e cortina do subsolo.

4.1 Planejamento da obra

Nesta fase, todo o processo de dosagem e concretagem, de tratamento das juntas e os detalhes executivos foram discutidos para obtenção do melhor controle de qualidade e resultado. Em resumo, os principais itens verificados foram:

- Identificação da equipe chave e pessoas de contato (incluindo coordenadores da obra, concreteira, laboratório e outros);
- Informação do traço do concreto (tipo do concreto, relação água/cimento, aditivos e outros);
- Discussão dos detalhes executivos de projeto;
- Informação detalhada do cronograma de concretagem (datas);
- Boas práticas de concretagem e procedimentos de controle de qualidade antes, durante e depois do lançamento.

4.2 Adição do aditivo redutor de permeabilidade por cristalização integral

O momento da adição é definido em função da:

- Disponibilidade de estocagem do aditivo na obra ou na usina de concreto;
- Responsabilidades definidas entre a concreteira e a construtora;
- Volume de concreto;
- Acessibilidade a obra;
- Cronograma de concretagens.

No Edifício Adelaide, foi feita a opção pela adição em obra do aditivo redutor de permeabilidade. Para que isso fosse possível, foi disponibilizada uma embalagem com filme plástico hidrossolúvel, pré-dosada, com 3kg do aditivo. A quantidade de sacos por caminhão é determinada em função da quantidade de material calculada por m^3 de concreto de acordo com a dosagem de 1% em relação à massa de cimento. No caso, foram adicionados $4,1kg/m^3$ de concreto. Para cada caminhão de $8m^3$, 11 sacos de 3kg. O caminhão deve misturar o concreto por pelo menos 10 minutos no balão. (Foto 2)

O aditivo redutor de permeabilidade por cristalização apresenta um rastreador para identificação do concreto aditivado durante a concretagem e após o concreto endurecido. Esse rastreador é sensível a luz UV tornando a cor da água de exsudação amarelo-fluorescente. Não há alteração da cor do concreto endurecido. (Foto 3)



Foto 2 – Aditivo redutor de permeabilidade por cristalização em saco hidro solúvel sendo adicionado no balão do caminhão.

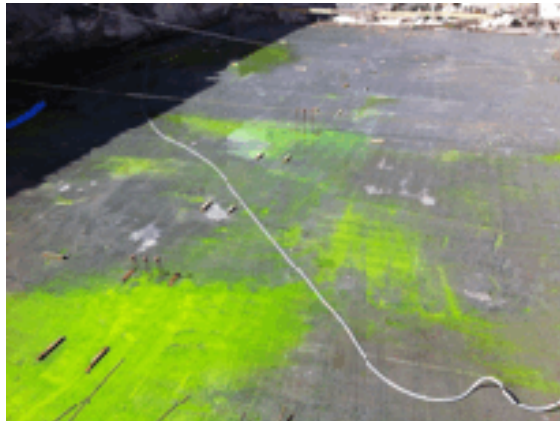


Foto 3 – Foto de laje recém concretada com rastreador mostrando a presença do aditivo redutor de permeabilidade.

4.3 Instalação do veda juntas hidroexpansivo

O veda juntas hidroexpansivo foi instalado em todas as juntas de concretagem do piso, nas juntas de encontro dos pilares e na junta periférica entre a laje de subpressão e a cortina de concreto (Foto 4). O roteiro executivo de instalação do veda juntas consiste em:

- Limpeza da superfície de concreto;
- Pré instalação de pregos;
- Fixação do veda juntas momentos antes da concretagem na metade da seção da junta de concretagem ou pelo menos a 5cm da superfície de concreto;
- Remoção do filme de papel *kraft* antes da concretagem.



Foto 4 – Junta de concretagem da laje de subpressão com o veda juntas hidroexpansivo instalado.

4.4 Tratamento dos furos de tirante de fixação das fôrmas da cortina

Após a execução dos muros de contenção laterais, os furos de tirante foram preenchidos com uma argamassa cimentícia com composto de cristalização na forma “dry pack”. (Foto 5).



Foto 5 – Tamponamento dos furos de tirante da cortina.

