



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

COMUNIDADE EVANGÉLICA LUTERANA "SÃO PAULO"
Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 3.607 - D.O.U. nº 202 de 20/10/2005

Jéssica Minuzzi Arnuti

**AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE DURABILIDADE DOS
RESERVATÓRIOS EM CONCRETO ARMADO DO SISTEMA DE
ABASTECIMENTO DE ÁGUA DA CIDADE DE PALMAS - TO**

PALMAS - TO

2015



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

COMUNIDADE EVANGÉLICA LUTERANA "SÃO PAULO"
Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 3.607 - D.O.U. nº 202 de 20/10/2005

Jéssica Minuzzi Arnuti

AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE DURABILIDADE DOS RESERVATÓRIOS EM CONCRETO ARMADO DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DA CIDADE DE PALMAS - TO

Projeto apresentado como requisito parcial da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II (TCC II) do curso de Engenharia Civil, orientado pelo Professor Mestre Fábio Henrique de M. Ribeiro.

PALMAS - TO

2015

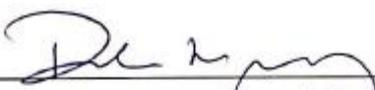
Jéssica Minuzzi Arnuti

**AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE DURABILIDADE DOS
RESERVATÓRIOS EM CONCRETO ARMADO DO SISTEMA DE
ABASTECIMENTO DE ÁGUA DA CIDADE DE PALMAS - TO**

Projeto apresentado como requisito parcial da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II (TCC II) do curso de Engenharia Civil, orientado pelo Professor Mestre Fábio Henrique de M. Ribeiro.

Aprovada em Novembro de 2015

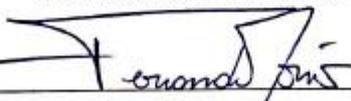
BANCA EXAMINADORA



Prof. M. Sc. Fábio Henrique de M. Ribeiro
Centro Universitário Luterano de Palmas



Prof. M. Sc. Roldão Pimentel de A. Junior
Centro Universitário Luterano de Palmas



Prof. Esp. Fernando Moreno Suarte Júnior
Centro Universitário Luterano de Palmas

PALMAS - TO

2015

EPÍGRAFE

“A água pura, a fim de manter-se pura, é servida em taça vazia. A treva da meia noite é a ocasião em que o tempo dá sinal de partida para novo alvorecer. Por maior que seja a dificuldade, jamais desanime. O nosso pior momento na vida é sempre o momento de melhorar.”

CHICO XAVIER

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus pelas bênçãos e por ter iluminado meu caminho nesses cinco anos.

Agradeço ao meu orientador e professor M. Sc. Fábio Henrique de Melo Ribeiro pelo apoio e dedicação, e por ser um exemplo de profissional da Engenharia Civil.

Agradeço a todos os professores que tive a oportunidade de conhecer e conviver, pela troca de experiências e conhecimento compartilhado.

Agradeço aos amigos que fizeram parte dessa jornada, especialmente a Adriana, Eduardo e Warlismar, pessoas que eu quero ao meu lado além da sala de aula.

Agradeço às pessoas que me apoiaram e que me apoiam independente das dificuldades: minha mãe, Vanuza Amabile Arnuti, a quem devo tudo o que sou; ao meu pai, Jones Vicente Arnuti, que apesar de não estar presente em vida, se faz presente em pensamento; e às minhas irmãs (Bianca e Nicole), companheiras de casa e de vida, que estão junto a mim sempre que preciso.

ARNUTI, J. M. Avaliação das Condições de Durabilidade dos Reservatórios em Concreto Armado do Sistema de Abastecimentos de Água da Cidade de Palmas - TO. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Centro Universitário Luterano de Palmas/ Universidade Luterana do Brasil, Palmas – TO.

RESUMO

Não é de hoje que estruturas em concreto armado que estão em contato direto com a água apresentam manifestações patológicas desde os seus primeiros anos, seja por problemas de projeto, seja devido a má execução, como o que ocorre com os reservatórios em concreto do sistemas públicos de abastecimento de água. No presente trabalho, com o intuito de diagnosticar as manifestações patológicas dos três maiores reservatórios em concreto armado da cidade de Palmas – TO (RAP 001, RAP 002 e RAP 009), foram realizadas vistorias nos reservatórios em três períodos distintos, entrevistas não-estruturadas com profissionais conhecedores do histórico das estruturas, análise de projetos e de documentos que contêm histórico de uso e manutenção das estruturas, além de ensaios (carbonatação do concreto, esclerometria e determinação dos teores de cloreto e sulfato), para obter-se as reais causas de tais manifestações. Em todos os reservatórios a fissura, eflorescência e bolor estiveram presentes. Os resultados demonstram a importância do conhecimento das manifestações para a adoção de medidas que evitem seu aparecimento e propagação, e portanto o quão importante é toda e qualquer estrutura ter um correto programa de manutenção, uma vez que problemas que a princípio são pequenos, tornam-se dispendiosos e onerosos com o tempo.

Palavras-chave: Concreto; Manifestações Patológicas; Reservatórios

ARNUTI, J.M. **Assessment of Conditions of Durability of Reservoirs in Reinforced Concrete System of Palms City Water Supplies - TO.** Work Completion of course (Bachelor of Civil Engineering) - Lutheran University Center of Palmas / Lutheran University of Brazil, Palmas - TO.

ABSTRACT

It is not today that reinforced concrete structures that are in direct contact with water present pathological manifestations since his early years, either by design problems, whether due to poor execution, such as what happens to the shells in concrete public systems water supply. In this study, in order to diagnose the pathological manifestations of the three largest reservoirs in reinforced concrete of the city of Palmas - TO (RAP 001 RAP 002 and RAP 009), surveys were carried out in reservoirs into three distinct periods, non-structured interviews with knowledgeable professionals of the historic structures, project analysis and documents that contain historical use and maintenance of the structures, as well as testing (concrete carbonation, sclerometry and determination of chloride and sulfate levels), to obtain the real causes such manifestations. For all vessels to crack, efflorescence and mold were present. The results demonstrate the importance of knowledge of the manifestations for the adoption of measures to prevent its occurrence and spread, and therefore how important it is for any structure having a correct maintenance program, since problems which at first are small tornam- is expensive and onerous over time.

Keywords: Concrete; Pathological manifestations; Reservoirs

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Vida útil x desempenho.....	21
Figura 2 – Deterioração do concreto por reações químicas.....	23
Figura 3 – Localização do reservatório apoiado 001.....	35
Figura 4 – Localização do reservatório apoiado 002.....	36
Figura 5 – Localização do reservatório apoiado 009.....	36
Figura 6 – Reservatório Apoiado 001.....	43
Figura 7 – RAP 001: LAJE DO RESERVATÓRIO – eflorescência	44
Figura 8 – RAP 001: LAJE DO RESERVATÓRIO – presença de plantas	45
Figura 9 – RAP 001: LAJE DO RESERVATÓRIO – fissuras	46
Figura 10 – RAP 001: VIGA DO RESERVATÓRIO – fissuras	47
Figura 11 – RAP 001: PAREDE DO RESERVATÓRIO	48
Figura 12 – Reservatório Apoiado 002.....	49
Figura 13 – RAP 002: PAREDE DO RESERVATÓRIO - bolor	50
Figura 14 – RAP 002: PAREDE DO RESERVATÓRIO - limo	51
Figura 15 – RAP 002: PAREDE DO RESERVATÓRIO – bolor, eflorescência e corrosão ...	52
Figura 16 – RAP 002: PAREDE DO RESERVATÓRIO – bolor, eflorescência e corrosão ...	53
Figura 17 – RAP 002: PAREDE DO RESERVATÓRIO – fissuras verticais	54
Figura 18 – Reservatório Apoiado 009.....	55
Figura 19 – RAP 0 9: PAREDE DO RESERVATÓRIO - fissuras.....	56
Figura 20 – RAP 009: LAJE DO RESERVATÓRIO - fissuras.....	57
Figura 21 – RAP 009: VIGA DO RESERVATÓRIO - fissuras	58
Figura 22 – RAP 009: PAREDE DO RESERVATÓRIO	58
Figura 23 – RAP 09: PAREDE DO RESERVATÓRIO – figura aproximada.....	59
Figura 24 – RAP 001: PILAR DO RESERVATÓRIO – carbonatação do concreto	60
Figura 25 – RAP 001: PILAR DO RESERVATÓRIO – carbonatação do concreto	61

Figura 26 – RAP 002: PILAR DO RESERVATÓRIO – carbonatação do concreto	61
Figura 27 – RAP 009: VIGA DO RESERVATÓRIO – carbonatação do concreto.....	62
Figura 28 – Gráfico referente ao teor de cloretos no concreto	64
Figura 29 – Gráfico referente ao teor de sulfatos no concreto	65
Figura 30 – Gráfico referente aos ensaios de esclerometria nos reservatórios do SAA de Palmas - TO.....	67
Figura 31 – “Antes” da intervenção feita no RAP 001.....	69
Figura 32 – “Depois” da intervenção feita no RAP 001	69
Figura 33 – Reforço estrutural no RAP 009	70

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 1 – Manifestações patológicas provenientes de vazamentos.....	27
Quadro 2 – pH dos reservatórios analisados	62
Quadro 3 – Resultados do ensaio de esclerometria no RAP 001	66
Quadro 4 – Resultados do ensaio de esclerometria no RAP 002	66
Quadro 5 – Resultados do ensaio de esclerometria no RAP 009	67

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

A/C – Água/Cimento

ETA – Estação de Tratamento de Água

RAP – Reservatório Apoiado

RSE – Reservatório Semienterrado

LISTA DE SÍMBOLOS

AgNO_3 – Nitrato de Prata

CO_2 – Gás Carbônico

H_2O – Água

K_2CrO_4 - Cromato de Potássio

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1. OBJETIVOS	15
1.1.1. <u>OBJETIVO GERAL</u>	15
1.1.2. <u>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</u>	15
1.2. JUSTIFICATIVA	16
2. REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1. ASPECTOS DE DURABILIDADE E DESEMPENHO DE RESERVATÓRIOS DE ÁGUA	17
2.1.1. <u>RESERVATÓRIOS EM CONCRETO ARMADO</u>	17
2.1.1.1. <i>LOCALIZAÇÃO NO SISTEMA</i>	17
2.1.1.2. <i>LOCALIZAÇÃO NO TERRENO</i>	17
2.1.1.3. <i>FORMA</i>	18
2.1.1.4. <i>MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO</i>	18
2.1.1.5. <i>EXIGÊNCIAS FUNCIONAIS</i>	18
2.1.2. <u>DURABILIDADE</u>	19
2.1.3. <u>VIDA ÚTIL</u>	20
2.1.4. <u>DESEMPENHO</u>	21
2.1.5. <u>FENÔMENOS DE DETERIORAÇÃO DO CONCRETO</u>	22
2.1.5.1. <i>FENÔMENOS FÍSICOS</i>	22
2.1.5.2. <i>FENÔMENOS QUÍMICOS</i>	22
2.1.5.3. <i>FENÔMENOS BIOLÓGICOS</i>	23
2.1.6. <u>MANUTENÇÃO</u>	24
2.2. PRINCIPAIS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM RESERVATÓRIOS DE ÁGUA	25
2.2.1. <u>PATOLOGIA</u>	25
2.2.1.1. <i>DEFICIÊNCIA DE PROJETO</i>	25
2.2.1.2. <i>FALHAS DURANTE A EXECUÇÃO</i>	25
2.2.1.3. <i>FALHAS DURANTE A UTILIZAÇÃO</i>	26
2.2.1.4. <i>VAZAMENTOS EM RESERVATÓRIOS</i>	26
2.2.2. <u>ANOMALIAS GERADAS DEVIDO A ÁGUA</u>	27
2.2.2.1. <i>BOLOR</i>	28
2.2.2.2. <i>LIMO</i>	29
2.2.2.3. <i>EFLORESCÊNCIA DEVIDO A LIXIVIAÇÃO</i>	29
2.2.3. <u>CORROSÃO</u>	30

2.2.3.1.	<i>CORROSÃO DO CONCRETO</i>	30
2.2.3.2.	<i>CORROSÃO DA ARMADURA</i>	31
2.2.4.	<u>FISSURAS</u>	32
2.2.5.	<u>PERDA DE ADERÊNCIA</u>	33
2.2.6.	<u>DESGASTE DO CONCRETO</u>	33
3.	METODOLOGIA	35
3.1.	OBJETOS DE ESTUDO	35
3.2.	INSPEÇÕES PRELIMINAR E DETALHADA	37
3.3.	ENSAIOS REALIZADOS	39
3.3.1.	<u>CARBONATAÇÃO DO CONCRETO</u>	39
3.3.2.	<u>AVALIAÇÃO DO TEOR DE CLORETOS</u>	40
3.3.3.	<u>AVALIAÇÃO DO TEOR DE SULFATOS</u>	40
3.3.4.	<u>ESCLEROMETRIA</u>	41
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	43
4.1.	INSPEÇÃO PRELIMINAR	43
4.1.1.	<u>RESERVATÓRIO APOIADO 01</u>	43
4.1.2.	<u>RESERVATÓRIO APOIADO 002</u>	49
4.1.3.	<u>RESERVATÓRIO APOIADO 009</u>	55
4.2.	ENSAIOS REALIZADOS	60
4.2.1.	<u>CARBONATAÇÃO DO CONCRETO</u>	60
4.2.2.	<u>AVALIAÇÃO DO TEOR DE CLORETOS</u>	63
4.2.3.	<u>AVALIAÇÃO DO TEOR DE SULFATOS</u>	64
4.2.4.	<u>ESCLEROMETRIA</u>	65
4.3.	HISTÓRICO DE MANUTENÇÃO	68
5.	CONCLUSÃO	71
5.1.	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	72
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73
7.	ANEXO	76

1. INTRODUÇÃO

O concreto tem alta capacidade de resistir à ação da água sem deterioração séria, o que faz dele o material ideal para construções destinadas a controlar, estocar e transportar água (MEHTA e MONTEIRO, 1994). Os elementos estruturais em concreto podem ser executados numa variedade de formas e tamanhos e é de fácil disponibilidade, fatores esses que explicam sua popularidade.

