INSPEÇÃO E DIAGNÓSTICO DE RESERVATÓRIO DE ÁGUA POTÁVEL EM CONCRETO ARMADO

TERNES, Maria Carolina[1], GOGOLA, Gilberto Walter[2], ARAUJO, Ricardo Melo[3]

[1] Companhia Paranaense de Energia, Técnica em Edificações, Tecnóloga em Construção Civil - Concreto (UTFPR), e-mail: maria.ternes@copel.com
[2] Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Professor, Mestre em Eng. Civil (UFPR), e-mail: gogola@utfpr.edu.br
[3] Faculdade Educacional Araucária, Professor, Mestre em Eng. de Materiais (UTFPR), e-mail: meloaraujo@gmail.com

RESUMO

Companhias de saneamento possuem grande patrimônio em estruturas de concreto armado, destinados a tratar, distribuir e armazenar água, estes estão expostos a condições severas de agressividade, devido à presença de cloro. A manutenção representa valor significativo do investimento, além da paralisação do sistema. As manifestações patológicas destas estruturas estão relacionadas à corrosão da armadura e degradação do concreto, daí a necessidade de avaliar as características do concreto e do meio ambiente, analisando os mecanismos de degradação. Este trabalho apresenta os resultados da inspeção e diagnóstico de um reservatório de água potável em concreto armado em Curitiba. Objetivando caracterizar a estrutura de concreto foram realizados os seguintes ensaios: absorção de água por imersão e por capilaridade, índice de vazios, massa específica e resistência à compressão. Visando o diagnóstico da estrutura avaliou-se a profundidade de carbonatação, presença de cloretos e inspeção visual da estrutura. A pesquisa demonstrou que, em função da baixa espessura de cobrimento das armaduras, falta de manutenção e impermeabilização das estruturas e ao alto teor de cloro livre no ambiente, a laje e vigas apresentaram várias manifestações patológicas , principalmente corrosão da armadura e fissuras. O concreto da estrutura apresentou propriedades mecânicas adequadas apesar de carbonatado e contaminado com cloro.
Palavras chave: Inspeção; Diagnóstico; Reservatório de água; Corrosão; Carbonatação.

ABSTRACT

Water Treatment Companies has a big patrimony of constructions built in reinforced concrete, whose function is the treatment, distribution and the storage of water. These constructions are exposed to environment with severe conditions, due to there is chloride in these places. The maintenance of these constructions has a significant value in the investments, beyond the stop for maintainability of the system. The pathological manifestations of these constructions are related to iron reinforcement corrosion and degradations of the concrete, therefore its necessary to study and evaluating the concrete structures characteristics and the environment characteristic too, analyzing the degradation mechanisms. This report shows the results of the inspection and the diagnosis of a drinkable water tank built with reinforced concrete at Curitiba city. To characterizing the reinforced concrete structure the following tests were performed: Water absorption by immersion and by capillary, voids index, density and compressive strength. To diagnosing the structure was evaluated the depth of the carbonation, the presence of chlorides and visual inspection of the concrete structure. The result of this work showed due to the low thickness of the covering of the iron by the concrete mass, no maintenance and no waterproofing of the structures and the high chloride content in the environment, the structure components of the tank (slab, beam) had several pathological manifestations, especially corrosion of reinforcement and cracks. The concrete of the structure showed adequate mechanical properties despite of carbonated and contaminated surface with chlorine.
Keywords: Inspection, Diagnostic, Water tank, Corrosion, Carbonation.

1. INTRODUÇÃO

Segundo Brunauer e Colepand[1] (1964, *apud* Metha e Monteiro, 2008) o concreto é o material mais largamente usado na construção civil. É um material utilizado para a execução de casas e edifícios residenciais, obras de arte do tipo pontes e viadutos e ainda obras de infraestrutura que garantem a saúde da população como estações de tratamento de água e de esgoto. Porém, quando a estrutura de concreto, serve a outra função que não a projetada, ou não ocorre manutenção periódica, falha de projeto ou execução, materiais não adequados ou de qualidade duvidosa, ou ainda quando o ambiente a que está exposto é agressivo ao concreto, podem então, surgir danos à esta estrutura.