4.5 Reparos em bicheiras e fissuras maiores do que 0,4mm.

Possíveis patologias podem surgir e devem ser tratadas para melhor eficiência do sistema. As bicheiras foram tratadas com a remoção do concreto deteriorado e a recomposição com argamassa cimentícia com composto de cristalização (Fotos 6 e 7). As fissuras com abertura maior do que 0,4mm também foram tratadas abrindo-se uma canaleta de 2,5cm x 2,5cm (Foto 8); limpeza da superfície; saturação do substrato; recomposição da canaleta com argamassa cimentícia com composto de cristalização (Foto 9). Em ambos os casos foi feita cura úmida.



Foto 6 – Remoção de concreto em bicheira.



Foto 7 – Reparo com argamassa de reparo



Foto 8 – Fissura passiva com abertura > 0,4mm.



Foto 9 – Tratamento de fissura.

4.6 Desligamento do sistema de rebaixamento do lençol freático

O desligamento das ponteiros deve ser realizado de forma gradual. O procedimento de retirada das ponteiros inclui o tratamento do furo deixado na laje com argamassas de pega rápida e argamassas de reparo com composto de cristalização. (Figura 1 e Foto 10)

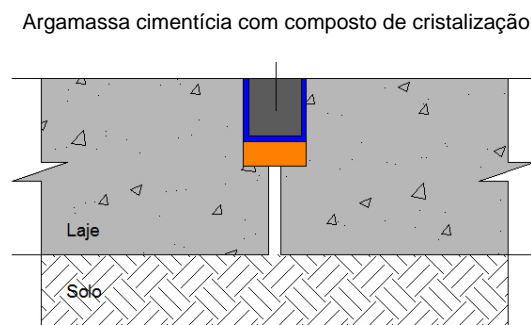


Figura 1 – Tamponamento de furo da ponteira com argamassa de pega rápida e argamassa cimentícia com composto de cristalização.



Foto 10 – Tamponamento definitivo de furo após a remoção da ponteira de rebaixamento.

5. Conclusão

O sistema que envolveu o planejamento das etapas de execução das lajes e cortinas do subsolo, a tecnologia de concreto, o uso do aditivo redutor de permeabilidade e o tratamento das juntas entre as etapas de concretagem permitiu que:

- A estanqueidade do subsolo fosse obtida durante a própria execução da estrutura de concreto, otimizando o uso do material concreto, reduzindo o uso de materiais em obra e mão-de-obra;
- A estrutura de concreto tivesse um ganho de vida útil proporcionado pelo traço do concreto e pelo uso do aditivo redutor de permeabilidade por cristalização;
- O atendimento ao cronograma final da obra, sem atrasos do processo de execução da estrutura.

6. Relatório fotográfico geral da obra



Foto 11 - Subsolo escavado com rebaixamento do lençol



Foto 12 – Bombeamento do sistema de rebaixamento. Maré alta.



Foto 13 – Estacas raízes concretadas e expostas.



Foto 14 – Vista frontal do ed. Adelaide. Maré baixa.



Foto 15 – Vista interna do subsolo seco.



Foto 16 – Estrutura em fase de acabamento.



Foto 17 – Foto ilustrativa do empreendimento Ed. Adelaide.

7. Referências bibliográficas

CABRAL, A.E.B.; TORRES, J. R.; OURIVES, C.N.; Avaliação do uso de aditivo para impermeabilização por cristalização no concreto – Maceió: IBRACON, 2012.

Caracterização de concreto fresco e endurecido da obra do Ed. Adelaide – CONCRETA, 2011.

Ensaio de penetração de água em junta - CT-18733-JAS – Cingapura, 2012.

MEHTA, P. K. MONTEIRO, P. J. M. Concreto: microestrutura, propriedades e materiais. São Paulo: IBRACON, 2008.

Powers, T.C.; Copeland L.E.; and Mann, H.M., *Capillary Continuity and Discontinuity in Cement Pastes, RX110, Portland Cement Association*, 1959, pages 38-48.

PENETRON. Ficha técnica do Penetron Admix, São Paulo, 2012.

PENETRON. Ficha técnica do Penebar SW, São Paulo, 2012.