Entretanto, o concreto é um material de construção instável e que possui suas propriedades alteradas ao longo do tempo. Portanto, para que seja durável e tenha um bom desempenho ao longo de sua vida útil, é imprescindível que qualquer estrutura em concreto armado passe por um adequado programa de manutenção e recuperação.

São inúmeras as causas de deterioração das estruturas, desde seu envelhecimento natural até a falta de estudo da localização da obra, de cuidado em detalhes construtivos, como cobrimento das armaduras, e de especificação em projetos estruturais e arquitetônicos (SOUZA e RIPPER, 1998).

O clima é outro fator importante para a durabilidade das estruturas. Em Palmas, por exemplo, há grandes variações de temperatura, baixa humidade relativa do ar em determinadas épocas do ano e períodos chuvosos precedidos de períodos secos, condições estas que colaboram de forma significativa para o surgimento de manifestações patológicas, principalmente em estruturas expostas, como é o caso dos reservatórios de água em concreto armado, objetos de estudo do presente trabalho.

Os reservatórios de distribuição de água são imprescindíveis para o bom funcionamento do sistema de abastecimento de água por ser, principalmente, um regulador de vazões. Como exemplo da sua importância tem-se o ocorrido em fevereiro de 2012 em Florianópolis, estado de Santa Catarina. Nesse episódio uma adutora rompeu e, segundo o site informativo “Floripa Te Quero Bem”, um engenheiro sanitarista professor da UFSC afirmou que uma forma de se prevenir contra esse tipo de problema seria a adoção de mais reservatórios, pois assim a população não ficaria prejudicada caso ocorresse alguma falha no sistema.

Nesse sentido, o presente trabalho tem o intuito de identificar as principais manifestações patológicas existentes nos reservatórios em concreto e analisar os métodos de recuperação e manutenção, visando durabilidade, funcionalidade e economia.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo Geral

Identificar e analisar as manifestações patológicas encontradas em estruturas de concreto armado do sistema público de abastecimento de água da cidade de Palmas – TO.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Realizar o diagnóstico, através de anamnese, inspeção e ensaios, dos problemas encontrados nas estruturas dos objetos de estudo.
- Identificar as possíveis causas e mecanismos de formação das manifestações patológicas encontradas nos reservatórios.
- Analisar os procedimentos de manutenção preventiva e corretiva.

1.2. Justificativa

O abastecimento de água é uma das prioridades da população devido a sua importância no dia-a-dia e no desenvolvimento industrial. Além disso, é o que provoca maior impacto na redução de doenças infecciosas, refletindo na redução da demanda por serviços de saúde e consequente alívio no orçamento do setor (TISUTIYA, 2006).

Nos últimos anos a grande preocupação passou a ser a escassez hídrica que o Brasil vem sofrendo, principalmente nas regiões sudeste e nordeste. Segundo a Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (2013) “o nível de perdas no Brasil passou de 45,6% em 2004 para 38,8% em 2011, uma queda de 6,8 pontos percentuais no período”. Apesar da diminuição das perdas, ainda há muito o que melhorar.

Os reservatórios têm grande importância na distribuição de água para população, como regularizar a vazão e pressão, fornecer água de forma segura e reservar água para incêndio. As principais causas de vazamento em reservatórios estão ligadas a má qualidade dos materiais, má execução da obra e consequente envelhecimento dos materiais utilizados (TISUTIYA, 2006).

As estruturas dos reservatórios necessitam passar por um rígido controle de qualidade para que parâmetros como durabilidade e vida útil sejam atendidos e tenham desempenho satisfatório para o qual foram construídas. Entende-se então a importância de diagnosticar e reparar eventuais manifestações patológicas, aumentando o tempo de vida da estrutura, diminuindo os custos de reabilitação e consequente perdas de água.

Para que isso ocorra, Souza e Ripper (1998) afirmam que é necessário que qualquer tipo de estrutura passe por um sistema de manutenção adequado, pois esta é a definição prévia da vida útil da construção. Assim, uma análise detalhada das reais condições da estrutura é o ponto principal para um correto programa de manutenção e reparo, sempre atrelando os resultados ao binômio custo-benefício.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Aspectos de durabilidade e desempenho de reservatórios de água

2.1.1. Reservatórios em concreto armado

Os reservatórios são uma importante parte constituinte do sistema de abastecimento de água. Suas principais finalidades são: regularizar a vazão; garantir segurança ao abastecimento; reservar água para incêndio; regularizar pressões; entre outros.

Para Tsutiya (2006), os reservatórios podem ser classificados seguindo quatro critérios: quanto à localização no sistema; quanto à localização no terreno; quanto à sua forma; quanto aos materiais de construção.

2.1.1.1. *Localização no sistema*

Os reservatórios de montante são os que fornecem água à rede de distribuição. Algumas vezes, em regiões em que a declividade é acentuada ou quando a população cresceu mais que o esperado, é comum o uso de reservatórios intermediários para regularizar a pressão (TSUTIYA, 2006).

Já os reservatórios de jusante são responsáveis por receber água durante as horas de menor consumo e auxiliar nos picos. Esse tipo de reservatório tem de diferencial que, apenas uma tubulação é a responsável pela entrada e saída de água.

2.1.1.2. *Localização no terreno*

Existem quatro tipos de classificação dos reservatórios de acordo com sua localização no terreno: enterrado, semienterrado, apoiado e elevado.

Um reservatório é dito enterrado quando está totalmente submerso no terreno; já o semienterrado está parcialmente submerso, com sua laje de cobertura a mostra. O reservatório apoiado tem sua laje de fundo sobre o terreno, enquanto o elevado está acima da cota do solo (TSUTIYA, 2006).

2.1.1.3. *Forma*

“A forma do reservatório deve proporcionar máxima economia global em fundação, estrutura, utilização de área disponível, equipamentos de operação e interligação das unidades” (TSUTIYA, 2006, p. 340).

O reservatório de formato mais utilizado é o circular. Entretanto existem outros formatos também, como retangular, hexagonal etc, não havendo restrição quanto à isso. A escolha do formato é influenciada principalmente pela área do terreno disponível e custo, e por isso a existência de reservatórios cilíndricos ser mais comum. Além disso, a limpeza desse tipo de reservatório é muito mais fácil, devido a inexistência de pontos mortos.

Os reservatórios do tipo elevados não são opção preferencial devido ao custo elevado. Entretanto, ele possui algumas vantagens sobre os outros, como: maior controle de pressão na rede de distribuição com redução das perdas; e o custo para a elevatória bombear água para o reservatório geralmente é menor do que para diretamente à rede através de booster, já que o rendimento da bomba é geralmente maior no primeiro do que no segundo (TSUTIYA, 2006).

2.1.1.4. *Materiais de construção*

São diversos os tipos de materiais que podem ser usados na construção de reservatórios, sendo os mais comuns concreto armado (comum ou protendido) e aço. Entretanto, existe uma infinidade de possibilidades.

A escolha do material a ser utilizado depende muito da sua disponibilidade na região, da agressividade do ar atmosférico do local em que se encontrará a estrutura, das condições do solo, entre outros fatores.

2.1.1.5. *Exigências funcionais*

É importante os reservatórios terem uma boa integração tanto física quanto funcional com o ambiente urbano. Um exemplo é a boa integração paisagística, para que não cause estranheza no cotidiano da população. Também deve ter fácil acesso para manutenções

periódicas e eventuais reparos, fator primordial na hora da escolha do local em que se implantará a estrutura.

2.1.2. Durabilidade

Para Sousa e Ripper (1998), a partir do momento que se conhece as características do material concreto e dos sistemas estruturais, entende-se que o conceito de durabilidade relaciona a aplicação dessas características a uma determinada construção.

Vários fatores influenciam na durabilidade do concreto e por esse motivo é difícil atribuir apenas uma causa desfavorável para a deterioração do material. Entretanto, quanto a qualidade, olhando-se em um sentido mais amplo, o fator permeabilidade sempre aparece como causa principal de deterioração, uma vez que o transporte de fluidos para o interior da massa afeta a durabilidade da estrutura (NEVILLE, 1997).

“A facilidade de penetração de substâncias agressivas tais como CO₂ (gás Carbônico), Cl⁻ (Cloreto), O₂ (Oxigênio) e H₂O é de vital importância no estudo da durabilidade do concreto.” (SILVA, 1995, pág.: 12)

De acordo com a ABNT NBR 6118:2014 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS), as estruturas de concreto devem ser projetadas e construídas de modo que, sob as condições ambientais previstas na época do projeto e quando utilizadas, conservem sua segurança e tenham correto funcionamento durante o prazo correspondente à sua vida útil.

A resposta da massa de concreto aos agentes ambientais a que a estrutura está inserida, como temperatura, umidade, chuva, vento etc., é a maneira principal de caracterizar a estrutura (SOUZA e RIPPER, 1998).

Para que isso ocorra, alguns parâmetros básicos devem ser seguidos para que se consiga uma massa de concreto de qualidade e a conseqüente durabilidade da estrutura. Entre os principais encontra-se o fator água/cimento e cobrimento mínimo das barras de armadura.

Portanto, os conceitos de vida útil e durabilidade estão interligados, sendo que, para que uma estrutura atinja sua vida útil de projeto, ela precisa ser durável e ter algumas características predominantemente comuns do material concreto de boa qualidade, como baixa porosidade e permeabilidade e elevada resistência mecânica. Só assim pode-se classificar a estrutura como durável ou não.

2.1.3. Vida útil

Segundo a NBR 6118:2014, entende-se por vida útil de uma estrutura em concreto armado o período de tempo que ela mantém suas características sem intervenções significativas, desde que atendidos os requisitos de uso e manutenção prescritos pelo projetista e pelo construtor, e os parâmetros de execução dos reparos necessários decorrentes de danos acidentais.

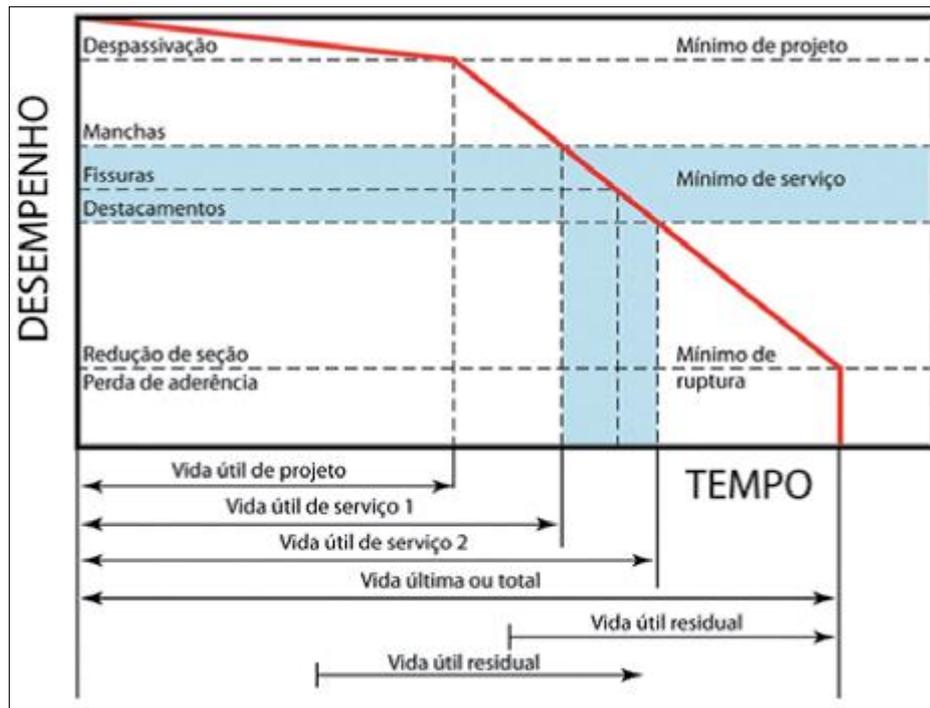
Para que uma estrutura tenha sua vida útil atendida, ou seja, para que uma estrutura em concreto armado conserve suas características previstas em projeto e a mantenha acima dos limites mínimos especificados, é necessário um programa de manutenção que conserve tais características, garantindo seu desempenho satisfatório ao longo do tempo.

O estudo da vida útil das estruturas permite o conhecimento de durabilidade dos materiais, dos componentes e dos vários sistemas estruturais, proporcionando, desse modo, o aperfeiçoamento dos processos construtivos, dos programas e das técnicas de manutenção (SOUSA e RIPPER, 1998).

Para Silva (1995) só se pode afirmar que uma estrutura atingiu o fim de sua vida útil quando ela se deteriora de forma que seu uso torna-se inseguro e sua recuperação antieconômica.

Abaixo, a figura representa a vida útil baseada no fenômeno de corrosão das armaduras em estruturas de concreto. Entende-se por vida útil de serviço o período de tempo correspondente ao surgimento das primeiras manifestações, como manchas, fissuras e destacamentos. Já na vida útil residual a estrutura ainda atenderá suas exigências, mas uma intervenção é necessária para manter suas características de desempenho.

Figura 1 – Vida útil x desempenho



Fonte: Helene (1997) apud Medeiros et al. (2011)

2.1.4. Desempenho

O concreto é um dos principais materiais utilizados na construção de reservatórios. Apesar de ser durável, suas características físicas e químicas são alteradas ao longo do tempo e, portanto, a agressividade ambiental a que a estrutura está inserida deve ser um dos itens cruciais a se considerar no projeto, uma vez que determina o tipo de concreto a ser utilizado.

Entende-se por desempenho “o comportamento em serviço de cada produto, ao longo da vida útil, e a sua medida relativa espelhará, sempre, o resultado do trabalho desenvolvido nas etapas de projeto, construção e manutenção” (SOUZA e RIPPER, 1998).

Portanto o bom desempenho de uma estrutura ocorre quando os níveis de deterioração se mantiver em níveis mínimos, com um programa de manutenção facilitado, o conseqüente prolongamento de sua vida útil e então a conseqüente obtenção de uma estrutura durável. Quando o desempenho da estrutura não for satisfatório deve-se adotar medidas que englobem tanto o ponto de vista técnico quanto o econômico e socioambiental.