Segundo Cánovas (1988) o concreto armado, deve reunir não apenas condições de resistência mecânica, mas também condições de suportar as ações externas de caráter físico e químico. Ações do tipo químico são as de maior importância e as que maiores danos produzem. As três principais causas de corrosão química do concreto: gases contidos na atmosfera (CO_2, SO_2, etc.); águas puras, turvas, ácidas, selenitosas e marinhas; compostos fluídos ou sólidos de natureza orgânica (óleos gorduras, combustíveis, líquidos alimentares, etc.).

Os reservatórios de água tratada para abastecimento público em concreto armado, embora projetados para esta finalidade, estão expostos ao ambiente extremamente agressivo do seu conteúdo, pois essas águas contêm uma elevada quantidade de cloro (0,6 a 2,0 ppm), utilizado para manter sua potabilidade. (Sanepar, 2010)

Conforme Tinoco e Morais (2013) as manifestações patológicas mais comuns em reservatórios de água de concreto no estado do Rio Grande do Norte são: fissuras, corrosão das armaduras, desplacamento do concreto, vazamento na câmara e armadura seccionadas.

Segundo Mehta e Monteiro (2008), em países desenvolvidos cerca de 40% do total de recursos da construção civil são destinados a reparos, substituição ou manutenção de estruturas existentes.

[1] BRUNAUER, S, L. E. COPELAND, **Scientific American,** 1964

1.1 Objetivos

A pesquisa tem como objetivo a realização de inspeção e diagnóstico das manifestações patológicas em um reservatório de água potável, na cidade de Curitiba. O reservatório é um paralelepípedo, não regular, possuindo volume total de 8640m³, apresentando uma junta de dilatação, aproximadamente no meio do reservatório. Para a caracterização do concreto serão realizados os ensaios descritos na metodologia.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capitulo será realizada um breve revisão dos assuntos pertinentes à pesquisa como: durabilidade, patologia e mecanismo de transportes dos fluídos no concreto.

2.1 Durabilidade

Durabilidade, segundo a NBR 6118:2007, consiste na capacidade da estrutura resistir às influencias ambientais, previstas e definidas em conjunto pelo autor do projeto estrutural e o contratante, no inicio dos trabalhos de elaboração do projeto. A versão anterior da norma tratava o assunto durabilidade de maneira superficial.

Conforme Neville (1997) durabilidade do concreto não significa vida eterna, nem significa suportar qualquer tipo de ação. Além disso, hoje em dia considera se que em muitas situações, seja necessária uma manutenção de rotina do concreto.

Segundo a NBR 6118:2007, em condições de exposição adversas devem ser tomadas medidas especiais de proteção e conservação, como aplicação de revestimentos hidrofugantes e pinturas impermeabilizantes sobre as superfícies do concreto, também revestimentos de argamassas, de cerâmicas ou outros, sobre a superfície do concreto, galvanização da armadura, proteção catódica da armadura entre outros.

Cánovas (1988) cita que a durabilidade está intimamente ligada à qualidade e embora esta tenha avançado muito, os danos e agressões não diminuíram na mesma proporção.

2.2 Patologia

Segundo Helene (1988) patologia pode ser entendida como a parte da engenharia que estuda os sintomas, os mecanismo, as causas e as origens dos defeitos das construções civis, ou seja, é o estudo das partes que compõem o diagnóstico do problema.

Segundo Andrade e Silva (2005) o termo patologia é empregado na engenharia civil quando ocorre perda ou queda de desempenho de um produto ou componente da estrutura. Manifestações patológicas são problemas que aparecem nas edificações comprometendo algumas das suas exigências, sejam elas estéticas, funcionais ou estruturais.