2.1.5. Fenômenos de deterioração do concreto

2.1.5.1. *Fenômenos Físicos*

As causas físicas de deterioração do concreto são as provenientes da ação do ambiente externo, como chuva, vento, insolação, umidade, atmosfera agressiva (estruturas localizadas em zonas industriais). Como raramente o projetista vai no local da obra em que esta vai ser construída, esse tipo de fenômeno torna-se muito comum.

Como a degradação do concreto depende basicamente da sua porosidade e das condições ambientais e não se pode lidar com o último fator, a única saída é a máxima redução da sua porosidade. Quanto maior for a umidade relativa do ar, menor será a permeabilidade do concreto aos gases e, quanto menor a sua porosidade, menor a fissuração do mesmo. Portanto deve ter um reduzido fator água/cimento e elevado tempo de cura (SOUZA e RIPPER, 1998).

Segundo Souza e Ripper (1998), as principais ações físicas a se considerar são:

- As variações de temperatura, tanto as ambientais, quanto as que geram gradientes térmicos, que solicitam as peças protegidas apenas em uma das faces, como ocorre em reservatórios e lajes de cobertura;
- A movimentação que ocorre entre diferentes materiais e diferentes dilatações térmicas, mas submetidos à mesma variação de temperatura;
- A incidência solar;
- A ação da água, desde a umidade até a chuva e gelo.

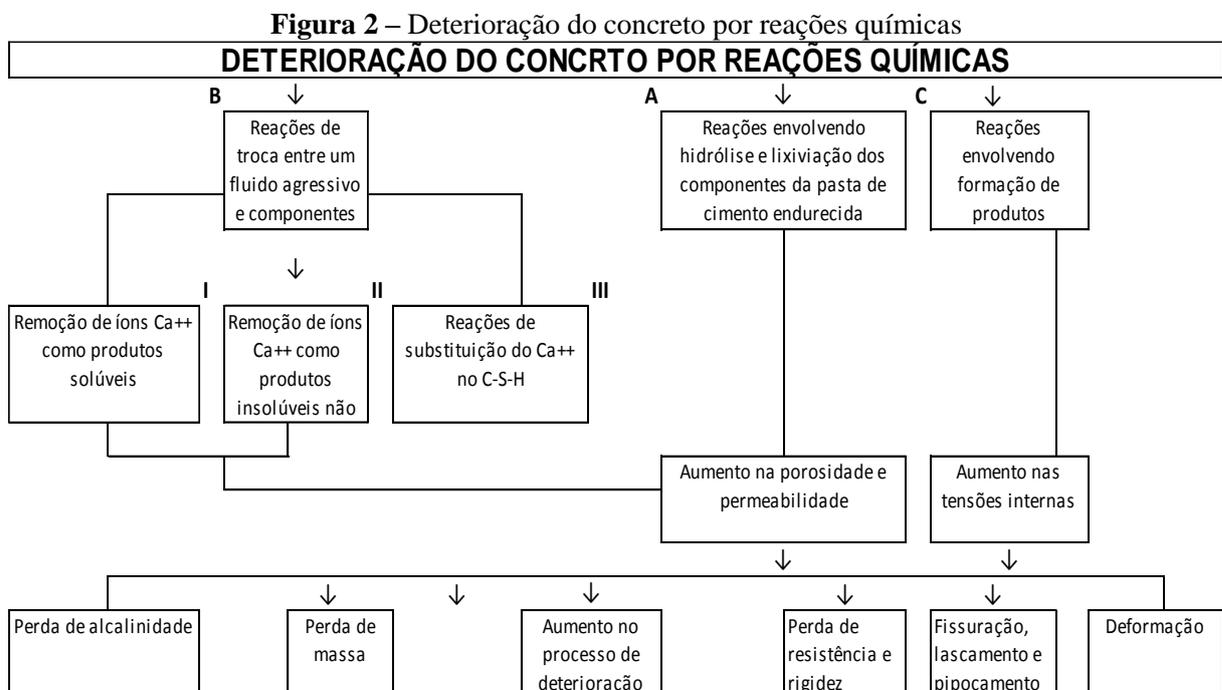
Mehta e Monteiro (1994) dividem as causas físicas em duas: desgaste superficial devido à abrasão, erosão e cavitação; e fissuração devido ao ambiente em que a estrutura de concreto está inserida. Manifestações patológicas que serão detalhadas ao longo do trabalho.

2.1.5.2. *Fenômenos Químicos*

Os fenômenos químicos estão interligados aos fenômenos físicos, uma vez que as alterações químicas sofridas pelo concreto causam efeitos físicos na estrutura. Para Mehta e Monteiro (1994), as causas químicas que afetam a maioria das estruturas em concreto armado são: a corrosão da armadura, a reação álcali-agregado e ataque por sulfato.

Os agentes causadores dessas manifestações patológicas são a poluição atmosférica, que ocasiona o apodrecimento e descoloração do concreto, provenientes dos gases e fuligens dos veículos e gases ácidos de chaminés de algumas indústrias; as águas, tanto puras quanto agressivas, que podem agredir o concreto em maior ou menor grau, seja por conter produtos químicos, seja por sua velocidade, variação de temperatura, ou variação de nível, como ocorre no interior de reservatórios; e as reações com sulfatos, os quais são encontrados, principalmente, na água do mar e águas subterrâneas, causando desagregação do concreto quando transportado para o seu interior (SOUZA e RIPPER, 1998).

A figura abaixo representa os tipos de reações químicas responsáveis pela deterioração do concreto.



Fonte: Mehta e Monteiro (1994), adaptada pelo Autor (2015)

2.1.5.3. Fenômenos Biológicos

Esse tipo de fenômeno ocorre principalmente quando o concreto está em contato direto com esgotos sanitários, como em poços de visita da rede coletora. Entretanto, estruturas construídas em meio rural ou distantes do ambiente urbano também costumam apresentar manifestações patológicas.

O crescimento de vegetação nas estruturas é um dos agentes biológicos causadores da deterioração e desagregação do concreto a qual, através de falhas de concretagem, fissuras, ou juntas de dilatação, as raízes ficam livres para penetrar (SOUZA e RIPPER, 1998).

Outro tipo de agente, muito comuns em reservatórios de concreto, é o desenvolvimento de micro-organismos, uma vez que as condições ambientais em que essas estruturas estão inseridas – umidade, temperatura e luminosidade – juntamente com as propriedades da pasta de cimento – rugosidade, porosidade – tornam o concreto receptivo a esses ataques. Toma-se como exemplo a presença de limo nessas estruturas, comum em lajes (RIBEIRO, 2014).

2.1.6. Manutenção

“Um bom programa de manutenção implica definição de metodologias adequadas de operação, controle e execução da obra, e na análise custo-benefício dessa manutenção” (SOUZA e RIPPER, 1998, pág.: 21).

Existem dois tipos de manutenções: manutenção preventiva e corretiva. A primeira é executada a partir de inspeções rotineiras visando prolongar a vida útil dessas estruturas. Já a segunda ocorre quando a estrutura, ou parte dela, encontra-se deteriorada e um programa de correção é essencial para evitar o colapso da obra (ANDRADE, 1992).

A base de um bom programa de manutenção está ligada ao conjunto de inspeções rotineiras. Um exemplo de manutenção periódica e que pode evitar sérios problemas de patológicos é a limpeza e impermeabilização de lajes de cobertura.

O ideal seria que todas as obras mantivessem sua aparência constante ao longo do tempo. Entretanto, de acordo com o ambiente em que está inserida, o qual contém poeira, fuligem e gases poluentes, geralmente torna-se impossível esse tipo de situação. Assim, a aparência pode ser recuperada com a manutenção (SILVA, 1995)

Portanto, conhecer as causas de deterioração do concreto é de fundamental importância, visto que, a partir dessas informações pode-se proceder com os corretos reparos e garantir assim que a estrutura não volte a se deteriorar.

2.2. Principais manifestações patológicas em reservatórios de água

2.2.1. Patologia

Patologia é o estudo dos problemas construtivos que surgem em diferentes construções e tipos de materiais com uma certa degradação ao longo do tempo.

2.2.1.1. *Deficiência de projeto*

São inúmeras as falhas que podem vir a ocorrer na fase de projeto. Estas possuem um custo elevado pois, quanto mais antigo o erro, maior o custo de recuperação, uma vez que essa fase implica no todo da estrutura.

Constata-se que, falhas geradas de um estudo preliminar deficiente ou de anteprojetos equivocados são responsáveis, principalmente, por transtornos gerados durante a obra e conseqüente encarecimento dos processos construtivos. Já as falhas geradas durante a realização do projeto final de engenharia são responsáveis por problemas patológicos sérios, como: elementos de projeto inadequados; falta de compatibilização entre os projetos; detalhamento insuficiente ou errado; erros de dimensionamento; especificação inadequada de materiais, entre outros (SOUZA e RIPPER, 1998).

Em geral, esse tipo de falha origina principalmente fissuras, que podem vir a ocorrer por insuficiência de armadura ou esmagamento do concreto. Tal patologia é a porta de entrada para as demais, como a corrosão da armadura, a qual acarreta problemas sérios e onerosos.

2.2.1.2. *Falhas durante a execução*

Diversas são as causas de manifestações patológicas geradas durante a etapa de construção da estrutura e por isso é imprescindível que seja adotado um rigoroso controle de qualidade, desde a compra dos materiais até a capacitação da mão-de-obra e motivação dos envolvidos.

Métodos construtivos inadequados, mão-de-obra deficiente, falhas na fiscalização da obra etc, favorecem a atuação de agentes deteriorantes que levam à degradação do concreto. Em conjunto com esses fatores, a falta de qualidade dos materiais utilizados diminui a durabilidade da estrutura, pode originar erros dimensionais e ser responsável pela baixa resistência mecânica da mesma.

Falhas no transporte, lançamento e adensamento do concreto, cura inadequada, mau posicionamento das armaduras, má interpretação do projeto, cobrimento insuficiente, são alguns exemplos de falhas humanas que ocorrem no dia-a-dia das construções.

2.2.1.3. *Falhas durante a utilização*

O conceito de falha durante a utilização está intimamente ligado à manutenção da estrutura. A falta de manutenção periódica pode acarretar problemas patológicos sérios, mas que com simples atitudes podem ser evitados.

Alterações estruturais, sobrecargas exageradas, alteração das condições do terreno de fundação, são exemplos de causas de manifestações patológicas (SOUZA e RIPPER, 1998).

2.2.1.4. *Vazamentos em reservatórios*

É muito comum o vazamento em reservatórios de concreto armado; entretanto, sua solução também é simples: geralmente, apenas com a correta impermeabilização da peça, o problema pode ser solucionado. Caso isso não ocorra, só então é necessário um estudo de caso mais avançado.

Esse tipo de vazamento geralmente produz manchas brancas, ou estalactites de carbonato, que indicam externamente o fluxo da água, os quais geralmente ocorrem nas juntas de concretagem. Se a mancha for circular ou elipsoidal, o vazamento está no centro, originado por falha na concretagem. Já se esta for linear, há indício de fissuras na impermeabilização (SOUZA, 2008).

Quadro 1 – Manifestações patológicas provenientes de vazamentos

Erros de	Causas	Manifestações
Projeto	<ul style="list-style-type: none"> - Falta de impermeabilização - Dimensionamento Estrutural - Especificação inadequada para os materiais e traços - A não observância das ações produzidas pelo inclinação e esvaziamento no cálculo estrutural 	<ul style="list-style-type: none"> - Manchas brancas devidas a carbonatação do concreto - Presença de estalactites pela lixiviação do concreto - Manchas marrons devido a oxidação das armaduras - Manchas circulares ou elípticas indicativas de falhas de concretagem - Fissuras nas paredes
Execução	<ul style="list-style-type: none"> - Concretagem mal executada, produzindo: falhas, concreto desagregado - Formas mal executadas - Instalações das tubulações mal executadas - Impermeabilização mal executada - Juntas de concretagem mal executadas 	
Materiais	<ul style="list-style-type: none"> - Baixa qualidade, pouca resistência, muito permeável 	
Manutenção	<ul style="list-style-type: none"> - Falta de inspeções periódicas - Falta de limpeza interna 	

Fonte: KLEIN (1999) apud SOUZA (2008)

2.2.2. Anomalias geradas devido a água

Diversas anomalias podem surgir quando o material cimento encontra-se em contato com a água, que se dá tanto pela umidade relativa do ar, quanto pela ação das águas da chuva e pelo contato direto, como em reservatórios.

Por ser um material resistente e que pode e deve ser dimensionado de acordo com a agressividade do ambiente em que estará inserido e condicionado, a água pode atacar e penetrar profundamente na pasta de cimento se houver erro de projeto e/ou execução; ou seja, quando não se levar em conta o contato com a água que a estrutura estará sujeita.

Deve-se ter cuidado com as águas em corrente pois, quando o nível de água varia, o concreto pode ser temporariamente posto a seco e os sais dissolvidos que anteriormente estavam fixados podem cristalizar, enfraquecer a estrutura de concreto e facilitar a penetração de substâncias agressivas (BAUER, 2000).

Portanto, em estruturas em que a peça de concreto encontra-se como citado acima, é importante determinar a dureza da água (que mostra se esta é doce ou não) e o teor de cloreto que possui (informa sobre um possível enfraquecimento de ataque por sulfato). Esse estudo reflete no projeto da estrutura e na observância do fator A/C da pasta e cobrimento da armadura.

Águas da chuva, geralmente empoçadas, tendem a deixar o concreto mais poroso e, conseqüentemente, diminuir sua resistência. “A evidência mais comum desta ação é a dissolução do hidróxido de cálcio, seguida de precipitação de géis, com a conseqüente formação de estalactites e estalagmites” (SOUZA e RIPPER, 1998).

2.2.2.1. *Bolor*

O bolor se manifesta em forma de manchas esverdeadas ou escuras, podendo ser clara esbranquiçada ou amarelada, e são a principal causa de alteração estética de reservatórios. Geralmente ocorre em áreas em que o concreto não está exposto ao sol e tem contato direto com a água, portanto umidade constante. Por ser um fungo, pode ser facilmente identificado (inspeção visual) e combatido (RIBEIRO, 2014).

Segundo Ribeiro (2014), com a eliminação da infiltração da umidade e lavagem do local contaminado com solução de hipoclorito, são suficientes para remoção da manifestação. O reparo do revestimento vem a ser necessário apenas quando este estiver pulverulento.

2.2.2.2. *Limo*

Quando as superfícies de concreto são mantidas úmidas, propiciam condições para o aparecimento e crescimento de micro-organismos biológicos, como fungos, moluscos e algas, os quais liberam substâncias ácidas em seu desenvolvimento, acelerando assim a maioria dos mecanismos de degradação do concreto (SILVA, 1995).

O limo é uma colônia de algas de coloração verde que não ataca diretamente o substrato, mas que pode “desagregar lentamente as argamassas pela pressão de suas raízes entre grãos e poros” (RIBEIRO, 2014).

2.2.2.3. *Eflorescência devido a lixiviação*

A lixiviação dos compostos calcários pode levar a formação de depósitos de sais na superfície do concreto que são conhecidos por eflorescências (NEVILLE, 1997). Ela geralmente ocorre quando há a presença de fissuras ou juntas mal executadas somadas à água da chuva.

Quando a água pura da condensação de neblina ou vapor e água mole da chuva ou da fusão de neve e gelo entram em contato com a pasta de cimento Portland tendem a hidrolisar, ou dissolver os produtos contendo cálcio. Uma vez que a solução em contato atingisse o equilíbrio químico, o processo cessaria. Entretanto, no caso de água corrente ou infiltração sob pressão, há condições para a continuação da hidrólise (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

“A eflorescência ocorre em maior intensidade quando se tem um período seco e quente, procedido de um clima fresco e chuvoso” (SILVA, 1995). Ela é mais comum em superfícies de concreto poroso e quando interage com o CO₂ presente no ar resulta na precipitação de crostas brancas de carbonato de cálcio na superfície, comprometendo principalmente a aparência da estrutura.

Quando a origem das machas é a corrosão das armaduras, apresentam coloração marrom avermelhada ou esverdeada na superfície do elemento estrutural, devido à lixiviação dos produtos de corrosão (FONSECA, 2007 apud PEREIRA, 2014).

2.2.3. Corrosão

2.2.3.1. *Corrosão do concreto*

A corrosão que ocorre no concreto é puramente química, diferentemente da corrosão do aço, a qual é predominantemente eletroquímica. Ela ocorre devido a reação da pasta de cimento com determinados elementos químicos, causando a dissolução do ligante ou a formação de compostos expansivos (SOUZA e RIPPER, 1998).

Geralmente o concreto é um material resistente à corrosão. Entretanto, quando este é de má qualidade – permeável, muito poroso – é facilmente atacado por agentes agressores. Existe basicamente três tipos de classificação quanto à corrosão do concreto: corrosão por lixiviação, corrosão química por reação iônica e corrosão por expansão.

A corrosão por lixiviação consiste na dissolução e remoção dos constituintes presentes na massa de cimento Portland e percolação em direção à superfície, ocasionando a formação de sais. O principal componente afetado pela lixiviação é o hidróxido de cálcio, o qual é liberado pela ação de águas puras (RIBEIRO, 2014).

Esse carregamento das águas aumenta a porosidade do concreto, diminui sua resistência e, conseqüentemente, torna o concreto mais vulnerável ao ataque de outros agentes agressivos.

A reação de íons com os compostos do cimento, como magnésio, amônio, cloro, nitrato, leva a formação de compostos solúveis que são carregados pela água, mas sem poder aglomerante. Esta é a chamada corrosão química por reação iônica (SOUZA e RIPPER, 1998).

Na corrosão por expansão, os sulfatos presentes na água, principalmente o amoníaco ((NH₄)₂SO₂), o cálcico (CaSO₄), o do magnésio (MgSO₄) e o de sódio (Na₂SO₄) reagem com componentes do cimento, resultando em aumento do volume do concreto e conseqüente desagregação (SOUZA e RIPPER, 1998).

Vê-se então que o processo de corrosão do concreto é a porta de entrada para as manifestações patológicas que mais afetam as estruturas em concreto, como fissuração, corrosão das armaduras e desagregação do concreto. Tais manifestações, quando não diagnosticadas e tratadas precocemente, enfraquecem a estrutura a ponto de sua recuperação tornar-se economicamente inviável.

2.2.3.2. *Corrosão da armadura*

Para que a corrosão ocorra é necessário que exista um eletrólito, uma diferença de potencial e o oxigênio, independente da presença de substâncias agressivas. Já no concreto, ocorre a passagem de corrente elétrica, difusão do oxigênio e das substâncias agressivas existentes no meio e transportes dos produtos de corrosão do aço. Assim, quando a armadura está despassivada, forma-se uma pilha onde há um anodo, um catodo, um condutor metálico e um eletrólito. Portanto, qualquer diferença de potencial entre as zonas anódicas e catódicas acarretará no aparecimento de corrente elétrica e, com o fácil acesso do oxigênio à essa zona, poderá haver corrosão (SILVA, 1995).

“A armadura encontra-se no interior do concreto em meio altamente alcalino (PH em torno de 12,5%)” (CASCUDO, 1997, p. 39). Portanto a armadura presente no interior do concreto possui uma proteção química em forma de capa ou película protetora de caráter passivo que envolve a armadura.

Vários são os motivos que levam ao fenômeno da corrosão. Amplamente analisando a situação, entende-se que para que haja corrosão da armadura é necessário que os agentes agressivos penetrem na pasta de cimento, e portanto subentende-se que a espessura do cobrimento é o fator determinante.

Outra característica que deve-se levar em consideração é o ambiente em que a estrutura está inserida, pois peças em concreto armado sujeitas a umidade ou em contato direto com o solo tendem a ficar mais suscetíveis a agentes agressores, como ocorre no interior de lajes de reservatórios e em pilares de reservatório elevado, uma vez que essas estruturas estão submetidas a ciclos de molhagem e secagem, além da água apresentar íons nocivos à durabilidade do concreto.

De acordo com Helene (1986), corrosão é o ataque de natureza preponderantemente eletroquímica que ocorre em meio aquoso. Ela ocorre quando é formada uma película de eletrólito sobre a superfície do aço, a qual é causada pela presença de umidade no concreto.

São dois os principais motivos que levam a armadura a corrosão: presença de uma quantidade suficiente de íons cloreto, que podem vir tanto do meio externo, quanto já estarem no interior do concreto devido a água de amassamento e/ou agregados contaminados; e diminuição da alcalinidade do concreto, que ocorre principalmente devido às reações de carbonatação (CASCUDO, 1997).

A carbonatação resulta do contato do CO₂ presente no ar atmosférico com o cimento hidratado, formando carbonato de cálcio e reduzindo o PH do concreto até valores inferiores a 9 (SOUZA e RIPPER, 1998). Quando o concreto encontra-se muito poroso ou com alta taxa de fissuras, a carbonatação pode atingir a estrutura e quebrar o filme que a protege. Deve-se ter em mente também que em um concreto carbonatado o risco de corrosão devido aos agentes agressores é bem maior.

Quando o concreto utilizado na armadura não é de qualidade ou não há o recobrimento necessário, a corrosão provoca tensões que fissuram o concreto, o que favorece a penetração de agentes agressivos e conseqüente desagregação do concreto.

“Além da perda do cobrimento, uma peça de concreto armado pode sofrer dano estrutural devido à perda de aderência entre o aço e o concreto e diminuição da área da seção transversal da armadura – as vezes a tal grau que o colapso da estrutura torna-se inevitável” (MEHTA e MONTEIRO, 1994, pág.: 168).

A corrosão conduz à formação de óxidos e hidróxidos de ferro, os quais mancham a superfície do concreto com ferrugem, identificada por uma região avermelhada, pulverulenta e porosa (SILVA, 1995).

Para Helene (1986, pág.: 33), “o fenômeno da corrosão de armaduras é mais frequente do que qualquer outro fenômeno de degradação das estruturas de concreto armado”. Entretanto, por ser um fenômeno expansivo, geralmente torna-se visível rapidamente, possibilitando a tomada de medidas de recuperação da estrutura.

Segundo Cascudo (1997), o quadro sintomatológico típico para se identificar o fenômeno da corrosão de armaduras são: fissuras no concreto paralelas às armaduras; fragmentação e destacamento do cobrimento; lascamento do concreto em estágios avançados; armaduras expostas apresentando ferrugem ou perda de seção; manchamento do concreto de aspecto “ferruginoso”; entre outros.

2.2.4. Fissuras

As fissuras podem ser consideradas como as manifestações patológicas características das estruturas de concreto, uma vez que o concreto fissurará por natureza, pois possui baixa resistência à tração.

Elas podem ser classificadas em dois tipos: ativa ou passiva. Segundo Sousa e Ripper (1998), “uma fissura é dita ativa, ou viva, quando a causa responsável por sua geração

ainda atua sobre a estrutura, sendo inativa, ou estável, sempre que sua causa se tenha feito sentir durante um certo tempo e, a partir de então, deixado de existir”.

As causas de fissuração em uma peça de concreto são muitas, entre elas encontram-se: deficiência de projeto, contração plástica do concreto, retração, perda de aderência das barras, etc.

Um dos fatores mais importante da fissuração é a relação água/cimento da mistura pois, a medida que ela aumenta, ela tende a aumentar a retração e, conseqüentemente, diminuir a resistência do concreto. Outro ponto é a concretagem da peça em tempos em que a temperatura encontra-se alta, pois também significa uma grande tendência à fissuração (SOUZA e RIPPER, 1998).

Uma análise criteriosa das fissuras é de suma importância, visto que a partir da análise das causas e conseqüente escolha do melhor procedimento de recuperação da peça é que se obtém o sucesso na eliminação do problema encontrado. Essa avaliação também depende da utilização da estrutura, pois, um estado de fissuração tolerável em uma edificação pode não ser em um reservatório de concreto armado.

2.2.5. Perda de aderência

A interação entre o concreto e a armadura é de vital importância para análise do comportamento da estrutura. Essa ligação se origina do atrito e aderência entre o aço e o concreto.

Em uma estrutura, a resistência da ligação se deve não só pelas propriedades do concreto, mas também pela geometria e espessura do cobrimento da armadura. Outro fator é a superfície do aço, pois, quando há algum tipo de revestimento, como por galvanização ou com resina epóxi, a resistência a aderência da armadura é prejudicada (NEVILLE, 1997).

A aplicação de inibidores de corrosão nas barras de aço tem como conseqüência a alteração da superfície do material aço, sendo os materiais em contato não mais o concreto e o aço, mas sim o concreto e o produto que reveste o aço (SOUZA e RIPPER, 1998).

2.2.6. Desgaste do concreto

A pasta de cimento endurecida não possui alta resistência ao atrito e por esse motivo a vida útil do concreto pode ser diminuída devido a atritos periódicos, principalmente

quando o concreto possui alta porosidade ou baixa resistência, e ainda é protegido por um agregado que não possui resistência ao desgaste (MEHTA E MONTEIRO, 1994). O tipo de desgaste do concreto pode ser: abrasão, erosão ou cavitação.

A resistência à abrasão está diretamente ligada à resistência do concreto e é difícil de ser avaliada, uma vez que possui diversas causas. Por outro lado, a erosão ocorre quando a superfície de concreto encontra-se em contato com a água, como ocorre em reservatórios. A velocidade dela depende, principalmente, da velocidade de movimento da água, além da qualidade do concreto.

Já a cavitação “consiste na formação de pequenas cavidades, pela ação de águas correntes, resultantes de vazios que se formam e desaparecem quando a água está se movimentando em velocidade elevada.” (SOUZA e RIPPER, 1998).

Para aumentar a resistência do concreto a esses desgastes superficiais, utilizar agregados mais duros e de maior tamanho e aumentar a qualidade da pasta de cimento ajudam nesse sentido. Obter um acabamento superficial de qualidade com a finalidade de diminuir as asperezas também aumenta a resistência do concreto.

3. METODOLOGIA

3.1. Objetos de estudo

O Sistema de Abastecimento de Água de Palmas – TO, conta hoje com 17 reservatórios, compreendendo os distritos de Taquaralto e Taquaruçu; destes, seis são em concreto. Para o estudo do presente trabalho foram escolhidos os três maiores reservatórios em concreto armado. São eles: RAP 001, RAP 002 e RAP 009.

A metodologia conta com a análise dos reservatórios em concreto armado localizados na cidade de Palmas –TO para que se possa determinar as reais condições da estrutura, de forma a avaliar as manifestações patológicas existentes, suas causas e consequências. São eles:

- a) Reservatório Apoiado 001 (RAP 001); localizado na TO 010; formato circular; capacidade para 10.000 m³.

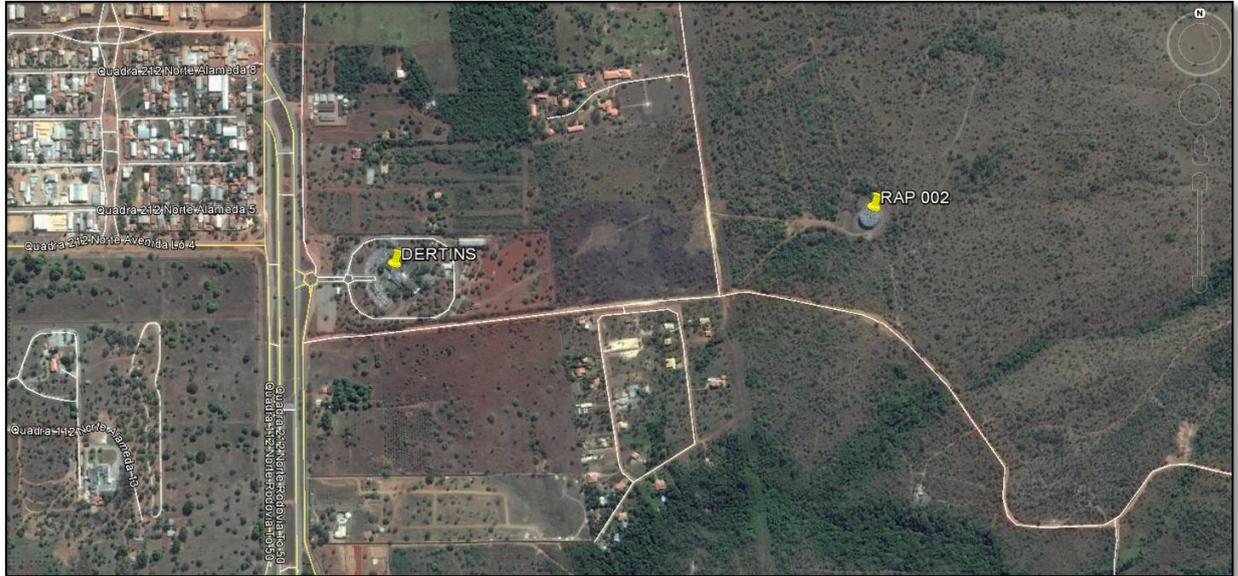
Figura 3 – Localização do reservatório apoiado 001



Fonte: Google Earth (2015)

- b) Reservatório Apoiado 002 (RAP 002); localizado atrás do DERTINS; formato circular; capacidade para 10.000 m³.