Uma elevada porcentagem das manifestações patológicas tem origem nas etapas de projeto e planejamentos, essas falhas são, em geral, mais graves que as de qualidade dos materiais ou de má execução. (HELENE, 1988)

Conforme Andrade e Silva (2005) a análise dos danos é função também de dois aspectos essenciais: tempo e condições de exposição, o que a torna associada aos conceitos de durabilidade.

2.3 Mecanismo de transporte de fluídos no concreto

Segundo Nepomuceno (2005) os principais mecanismos de transporte que atuam no concreto, são transportado de água por pressão e por sucção capilar, a difusão, devido a um gradiente de concentração, de temperatura ou densidade, além do movimento de íons devido à movimentação de água por diferença de potencial.

Conforme Neville (1997) os fluídos que interferem na durabilidade e que podem ingressar no concreto são a água pura ou com íons agressivos e dióxido de carbono ou oxigênio. A durabilidade do concreto depende muito da facilidade com a qual os fluídos, tanto líquido como gases, podem entrar no concreto e se deslocar no seu interior, essa característica pode ser tratada como permeabilidade.

Deve-se observar que a propriedade de transporte de fluído dos materiais está em continua mudança por causa dos ciclos de estreitamento ou alargamento dos poros e microfissuras decorrentes das interações físico-químicas que ocorrem entre o fluido penetrante e os compostos da pasta de cimento. (METHA e MONTEIRO, 2008)

Os principais mecanismos de transporte de fluídos no concreto são: permeabilidade e porosidade, difusão e absorção capilar.

2.3.1 Permeabilidade e porosidade

A permeabilidade do concreto depende do tamanho, distribuição e continuidade dos poros da pasta, da permeabilidade dos agregados, da zona da transição pasta/ agregado, do lançamento, adensamento e cura. (SILVA, 1995)

Conforme Neville (1997), porosidade é a proporção do volume total do concreto ocupada pelos poros, expressa em porcentagem. Se a porosidade for grande e os poros estiverem

interligados, estes contribuem para o deslocamento de fluídos através do concreto, de modo que a permeabilidade também será alta. Por outro lado se os poros forem descontínuos ou ineficazes para o deslocamento dos fluídos a permeabilidade do concreto será baixa, mesmo com porosidade alta.

De acordo com Andrade (1997) a permeabilidade do concreto está intimamente ligada a três fatores:

- Materiais constituintes, ou seja, teor de qualidade da água de amassamento; teor de finura e adições ao cimento; teor, granulometria e porosidade dos agregados; além de aditivos químicos para o concreto.
- Métodos de preparação: mistura, adensamento e acabamento superficial.
- Condições subsequentes: idade e cura do concreto.

2.3.2 Difusão

Segundo Neville (1997), a difusão ocorre quando o deslocamento de um gás ou vapor através do concreto se faz como resultado de um gradiente de concentração e não de um diferencial de pressão. Além da difusão dos gases, íons de caráter agressivo, particularmente cloretos e sulfatos, se deslocam por difusão na água dos poros.

A difusão dos íons cloreto será mais intensa quanto maior sua concentração na solução externa. Em estruturas parcialmente submersas em água contaminada com íons cloretos, a região acima da linha d'água é a mais contaminada devido à elevação da concentração, à medida que a água sobe por capilaridade, leva os íons cloreto no qual se evaporam. (HELENE, 1986)

2.3.3 Absorção capilar

Conforme Nepomuceno (2005), a absorção capilar é um dos mecanismos de transporte que mais afeta a durabilidade das edificações, os materiais de construção raramente estão saturados, um dos principais mecanismos de penetração de líquidos é o por capilaridade, em que os pequenos poros presentes produzem grandes forças capilares que controlam o ingresso dos líquidos.

De acordo com Helene (1986), a absorção de água do concreto é um dos fatores mais difíceis de serem controlados. Em principio, quanto menor for o diâmetro dos capilares, maior as pressões capilares e consequentemente, maior e mais rápida a absorção da água.