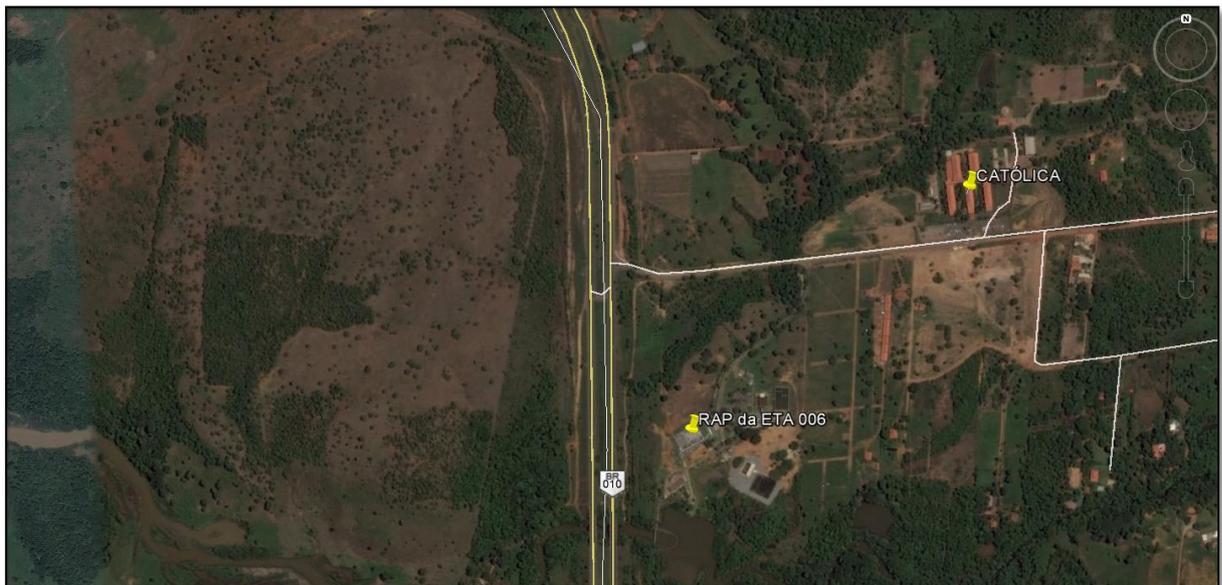
Figura 4 – Localização do reservatório apoiado 002



Fonte: Google Earth (2015)

- c) Reservatório Apoiado 009 (RAP da ETA 06); localizado na ETA 06; formato retangular; capacidade para 5000 m³.

Figura 5 – Localização do reservatório apoiado 009



Fonte: Google Earth (2015)

3.2. Inspeções Preliminar e Detalhada

Antes de se iniciar qualquer tipo de inspeção foram realizadas entrevistas de forma informal (não estruturada) com profissionais conhecedores da área e dos reservatórios com o intuito de conhecer o histórico dos objetos de estudo, como uso, manutenção e ano de construção.

A análise de documentos é de suma importância, visto que a partir daí se terá uma base do histórico de manutenção dos reservatórios e poder-se-á entender o porquê das manifestações patológicas encontradas.

Foi possível o acesso a todos os projetos dos reservatórios em estudo, fator que ajudou a determinar as causas das manifestações patológicas encontradas, levando-se em consideração a norma vigente na época das construções – ABNT NB-1/78, referente a projeto de estruturas de concreto.

Esse último parâmetro é significativo, visto que houve várias modificações da Norma em relação a sua versão anterior, principalmente quanto a qualidade do concreto e cobertura mínimo das amaduras, garantindo assim o prolongamento da vida útil das estruturas, visando durabilidade, qualidade e segurança das construções.

Para que fosse possível conhecer a natureza e extensão das manifestações patológicas existentes foi feita uma inspeção preliminar dos objetos de estudo em abril de 2015 para dar as diretrizes para os próximos passos e ajudar a organizar as análises que seriam feitas. Posteriormente foram realizadas outras inspeções em agosto e outubro do mesmo ano, essenciais para que não ficasse dúvidas quanto as reais características das estruturas, além de coleta de amostras para realizações de ensaios.

A inspeção preliminar deve contar com exame visual de cada objeto de estudo juntamente com relatório fotográfico, anotações das manifestações patológicas encontradas, como cor das manchas e tamanho das fissuras e identificação e classificação do ambiente em que se encontrará as estruturas em concreto armado. Feito isso e com os resultados em mãos deve-se realizar uma inspeção detalhada para obter-se a extensão de deterioração de todas as partes da estrutura (ANDRADE, 1992).

A inspeção detalhada deve ser realizada sempre que a inspeção preliminar indicar danos emergenciais ou de alarme, utilizando de mão de obra especializada e aparelhagem sofisticada, ensaios especiais e análise de toda documentação cadastral,

complementando, quando necessário, por um projeto de recuperação e/ou reforço (AMORIM, 2010).

Para Cascudo (1997), as técnicas de inspeção são de suma importância, pois assumem a ideia de “diagnóstico precoce” e asseguram as operações de recuperação. Além disso, o custo de reparo é substancialmente menor quando o problema ainda se encontra em seus estágios iniciais.

3.3. Ensaio realizados

Alguns ensaios são importantes para ajudar no processo conhecedor das manifestações patológicas dos reservatórios em concreto armado, como carbonatação, determinação dos teores de cloreto e sulfato e ensaio de esclerometria, que foram realizados *in loco* e no Laboratório de Química do CEULP/ULBRA.

3.3.1. Carbonatação do concreto

Feitas as inspeções e com o mapeamento dos possíveis locais em que o concreto apresentasse carbonatação, fez-se análise *in loco* a partir do emprego de fenolftaleína diluída a 1% em álcool, indicador que foi borrifado homogeneamente sobre toda a superfície de concreto analisado.

Por se tratar de reservatórios os objetos de estudo do presente trabalho e, devido a importância do seu bom funcionamento, as amostras retiradas não foram escarificadas, chegando até a armadura, nem retirada das paredes do reservatório, pois haveria prejuízo ao seu bom desempenho e redução de vida útil. Por esse motivo não se pode falar em frente de carbonatação e sim, carbonatação do concreto.

Quando essas substâncias químicas (fenolftaleína ou a timolftaleína) são borrifadas sobre a superfície do concreto, adquirem coloração vermelho carmim ou azulada, respectivamente. Assim, quando a superfície da peça analisada adquire a cor da substância borrifada, admite-se que esta não está carbonatada e portanto, caso fique incolor, admite-se carbonatação do concreto (CASCUDO, 1997).

Ao se carbonatar, o pH do concreto reduz para valores próximos a 8,5 (TOKUDOME, 2009). Para tanto, mediu-se o pH do concreto das amostras retiradas para análise em laboratório, a mesma usada para determinação dos teores de cloreto e sulfato.

Adicionou-se 200 ml de água destilada em uma amostra de 20 gramas moída e seca. Agitou-se então fortemente a amostra durante aproximadamente uma hora em agitador magnético. Esta então foi filtrada e, com o auxílio de um medidor de pH digital, obteve-se os resultados do ensaio.

3.3.2. Avaliação do teor de cloretos

O teor de cloretos presentes no concreto pode ser determinado por diferentes métodos, como o de Mohr e Volhard, potenciométrico e gravimétrico. No presente trabalho utilizou-se o método de Mohr, que é o mais usual.

As amostras foram retiradas com ajuda de talhadeira e martelo. Feito isso, foram moídas e peneiradas em peneira de nº 300, sendo utilizado como amostra apenas o material que passou. Feito isso, fez-se o procedimento para avaliação do teor de cloreto no concreto de acordo com o Instituto de Ciências Agrárias da UFMG, realizado no Laboratório de Química do CEULP/ULBRA e com acompanhamento de um profissional experiente na área.

Pesou-se uma amostra de 20g de concreto moído e seco e a introduziu em um Erlenmeyer. Adicionou-se então 200 ml de água destilada e agitou-se a amostra durante uma hora em agitador magnético. A seguir, filtrou-se o material em um funil utilizando papel filtro, lavando o resíduo várias vezes com água.

O material filtrado e as águas de lavagem foram transferidos para outro frasco. Dessa amostra, tomou-se 10 ml, e acrescentou-se 40 ml de água destilada. Adicionou-se então 16 gotas de Cromato de Potássio (K_2CrO_4). A amostra então foi titulada lentamente com Nitrato de Prata ($AgNO_3$) até aparecer a coloração avermelhada permanente.

3.3.3. Avaliação do teor de sulfatos

A presença de íons sulfato no concreto podem acarretar expansão e formação de fissuras superficiais. Apesar desses íons não atacarem fortemente a massa de cimento, a fissuração superficial aumenta a permeabilidade do concreto e, conseqüentemente, diminuem a proteção da armadura, permitindo assim a penetração de agentes agressivos.

A avaliação será feita no Laboratório de Química do CEULP/ULBRA de acordo com o especificado por Mazer et. al. (2014), no artigo: “Determinação do teor de íons sulfato em estruturas de concreto”.

Tomou-se uma porção de 5 g de concreto moído e seco que passou na peneira 0,16 mm e aqueceu-se a amostra a 105°C durante duas horas para que toda a umidade fosse retirada. Colocou-se a amostra em uma proveta, adiciona-se 25 ml de água destilada e se acrescentou-se 10 ml de ácido clorídrico aos poucos, mexendo com uma haste de vidro.

Cobriu-se então o recipiente e aqueceu-o em banho maria até que ocorresse o ataque completo por ácido clorídrico na amostra. Então adicionou-se 50 ml de água destilada quente e deixou-se descansar em banho maria por mais 15 minutos. O material foi filtrado em um funil com a utilização de um papel filtro, acrescentando água destilada até a amostra atingir 250 ml.

O material então foi aquecido novamente até atingir ebulição e adicionou-se 10 ml de cloreto de bário gota a gota e ferveu-se a amostra durante 5 minutos. Esta ficou em descanso por 24 horas e depois foi filtrada, sempre lavando-se o filtro com água quente até que os cloretos nas águas de lavagem desaparecessem.

Feito isso, transferiu-se o papel filtro que continha o precipitado para um cadinho de porcelana previamente tarado, secou-o em chapa quente e o queimou em um Bico de Bunsen até que todo o carbono fosse consumido. Por fim, colocou-se o cadinho para aquecimento a 800°C e calcinou-o durante 1 hora. A amostra final foi pesada e obteve-se o teor máximo de sulfato.

3.3.4. Esclerometria

A avaliação da dureza superficial do concreto endurecido fornece elementos para a avaliação deste. O ensaio foi realizado de acordo com a ABNT NBR 7584:1995 – Concreto endurecido – avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de flexão.

A superfície do concreto analisado deve estar seca, limpa e ser plana. Em cada área de ensaio deverá ser efetuado no mínimo nove impactos e no máximo 16, distribuídos uniformemente na área de ensaio. Além disso, não é permitido mais de um impacto sobre o mesmo ponto.

No presente trabalho foram realizados dois ensaios por reservatório, ambos nas paredes de cada objeto de estudo por se tratar de grandes áreas. Os quadrados de aproximadamente 30cm x 30cm foram desenhados sobre a superfície da parede dos reservatórios e subdivididos em outros 9 quadrados menores. Cada um destes recebeu um impacto com o esclerômetro.

Foi utilizado o esclerômetro de flexão tipo Schmidt, disponibilizado pelo CEULP/ULBRA, e os resultados se deram a partir da média aritmética dos valores encontrados em cada área de ensaio. Vale ressaltar que todo valor individual afastado de 10% do valor médio

obtido deve ser desprezado e assim foi feito. O resultado final se deu a partir do gráfico contido no aparelho e expresso em MPa.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. INSPEÇÃO PRELIMINAR

4.1.1. Reservatório Apoiado 01

O Reservatório Apoiado 001 (RAP 001) está localizado na TO-010, possui capacidade de 10.000 m³ e tem formato circular. Foi projetado em 1990, ano em que Palmas se tornou oficialmente a capital do estado do Tocantins. De acordo com o projeto, o concreto possui fck de 18 MPa e cobrimento varia de 2,5 a 3,0 cm, a depender do local analisado.

Figura 6 – Reservatório Apoiado 001



Fonte: Do Autor (2015)

Não se obteve datas precisas quanto a última manutenção nos reservatórios mas, segundo engenheiros da Companhia, tais intervenções ocorreram a bastante tempo. Em acesso a um relatório dos serviços prestados, identificou-se as trincas como a principal manifestação patológica presente. Para sanar o problema foi feito monitoramento das trincas com lâmina de vidro para identificação do melhor sistema corretivo a ser adotado e definiu-se a injeção de poliuretano hidro expansivo nas mesmas.