2.4 Principais manifestações patológicas

As principais manifestações patológicas em estruturas de concreto para armazenamento de água são: ataque por cloretos; corrosão da armadura; carbonatação e fissuras.

2.4.1 Ataque por cloretos

O ataque por cloretos geralmente surge quando os íons cloretos se originam do meio, eles penetram no concreto pela movimentação da água, bem como por difusão dos íons na água e por absorção. O ingresso prolongado e repetido resulta em altas concentrações junto à superfície da armadura. (NEVILLE, 1997)

Mehta e Monteiro (2008) afirmam que sob certas condições, como por exemplo, quando o concreto tem alta permeabilidade ou quando os álcalis e a maior parte do hidróxido de cálcio é carbonatada ou lixiviada, o pH do concreto junto ao aço pode ser reduzido a menos de 11,5. Isso destrói a passividade do aço e propicia condições para o processo de corrosão.

Maia e D'Ávila (2007) explicam que a penetração do cloreto através dos poros ou trincas do concreto, por difusão, impregnação ou absorção capilar ao superarem certo ponto de concentração em relação à de hidroxilas nos poros do concreto, despassivam a superfície do aço.

Helene e Pereira (2005) ainda afirmam que essa concentração crítica de íons de cloreto em contato com a superfície da armadura além de provocar a perda da camada protetora no aço, inicia também a corrosão localizada desta. Esta concentração depende de diversos fatores, tais como o pH, o teor de aluminato tricálcico (C_3A) no cimento e, do teor de umidade do concreto.

2.4.2 Corrosão da armadura

Neville (1997) relata que a corrosão surge quando existe diferença de potencial elétrico entre dois pontos do aço, forma-se uma célula eletroquímica com uma região anódica e uma catódica ligada por eletrólitos de água dos poros da pasta endurecida.

Silva (1995) cita que os fatores que definem o intervalo de tempo ou duração do período de propagação e exerce grande influência na taxa de corrosão são: umidade relativa dos poros, temperatura ao redor das áreas de corrosão, composição química da solução dos poros, circundantes ao aço, porosidade do concreto, condições do meio e espessura do cobrimento.

Mehta e Monteiro (2008) alertam que os danos resultantes da corrosão da armadura aparecem como expansão, fissuração e lascamento do concreto de cobrimento.

Segundo Neville (1997) para efeitos práticos, a prevenção da corrosão é feita pelo controle do ingresso de cloretos, pela espessura e penetrabilidade do concreto de cobrimento da armadura.

Conforme Cascudo (2005) a corrosão é um processo de deterioração da fase metálica, que resulta na perda progressiva de seção do aço. Simultaneamente formam-se os produtos da corrosão de caráter expansivo. A corrosão é um processo evolutivo e tende a se agravar com o seu decurso. Em estágios avançados, compromete a segurança estrutural, podendo resultar em colapso das estruturas de concreto.

2.4.3 Carbonatação

Conforme Neville (1997) a importância da carbonatação reside no fato de que ela reduz o pH da água dos poros da pasta de cimento de valores 12,6 e 13,5 para cerca de 9. Por esse motivo, é importante conhecer a sua profundidade e se atingiu a superfície da armadura, podendo haver corrosão mesmo com a frente de carbonatação completa a alguns milímetros da superfície do aço.

Nas superfícies expostas das estruturas de concreto, a alta alcalinidade, obtida principalmente à custa da presença de hidróxido de cálcio $Ca(OH)_2$ liberado das reações de hidratação, pode ser reduzida com o tempo. Essa redução ocorre, essencialmente, pela ação do CO_2 e outros gases ácidos como SO_2 e H_2S. Esse processo, se denominado carbonatação do concreto e ocorre lentamente. (HELENE, 1986)

O fator fundamental que controla a carbonatação é a difusividade da parte de cimento hidratada. A difusividade é uma função do sistema de poros da pasta de cimento durante o período que ocorre a difusão do CO2. Conclui-se que são importantes o tipo de cimento, a relação água/cimento e o grau de hidratação. (NEVILLE, 1997)

2.4.4 Fissuras

Conforme Thomaz e Carneiro (2007), em estruturas de reservatórios, as fissuras podem causar o comprometimento do desempenho destas, levando a diminuição da sua durabilidade, e deve ser limitada a uma abertura máxima característica igual a 0,1mm.