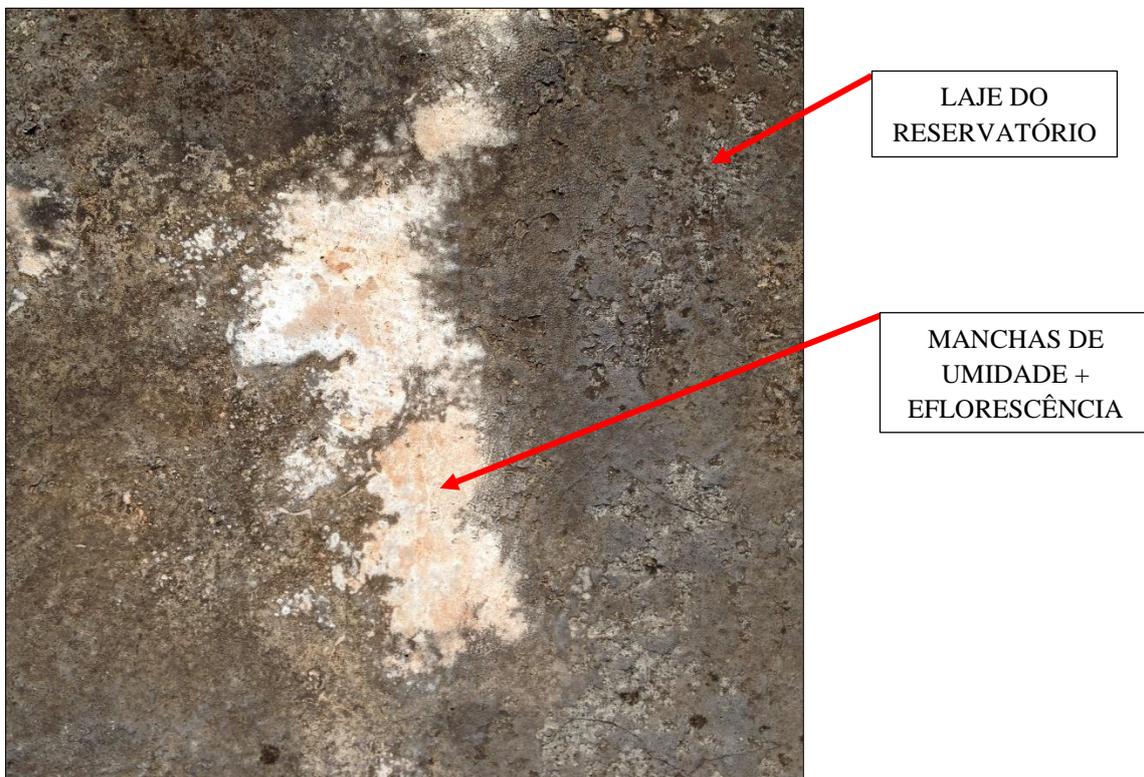
Antes dessa manutenção os reservatórios eram em concreto aparente. Após esses procedimentos os mesmos foram pintados de branco e receberam a logo da Companhia, bem como numeração. Por esse motivo a identificação das causas das manifestações ficaram de difícil constatação - sintomatologia. Para sustentar tal afirmação pega-se como exemplo a laje da estrutura que, por não ter sido pintada, deixa as manifestações à mostra.

A primeira observação feita no reservatório se deu pela quantidade de manchas brancas presentes na laje, ilustrada na figura 7, denominada eflorescência. Elas geralmente ocorrem em regiões em que a percolação da água é facilitada, como em presença de juntas, ocorrência de fissuras ou quando o concreto é muito poroso (RIBEIRO, 2015).

Águas da chuva, geralmente empoçadas, tendem a deixar o concreto mais poroso e, conseqüentemente, diminuir sua resistência. “A evidência mais comum desta ação é a dissolução do hidróxido de cálcio, seguida de precipitação de géis, com a conseqüente formação de estalactites e estalagmites” (SOUZA e RIPPER, 1998).

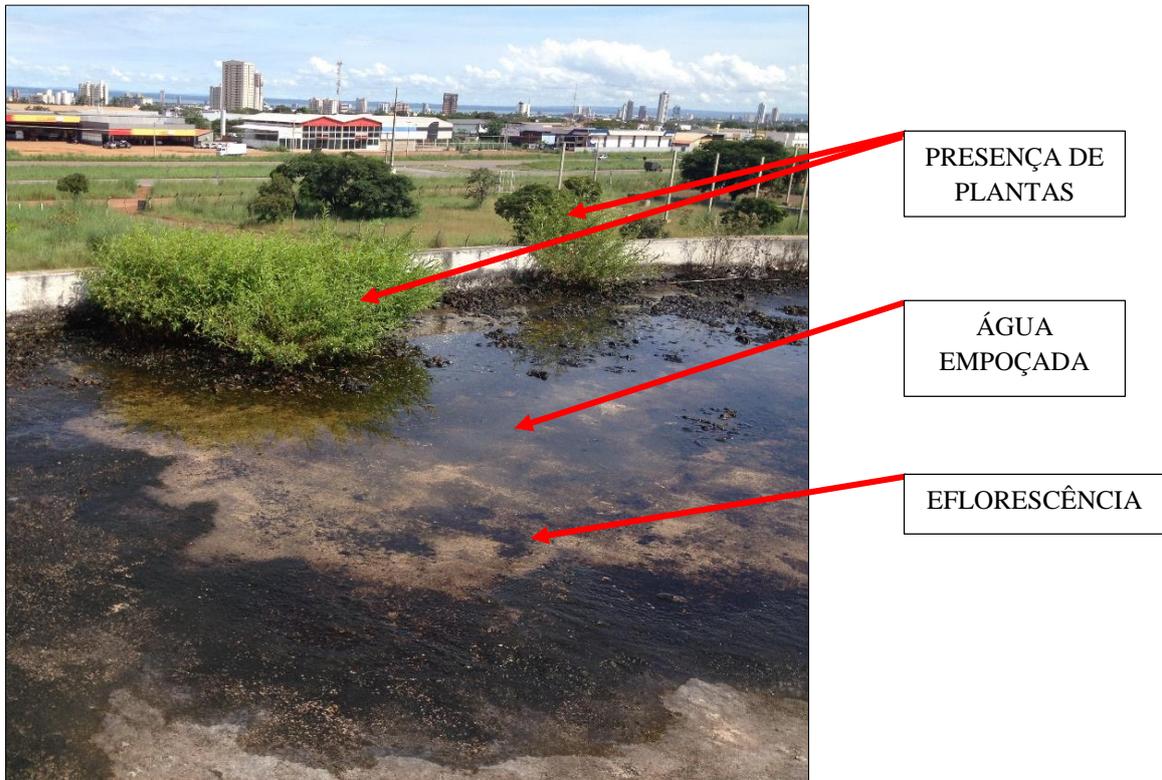
Tal resultado é um conjunto de fatores que vem desde a sua construção até os dias atuais. Observa-se problemas como a correta impermeabilização da laje e, portanto, problemas de construção e manutenção, causas para tal diagnóstico.

Figura 7 – RAP 001: LAJE DO RESERVATÓRIO – eflorescência



Fonte: Do Autor (2015)

Figura 8 – RAP 001: LAJE DO RESERVATÓRIO – presença de plantas



Fonte: Do Autor (2015)

Um fato curioso se deu pela quantidade de plantas na laje desse reservatório, como mostra a figura 8. Tal observação sustenta a precariedade da impermeabilização da estrutura, a umidade constante – tanto interna quanto externamente – e a porosidade do concreto.

As raízes das plantas penetram na pasta de cimento e fissuram a estrutura; em conjunto, a água da chuva acumulada gera pressão hidrostática e começa o processo de lixiviação. Ambas situações deixam o concreto suscetível aos agentes agressores do meio externo, diminuem a vida útil do reservatório, geram custos antes não previstos e desencadeiam o processo corrosivo da armadura.

As fissuras, como as que se seguem nas figuras 9 e 10, podem ter várias comprimentos e espessuras, a depender das causas que levaram até ela. A primeira, tirada da laje do reservatório, é reta e paralela a maior dimensão o aço; já na segunda aparecem fissuras verticais espaçadas igualmente na borda da viga.

Segundo Cascudo (1997), fissuras na laje paralelas à armadura da mesma são um dos quadros sintomatológicos típicos de corrosão. Os produtos da corrosão quebram a

película passivadora, a mesma expande e fissa o concreto. Essas fissuras deixam o local propício ao aparecimento de outras manifestações patológicas, como a eflorescência.

Já a causa das fissuras na segunda foto é a insolação, características que se tem em regiões de alta temperatura.

Figura 9 – RAP 001: LAJE DO RESERVATÓRIO – fissuras



Fonte: Do Autor (2015)

Figura 10 – RAP 001: VIGA DO RESERVATÓRIO – fissuras



Fonte: Do Autor (2015)

De acordo com a NBR 6118:2014, em função da agressividade do ambiente a fissuração máxima permitida seria de 0,3mm. Entretanto, a Norma ainda faz uma ressalva quanto aos valores limites de fissuração, pois fissuras reais geralmente ultrapassam esses valores, como o que aconteceu na figura 9.

As fissuras de ambas as figuras devem ser tratadas, em especial a primeira, por ter como causa principal a corrosão da armadura. Como fator desencadeador tem-se portanto problemas com a impermeabilização da laje, principal fator de aparecimento desse tipo de manifestação, além da qualidade do concreto e cobrimento da armadura.

Já a figura 11, além de apresentar fissuras verticais nas paredes do RAP 001, possui vazamento, com conseqüente surgimento de criptoflorescência devido a ação da água e corrosão por pite, uma vez que a armadura encontra-se desprotegida.

Esse tipo de vazamento geralmente produz manchas brancas, ou estalactites de carbonato, que indicam externamente o fluxo da água, os quais geralmente ocorrem nas juntas de concretagem. Se a mancha for circular ou elipsoidal, o vazamento está no centro, originado por falha na concretagem. Já se esta for linear, há indício de fissuras na impermeabilização (SOUZA, 2008).

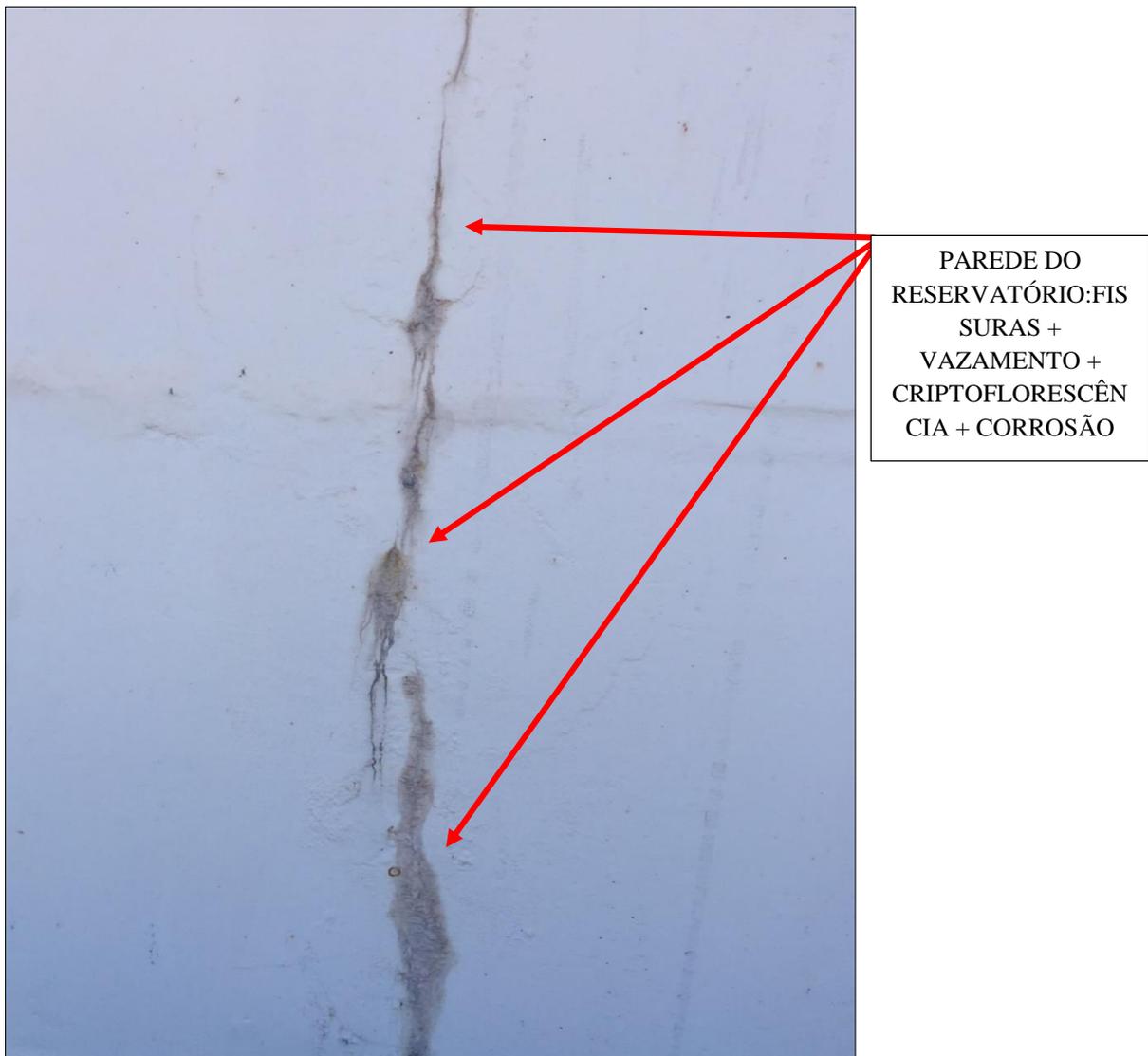
A corrosão por pite é caracterizada por ser localizada, causada pelo ataque de agentes químicos (cloreto e sulfato) ou esforços mecânicos. Esse tipo de corrosão deve ser seriamente investigado e tratado, uma vez que possui tendência de aumentar devido a

diminuição do pH, dificultando a restituição da passivação inicial (GIRÃO, 2008; RIBEIRO, 2015).

É imprescindível que toda e qualquer estrutura passe por um programa de manutenção adequado para que, anomalias que a primeira instância pareçam não atingir e não afetar a vida útil da construção e características de desempenho, possam ser sanadas antes que atinja sua vida útil residual.

Assim, percebe-se que a manutenção corretiva das trincas e fissuras existentes no reservatório não foram suficientes para acabar com as manifestações patológicas. Por esse motivo afirma-se que a análise detalhada das causas que levam às manifestações que dão as diretrizes para se iniciar qualquer processo de intervenção.

Figura 11 – RAP 001: PAREDE DO RESERVATÓRIO



Fonte: Do Autor (2015)

4.1.2. Reservatório Apoiado 002

O Reservatório Apoiado 002 (RAP 002) está localizado atrás do Dertins. Similar ao RAP 01, tem formato circular e capacidade de 10.000 m³ de reserva. Suas características de projeto são as mesmas do Reservatório 01, tendo sido projetado no ano de 1990, concreto com capacidade de 18 MPa e cobrimento da armadura variando de 2,5 a 3,0 cm. A água que chega ao reservatório vem da ETA 06. A adutora sai do RAP 009, chega ao RAP 001, de lá passa pelo RSE 20, e então chega ao RAP 002.

Figura 12 – Reservatório Apoiado 002



Fonte: Do Autor (2015)

Atualmente a estrutura se encontra sem escadas de acesso. Através de entrevista com profissionais da operação da Organização, a escada foi retirada devido a problemas com usuários de drogas e esse fato estava de difícil controle, uma vez que o reservatório se localiza em mata fechada e é de difícil acesso. O mesmo estava tendo sua estrutura comprometida devido ao uso indevido, pois não foi projeto para suportar uma grande quantidade de pessoas em movimento sobre sua laje. Tal fato impossibilitou a vistoria da laje do reservatório.

Não obteve-se também acesso a relatórios de manutenções periódicas ou corretivas. Entretanto, profissionais da Companhia relataram que todos os reservatórios em estudo passaram por manutenção e pintura na mesma época.

Por ter contato direto com a água, as principais manifestações patológicas encontradas se dão devido a esse contato, principalmente o bolor, identificado através de manchas escuras na superfície do concreto. Ele aparece com maior frequência nos cantos inferiores dos reservatórios (interação pilar-parede), indicando umidade, uma vez que nesses locais é mais difícil o contato dos raios solares, como mostra a figura 13.

Figura 13 – RAP 002: PAREDE DO RESERVATÓRIO - bolor



Fonte: Do Autor (2015)

Apesar de seu aparecimento ser comum em ambientes úmidos, notou-se a presença de limo apenas nesse reservatório, o qual manifestou-se juntamente ao bolor. Seu aparecimento é mais comum na calçada que envolve o reservatório, subindo para suas paredes, principalmente nos cantos, local propício ao aparecimento de fungos e micro-organismos.

Deve-se levar em consideração que a foto da figura 14 foi tirada em uma inspeção preliminar em abril de 2015. Voltando ao local, em agosto do mesmo ano, para se obter mais detalhes das anomalias identificadas em primeira instância, observou-se a considerável diminuição dessa manifestação patológica sem que um processo de intervenção

tenha sido feito pela Companhia responsável. Esse fato deve-se ao clima da região e exposição da construção, o qual passou de chuvoso e úmido para quente e seco.

Figura 14 – RAP 002: PAREDE DO RESERVATÓRIO - limo



Fonte: Do Autor (2015)

Além do aparecimento de fungos e micro-organismos em locais que estão em contato direto com a água, a eflorescência é outra anomalia comum nesse tipo de estrutura, identificada pelo aparecimento de crostas brancas, resultado da interação do produto lixiviado com o CO₂ presente na atmosfera (NEVILLE, 1997; RIBEIRO, 2015).

No caso da figura 15 observa-se que o ambiente ainda se mantém úmido, indicando infiltração, causada provavelmente por falta de uma correta impermeabilização e manutenções para sanar o problema.

Aproximando a imagem, como mostra a figura 16, nota-se que a mancha sobre a superfície da estrutura encontra-se rosada e circundada por manchas marrom avermelhada, devido a lixiviação dos produtos de corrosão. Tem-se aí três manifestações patológicas (bolor, eflorescência e corrosão da armadura) distintas ocorrendo em um mesmo local, sustentando a ideia de que um problema acarreta outros, tornando-se indispensável uma intervenção imediata para evitar problemas futuros.

Apesar de o local estar coberto pela lixiviação dos compostos cimentícios, pode-se afirmar que há fissura na região devido ao aspecto molhado, o que indica vazamento. Outra

possibilidade é de fissura apenas na impermeabilização, o que deixou o concreto extremamente poroso e a percolação da água foi facilitada.

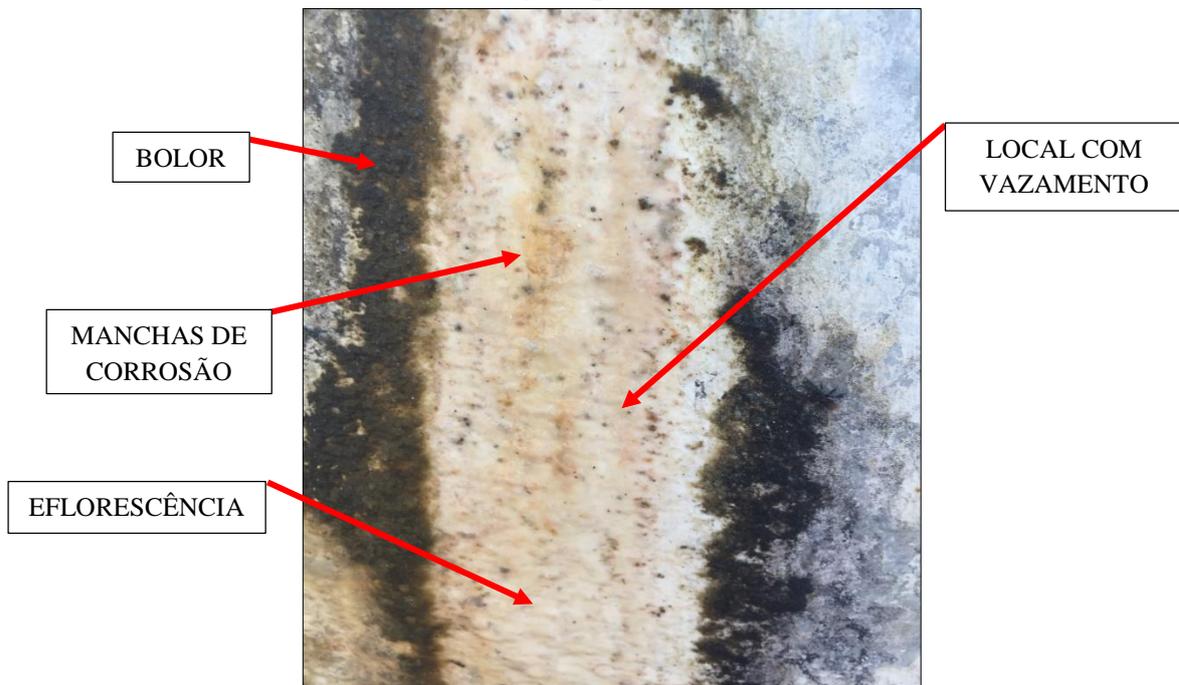
Com o tratamento da fissura e a correta impermeabilização, subentende-se que o problema pode ser resolvido. Caso os sintomas persistam, aí sim uma análise avançada da manifestação deve ser feita.

Figura 15 – RAP 002: PAREDE DO RESERVATÓRIO – bolor, eflorescência e corrosão



Fonte: Do Autor (2015)

Figura 16 – RAP 002: PAREDE DO RESERVATÓRIO – bolor, eflorescência e corrosão (figura aproximada)



Fonte: Do Autor (2015)

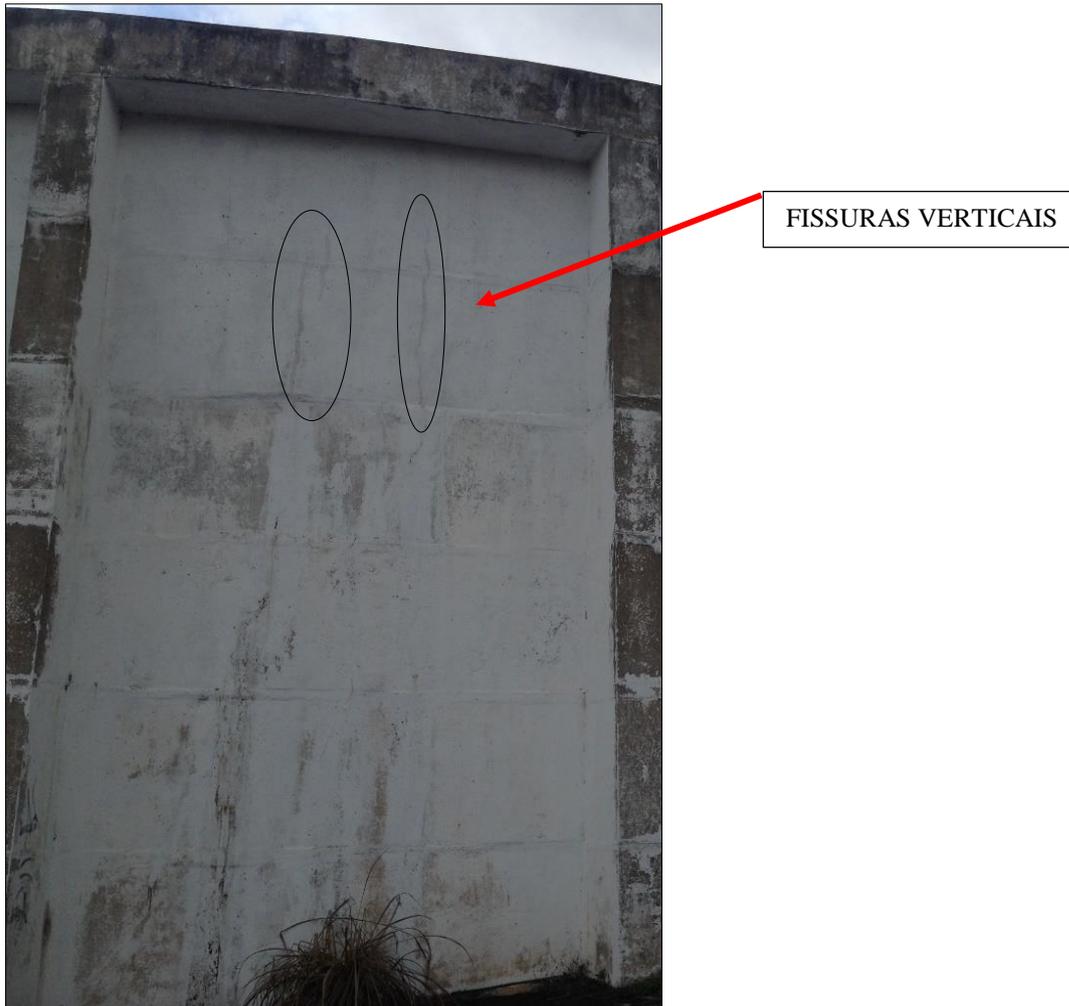
É de fundamental importância, para o correto diagnóstico das estruturas, analisar características de projeto e manutenção, pois dão as diretrizes para o estudo e explicam possíveis causas de deterioração da obra. Além desses fatores, caracterizar a agressividade do ambiente em que a estrutura se encontra (no caso, agressividade moderada) e suas condições de uso, projetam de forma clara e concisa “o porquê” dos resultados obtidos.

A figura 16 também evidencia a ocorrência de corrosão na armadura. Em uma primeira análise coloca-se como fator preponderante o fato de a estrutura passar por ciclos de molhagem e secagem e, portanto, umidade constante. Entretanto, por um processo de anamnese e analisando as características do concreto, fica em evidência a porosidade da pasta de cimento, caracterizada pelos pequenos orifícios, os quais deixam a estrutura suscetível ao ataque de agentes agressores.

Assim, o CO_2 presente na atmosfera entra com facilidade no interior do concreto, quebra a película protetora da armadura e ocorre o processo corrosivo e consequente lixiviação dos produtos de corrosão.

Esse tipo de manifestação pode ser evitada com cuidados em detalhes construtivos, como com o cobrimento da armadura, fator a/c, cuidados na hora da execução de modo a se evitar ninhos de concretagem etc, reduzindo assim a porosidade e permeabilidade do concreto.

Figura 17 – RAP 002: PAREDE DO RESERVATÓRIO – fissuras verticais



Fonte: Do Autor (2015)

Nota-se a presença de fissuras verticais preenchidas com produto da lixiviação dos compostos cimentícios presente na pasta de cimento nas paredes do reservatório, como ilustrado na figura 17. Essas fissuras podem ser problemas de projeto ou execução. A afirmação se fundamenta no princípio de que a armadura das placas não são suficientes e não aguentam a pressão interna feita pela água, o que faz a concreto fissurar.

Pode-se dizer que o problema de execução esteja na mão de obra não qualificada e a falta de um controle de qualidade, o que acarretou essas fissuras, ainda devido a pressão interna que a água faz nas paredes do reservatório.

4.1.3. Reservatório Apoiado 009

O RAP 009 é o menor entre os três reservatórios analisados. A sua principal diferença se dá pelo fato de ter formato retangular, caso incomum nesse tipo de construção, uma vez que a maioria é circular.

Localizado na ETA 06, tem capacidade de 5.000m³. Seu projeto foi concluído em setembro de 1996, possui concreto com fck de 20 MPa e o cobrimento varia de 2,0 a 4,0 cm. Analisando a documentação disponível, viu-se que ele passou por manutenção corretiva interna e externamente, com reforço estrutural em vários pontos devido a erros de projeto, além de impermeabilização. Internamente vários locais apresentavam eflorescência, corrosão e estalactites na laje do reservatório, todas devidamente tratadas.

O RAP 009 também é conhecido como reservatório produção, ou pulmão. Isso porque ele possui um Tanque de Contato com capacidade de 1000 m³, o que faz confusão, pois muitos acabam achando que se trata de um Reservatório Semienterrado (RSE).

Figura 18 – Reservatório Apoiado 009



Fonte: Do Autor (2015)

Nas inspeções feitas no ano de 2015, as fissuras foram a manifestação patológica que mais estiveram presente nessa estrutura por inúmeras causas. Na figura 15 por exemplo, parece haver um problema de ligação entre a laje de fundo e a parede do reservatório. Como consequência, as paredes ficam ainda mais suscetíveis ao ataque de agentes agressores do meio externo.