De acordo com Andrade (1997), as fissuras podem ocorrer no concreto antes ou após o endurecimento da massa e ser causadas por diversos fatores, dentre os quais se destacam:

- Fissuras anteriores ao endurecimento da massa: fissuras causadas por assentamento da massa, causadas pela retração plástica e em mapa.

- Fissuras posteriores ao endurecimento: fissuras de retração por secagem ou retração hidráulica, fissuras de reação álcali-agregado, fissuras por ação mecânica fissuras de origem térmica e fissuras por corrosão da armadura.

Conforme a NBR 6118:2007 o risco e a evolução da corrosão do aço na região das fissuras de flexão transversais à armadura principal dependem essencialmente da qualidade e da espessura do concreto de cobrimento da armadura.

3. METODOLOGIA

A seguir serão apresentados a metodologia e os ensaios utilizados para o desenvolvimento do trabalho. Os trabalhos de inspeção e diagnósticos foram realizados em outubro de 2010.

3.1 Ensaios

- Determinação da absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica (NBR 9778:2005) – fragmentos de concreto de demolição e testemunhos (diâmetro de 75 mm e altura variável) extraídos do reservatório.
- Determinação da absorção de água por capilaridade (NBR 15.259:2005) – testemunhos de concreto extraídos do reservatório.
- Resistência à compressão (NBR 5739:2007) – testemunhos de concreto (150x75mm), extraídos do reservatório.
- Determinação da profundidade de carbonatação – aspersão de solução de solução de fenolftaleína (1%), nos corpos-de-prova extraídos da estrutura.
- Determinação da presença de cloro – aspersão de solução de solução de nitrato de prata ($AgNO_3$ a 0,005 mol), nos corpos-de-prova extraídos da estrutura. Os ensaios foram realizados em laboratório, onde se buscava determinar a profundidade de contaminação do concreto por cloro livre, conforme Saciloto (2005).

3.2 Inspeção visual do reservatório

O reservatório foi inspecionado visualmente, sendo examinados os principais elementos estruturais de concreto, interna e externamente ao reservatório, conforme Andrade e Pedrix (1992). Buscou-se identificar os pontos com manifestações patológicas mais relevantes, apresentando qualitativamente o resultado da inspeção realizada, sendo realizado um registro fotográfico e descrição detalhada da situação do elemento estrutural. As manifestações

patológicas foram analisadas conforme a sequência abaixo: descrição do dano; elemento estrutural; localização da patologia; sintomatologia e diagnóstico provável.

4. APRESENTAÇÃO E ANALISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados e analisados os resultados obtidos nos ensaios laboratoriais e na inspeção realizada no Reservatório de água potável.

Foram analisadas amostras de concreto extraídas das paredes e teto do reservatório. Não foram encontradas informações quanto à dosagem do concreto, assim como da resistência à compressão e outras propriedades do concreto.

4.1 Determinação da absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica

A Tabela 1 apresenta os resultados do cálculo para determinação da absorção por imersão, índice de vazios e massa específica (seca, saturada e real) do concreto extraído do reservatório conforme a norma NBR 9778:2005. Para a realização desde ensaio foram utilizados fragmentos de concreto oriundos da demolição de paredes e teto para abertura de acesso durante a reforma ou pedaços dos corpos-de-prova extraídos. Os fragmentos ensaiados apresentavam parâmetros de volume mínimo menor que a norma preconiza.

Tabela 1 – Resultados do ensaio de absorção de água por imersão.

Elemento	Absorção	Índice de vazios	Massa esp. seca	Massa esp. Saturada	Massa esp. real
Parede - Média	5,72	12,96	2,27	2,39	2,60
Teto - Média	5,49	12,03	2,19	2,31	2,49

A absorção e o índice de vazios médio do concreto extraído das paredes foram superiores ao extraído do teto.

Os resultados dessa menor absorção e índice de vazios para os concretos do teto podem estar relacionados ao fato do mesmo possuir uma camada de concreto pobre sobre ele, provavelmente para fins de proteção. O acúmulo de água pode causar lixiviação deste material para dentro do concreto da laje, como identificado em alguns pontos dentro do reservatório, com a formação de estalactites.

Os valores obtidos no cálculo da massa específica (seca, saturada e real) foram condizentes com concretos produzidos com materiais da região. O concreto extraído das paredes apresentam valores de massa especifica (seca, saturada e real) superiores ao material extraído do teto.

4.2 Determinação da absorção de água por capilaridade

Esse ensaio é utilizado para determinação da absorção de água em argamassas, sendo usualmente utilizado em concreto. A Tabela 2 apresenta dos resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade. Os resultados indicam menor absorção do concreto extraído do teto (média 0,027%) quando comparado com o concreto da parede (média 0,077%) para o tempo de 90 minutos.

De acordo com Helene (1986), reduções na relação água/cimento parecem contribuir para reduzir a absorção, porém, à medida que tornam o concreto mais denso e compacto, diminuem o diâmetro dos capilares e desde que estejam intercomunicáveis, podem aumentar a absorção capilar.

Tabela 2 – Resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade.

Elemento	Absorção	Massa esp. real
Parede - Média	5,72	2,60
Teto - Média	5,49	2,49

4.3 Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos

A Tabela 3 apresenta os resultados da resistência mecânica à compressão dos corpos-de-prova extraídos, assim como a resistência média em função do elemento estrutural.

Tabela 3 – Resultados do ensaio de resistência à compressão.

Elemento	1	2	3	Média
Parede	36,4	36,3	31,2	36,6
Teto	39,6	37,6	42,8	40,0

Os resultados da resistência mecânica a compressão média obtidos foram de 36,6 e 40 MPa, respectivamente da parede e teto do reservatório, valores estes inferiores ao que preconiza a norma atual de projeto de estruturas de concreto (NBR 6118:2007). A resistência à compressão segundo esta (Tabela 7.1) para concretos com classe de agressividade IV deve ser maior ou igual a 40MPa com fator a/c menor de 0,45. Entretanto, altos para o padrão de resistência adotado na década de 70 quando do projeto da estrutura. A Figura 1 apresenta os resultados individuais de resistência à compressão.

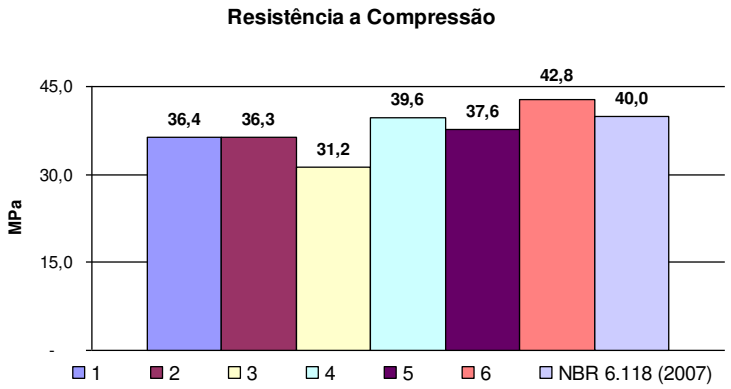


Figura 1 – Resultado da determinação da resistência mecânica à compressão.

4.4 Determinação da profundidade de carbonatação com o uso de fenolftaleína

Após extração os corpos-de-prova foram mantidos em sacos plásticos fechados e o ensaio para determinação da profundidade de carbonatação foi realizado no laboratório, com o uso do indicador químico de solução de fenolftaleína. A Figura 2 mostra o resultado deste ensaio. Todas as amostras apresentavam-se carbonatadas, indicando pH superior a 9.



Figura 2 – Mostra os resultados do ensaio para determinação da profundidade de carbonatação, em laboratório. Na sequência da esquerda para direita, CP1 ao CP6.

4.5 Determinação da presença de cloro com o uso de nitrato de prata

O resultado do ensaio qualitativo para determinação da presença de cloro é apresentado na Figura 3 que mostra os corpos-de-prova de concreto após a aplicação da solução de nitrato de prata.



Figura 3 – Mostra os resultados do ensaio para determinação da presença de cloro. Na sequência da esquerda para direita, CP1 ao CP6.

Todos apresentaram aspecto incolor indicando qualitativamente a presença de cloro em sua extensão. Indicando uma concentração maior que 0,15% de cloretos livres.

4.6 Inspeção visual do reservatório

Realizou-se uma inspeção qualitativa do reservatório. Este, apesar de mais de 30 anos de operação, ainda não havia passado por um processo de manutenção corretiva, todavia, encontrava-se em bom estado de conservação. A apresentação completa da inspeção e diagnostico realizada no reservatório é apresentada em Ternes (2011).

As principais manifestações patológicas identificadas estão listadas na Tabela 4.

Tabela 4 – Principais manifestações patológicas.

Patologia	Elemento Estrutural	Imagem
Fissuras por flexão e eflorescência	Laje do teto	
Desintegração do concreto por abrasão – Erosão	Parede	

Continua…

Continua…

Fissuras e degradação do concreto	Viga	
Corrosão de estrutura metálica – Ataque por cloreto	Parede – Escada de Acesso	 
Corrosão da armadura – Viga e Laje de teto	Face inferior da viga e laje de teto	 
Corrosão da armadura – laje original e região de reparo	Laje de teto	 
Ninhos de concretagem (segregação)	Face inferior da viga	

Apesar de operar a mais de trinta anos em condições de ambiente agressivo, o reservatório inspecionado apresentava estruturas de concreto em boas condições, sendo que as principais manifestações patológicas tinham como causa inicial o baixo recobrimento de armadura e posterior ataque por cloretos. Os danos encontrados são similares às apresentadas por Tinoco e Morais (2013) e por Rachid e Londeiro (2013).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As manifestações patológicas encontradas no processo de inspeção e diagnóstico das estruturas de concreto do reservatório podem ser classificadas como tolerável.

Localizadas principalmente na laje e nas vigas do teto do reservatório, os danos, são potencializados principalmente pelo acúmulo de gás cloro, oriundo do processo de tratamento e manutenção da potabilidade da água. O cloro pode agir despassivando e causando a corrosão da armadura. Foi constatado ainda, o baixo recobrimento da armadura em alguns pontos, potencializando o efeito do cloro na estrutura.

As paredes estavam em bom estado de conservação, pois se encontravam completamente submersas e saturadas, sendo que nesta condição, não existem todos os elementos necessários para o processo eletroquímico de formação de células de corrosão na armadura.

A resistência à compressão do concreto obtida foi elevada, para o concreto da laje igual ao mínimo que pede a norma NBR 6118:2007 para a classe de agressividade IV, com elevado risco de deterioração de estrutura, entretanto esse concreto possui mais de trinta anos de maturação, sendo sua resistência inicial inferior. Absorção de água (imersão) e massa especifica (seca, saturada e real) apresentaram resultados coerentes com a bibliografia.

Foi identificada a completa carbonatação do concreto (paredes e teto), com concreto apresentado pH inferior a 9,0. Foi constatado que existe contaminação por cloro livre (teor igual ou superior a 0,15%) em toda espessura do concreto (parede e teto) do reservatório, indicando que existe o potencial de aceleração de degradação da estrutura.

6. REFERÊNCIAS

ANDRADE, W. P. **Concretos: massa, estrutural, projetado e compactado a rolo. Ensaios e propriedades.** São Paulo, Editora Pini, 1997.

ANDRADE Y PERDRIX, M. Del C., **Manual para diagnostico de obras deterioradas por corrosão de armadura.** 1º ed. São Paulo, Ed. Pini, 1992.

ANDRADE, T.; SILVA, Â., **Patologia das estruturas.** :____. Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações. Edit. Isaia, G. C., São Paulo: Ibracon, 2005. V. 2, p.953-984

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.259/05** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro, 2005.

-----. **NBR 5739/07** Concreto - Ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

-----. **NBR 6118/07** Concreto – Projeto de estruturas de concreto - Procedimentos. Rio de Janeiro, 2007.

-----. **NBR 9778/05**- Determinação da absorção de água por imersão - índice de vazios e massa especifica. Rio de Janeiro, 2005.

CÁNOVAS, F. M., **Patologia e terapia do concreto armado.** São Paulo, Ed. Pini, 1988.

CASCUDO, O., **Inspeção e Diagnostico de Estruturas de Concreto com Problemas de Corrosão das Armaduras.** :____. Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações. Edit. Isaia, G. C., São Paulo: Ibracon, 2005. V. 2, p.1071-825

HELENE, P. R. L. (Org.) ; PEREIRA, F. (Org.) . **Manual de Reparo, Proteção e Reforço de Estruturas de Concreto – RED REHABILITAR.** 1. ed. São Paulo: Red Rehabilitar, 2005. v. 1. 715 p.

HELENE, P. R. L. **Manual de reparo, proteção e reforço de estruturas de concreto.** São Paulo, Editora Pini, 1988.

-----. **Corrosão em armaduras para concreto armado**. São Paulo: Pini – Instituto de Pesquisas Tecnológicas IPT, 1986.

MAIA, G. e D'AVILA, C. A. C., **Recuperação de estruturas de concreto no saneamento,** pág. 92- revista Concreto e Construções – ano XXXIV nº 47 , jul, ago, set / 2007.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M., **Concreto - Microestrutura, propriedades e Materiais.** São Paulo: IBRACON, 2008.

NEPOMUCENO, A. A., **Mecanismo de transporte de fluídos no concreto.** :____. Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações. Edit. Isaia, G. C., São Paulo: Ibracon, 2005. V. 1, p.723-825

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. 2º ed. São Paulo: Ed. Pini, 1997.

RACHID, L. E. F., LONDERO, C. **Levantamento de patologias em reservatórios de concreto armado no município de Cascavel-PR**, pag. 17 Revista Técnico Científica – CREA-PR, nº1, 2013.

SANEPAR, **Relatório de potabilidade de água.** Curitiba: Jul. 2010. Relatório Semanal.

SACILOTO, A. P. **Comportamento frente à ação de cloretos de concretos compostos com adições minerais submetidos a diferentes períodos de cura.** 180f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC – Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, Santa Maria, 2005.

SILVA, P. F. A., **Durabilidade das estruturas de concreto aparente em atmosfera urbana,** São Paulo, Ed. Pini, 1995.

TERNES, M. C. **Estudo das patologias e verificação das propriedades do concreto no reservatório de água Corte Branco em concreto armado.** 60f. Diplomação (Graduação em Tecnologia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Curitiba, 2011.

THOMAZ, E. C. S. e CARNEIRO, L. A. V., **Estruturas de reservatórios: conceitos de fissuração e sugestões para execução,** pág. 19- Revista Concreto e Construções – ano XXXIV nº 47 , jul, ago, set / 2007.

TINOCO, H. F. F. e MORAIS, A. S., **Reservatório em concreto armado: principais manifestações patológicas, diagnostico e soluções para reabilitação e reforço,** In. IX Congresso Internacional sobre Patologia e Recuperação de Estruturas, CINPAR – João Pessoas – PB – pg. 1-13 / 2013.