Figura 19 – RAP 0 9: PAREDE DO RESERVATÓRIO - fissuras



Fonte: Do Autor (2015)

Além de infiltração, as fissuras aleatórias indicam retração hidráulica, ainda na época da construção. Essas microfissuras, que originaram-se ainda na fase de execução do reservatório ou na época em que sofreu manutenção corretiva, indicam que o concreto foi mal curado, processo crucial para se evitar a carbonatação. A presença dessas fissuras enfraquecem o concreto, facilitam a entrada de CO_2 presente na atmosfera e, junto com os a umidade a que o reservatório está exposto, facilita o surgimento de outras anomalias (HELENE, 1986).

Figura 20 – RAP 009: LAJE DO RESERVATÓRIO - fissuras



Fonte: Do Autor (2015)

Na figura 20 as fissuras estão acompanhadas de eflorescência. Observa-se que elas apresentam aparência “seca”, fenômeno chamado de auto cicatrização. A laje dos reservatórios não tem contato direto com a água, entretanto elas também são afetadas pela mesma pelo processo de evaporação. É por esse motivo que sua impermeabilização é imprescindível, tanto quanto nas paredes do reservatório.

Não foi possível a inspeção interna para verificação do atual estado interno da laje. Entretanto, devido a grande quantidade de fissuras iguais às ilustradas na figura 20, e devido ao seu mecanismo de formação, sempre formado a partir das juntas de concretagem, pode-se afirmar que sua causa é devido as altas temperaturas a que a laje está exposta.

Segundo Helene (1986) *apud* Canovas (1977), as fissuras de origem térmica podem alcançar profundidades de até 2500 vezes maior que a abertura, podendo chegar a seccionar a peça.

Figura 21 – RAP 009: VIGA DO RESERVATÓRIO - fissuras



Fonte: Do Autor (2015)

As fissuras também estão presentes na viga de cobertura do RAP 009, como mostra a figura 21. As fissuras na ligação entre a laje e a viga se originaram devido as variações térmicas diárias que, tendo a laje sua dilatação restringida pelas vigas, ocasionam o aparecimento de fissuras nessa região. O mesmo ocorre com a fissura presente na viga.

Figura 22 – RAP 009: PAREDE DO RESERVATÓRIO

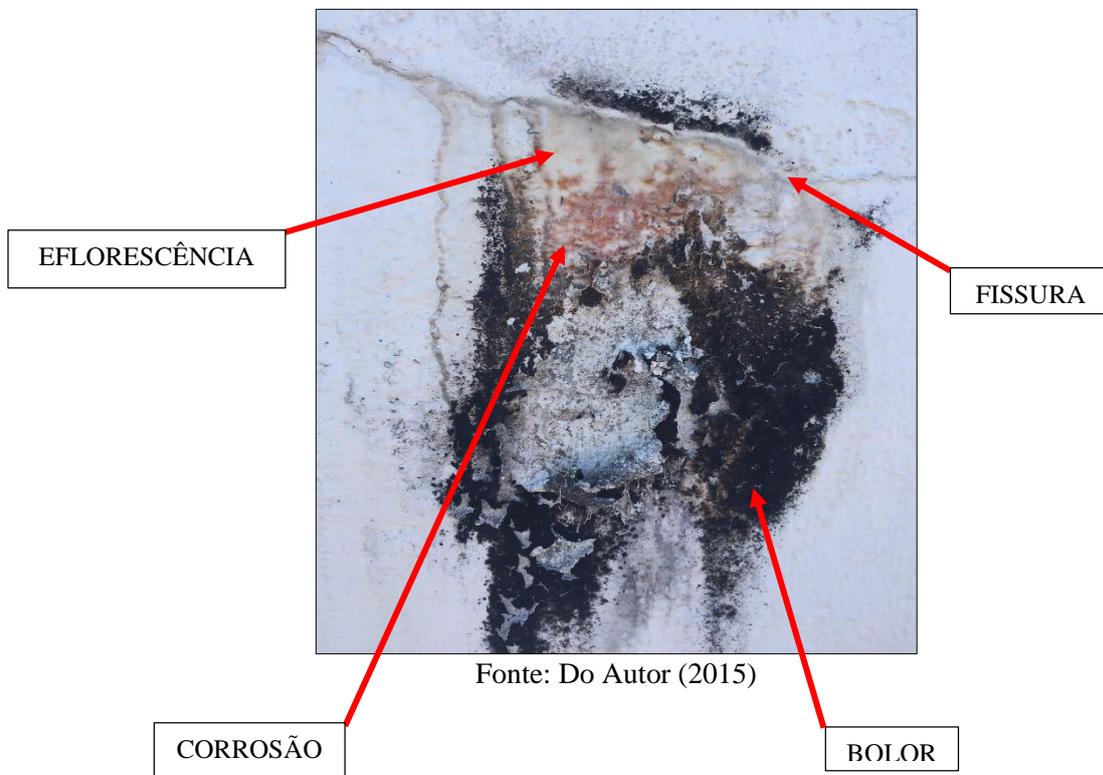


Fonte: Do Autor (2015)

Na figura 22 vê-se o aparecimento de várias manifestações patológicas: bolor, lixiviação, fissura e corrosão da armadura. Analisando as fotos em que o reservatório passou por manutenção corretiva, viu-se que nesse local já havia uma manifestação que antes havia sido recuperada – trinca que ia do começo da fissura elipsoidal até o chão.

Houve a recuperação com reforço estrutural da trinca vertical, o que indica má quantificação do aço. Entretanto, a fissura elipsoidal apareceu novamente com o tempo, como ilustrado. Essa fissura atuou como agente para o aparecimento das outras anomalias já mencionadas, que podem ser melhor vistas na figura 23.

Figura 23 – RAP 09: PAREDE DO RESERVATÓRIO – figura aproximada



Na figura 23, que ilustra a situação anterior, mas aproximada, a manifestação que chama mais atenção é o bolor, seguido da lixiviação dos compostos cimentícios. A eflorescência ainda encontra-se com aspecto molhado, o que indica vazamento e portanto, falha na impermeabilização.

Observa-se que a mancha de corrosão poder ser facilmente identificada, já que acompanha o traçado da fissura. O fenômeno da corrosão do aço no concreto é eletroquímico devido a presença de água; ela conduz à formação de hidróxidos e por isso a coloração marrom-avermelhada (RIBEIRO, 2015), a qual aparece devido ao vazamento constante.

4.2. ENSAIOS REALIZADOS

Para se obter maiores informações sobre as possíveis causas das manifestações patológicas encontradas nos reservatórios estudados e caracterizá-las da forma mais precisa possível devido a falta de informações disponibilizadas quanto ao histórico das construções, ensaios in loco e no Laboratório de Química do CEULP/ULBRA foram realizados, como segue as informações contidas abaixo.

4.2.1. Carbonatação do concreto

As figuras 24 a 27 caracterizam o ensaio para determinação da carbonatação do concreto. Em todos os reservatórios o concreto apresentou-se carbonatado, resultado atribuído à não mudança de cor quando a substância química foi borrifada sobre toda a superfície.

Figura 24 – RAP 001: PILAR DO RESERVATÓRIO – carbonatação do concreto (sem fenolftaleína)



Fonte: Do Autor (2015)

Figura 25 – RAP 001: PILAR DO RESERVATÓRIO – carbonatação do concreto (com fenolftaleína)



Fonte: Do Autor (2015)

Figura 26 – RAP 002: PILAR DO RESERVATÓRIO – carbonatação do concreto



Fonte: Do Autor (2015)

Figura 27 – RAP 009: VIGA DO RESERVATÓRIO – carbonatação do concreto



Fonte: Do Autor (2015)

Atribui-se a esses resultados a concentração de CO_2 presente na atmosfera. Quando o concreto encontra-se poroso, ele penetra na pasta de cimento e reduz o pH da mesma. Como os reservatórios estão em contato direto com a água e ficou visível problemas com infiltração, o ambiente fica ainda mais propício para que o gás carbônico atinja a armadura e se inicie um processo corrosivo, caracterizado pela coloração marrom-avermelhada da superfície do concreto e vista nas paredes dos reservatórios.

“O concreto normalmente possui pH entre 12,6 e 13,5. Ao se carbonatar, estes números reduzem para valores próximos de 8,5” (TOKUDOME, 2009). Para comprovar mediu-se o pH do concreto, com o medidor de pH, no laboratório de Química do CEULP/ULBRA. Os resultados foram:

Quadro 2 – pH dos reservatórios analisados

RESERVATÓRIO	pH
RAP 01	9,95
RAP 02	9,01
RAP 09	8,53

Fonte: Do Autor (2015)

Vale lembrar que o ensaio de carbonatação do concreto foi feito no mesmo local em que as amostras foram retiradas. É por esse motivo que, no RAP 009 por exemplo, onde o pH se aproxima de 8,5, o concreto apresentou-se completamente carbonatado, uma vez que não houve mudança de cor quando a fenolftaleína foi borrifada.

Além disso, há indício de falhas durante a execução dos reservatórios, podendo ser desde a mão-de-obra deficiente, por estar se tratando de uma Capital em construção na época, até falta de fiscalização da obra, sem um rigoroso controle de qualidade. Atribui-se a essa afirmação a presença de ninhos de concretagem em todas as estruturas, às fissuras de retração e por pressão hidrostática e à manutenção corretiva no RAP 009, o qual passou por reforço estrutural.

Vale ressaltar que a os resultados obtidos são indicadores qualitativos; entretanto, são cruciais para determinação das causas e correto diagnóstico dos problemas encontrados. Além disso, como já dito anteriormente, não se pode falar em frente de carbonatação, e sim carbonatação do concreto, pois as amostras não puderam ser escarificadas até atingir a armadura.

4.2.2. Avaliação do teor de cloretos

Os cloretos podem ser encontrados livres ou combinados dentro do concreto; ou seja, como íons na água dos poros, ou formando parte da fase hidratada do cimento. A soma de ambos corresponde o valor de cloretos totais na pasta no concreto.

De acordo com Andrade (1992), apenas os cloretos livres – solúveis em água - podem ser considerados perigosos e desencadear o processo corrosivo. Entretanto, sua determinação é total, pois parte dos cloretos combinados podem vir a ficar disponíveis a reações deletérias ao concreto, devido a fenômenos como carbonatação ou elevação da temperatura.

Figura 28 – Gráfico referente ao teor de cloretos no concreto



Fonte: Do Autor (2015)

A figura 28 mostra a quantidade de cloreto presente nas amostras de concreto analisados. Nos RAPs 001 e 002, as amostras foram coletadas de um dos pilares de cada reservatório, enquanto no RAP 009 a amostra foi coletada de uma das vigas, sendo dos mesmos locais em que os ensaios de carbonatação do concreto foram realizados.

A porcentagem de íons cloreto presente na massa de concreto dos reservatórios são muito baixas. Segundo Andrade (1992), valores de 0,05% a 0,1% de cloreto em relação ao peso do concreto, são quantidades suficientes para despassivar o aço. Ainda assim, já se encontrou armaduras corroídas com valores inferiores a esse, e armaduras não corroídas em concretos com teores superiores a esses limites.

Portanto pode-se afirmar que o concreto dos reservatórios não possui quantidades significativas de íons cloreto em seu interior, nem que há má administração dos produtos de tratamento da água, o que indica qualidade do concreto e dos serviços prestados pela Companhia de Abastecimento. Assim, as manifestações de corrosão identificadas anteriormente não são fruto de problemas com cloretos.

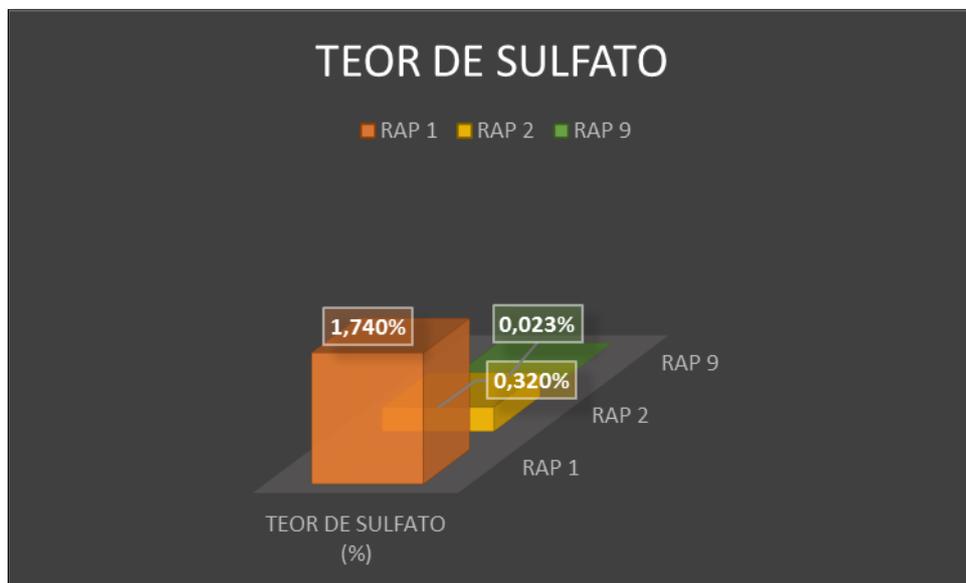
4.2.3. Avaliação do teor de sulfatos

As manifestações patológicas que afloram a partir do ataque por sulfato são devido à formação de gipsita e etringita que, ao atingir o aço, provocam sua expansão e consequente fissuração do concreto (RIBEIRO, 2015).

Geralmente, os íons sulfatos penetram no concreto por estarem presentes no solo ou na água; ou seja, depende muito do meio ambiente em que a estrutura está inserida. Como os reservatórios em análise estão em ambiente de baixa agressividade, essa hipótese está descartada.

Uma outra forma de ataque por sulfato é este estar incorporado na pasta de cimento. Entretanto essa hipótese também está descartada pois, em ambientes em que o concreto tem contato direto com a água, é de praxe a utilização de cimento resistente a sulfato e adições minerais.

Figura 29 – Gráfico referente ao teor de sulfatos no concreto



Fonte: Do Autor (2015)

Os resultados do ensaio estão apresentados na figura 29. Observa-se que os RAPs 002 e 009 apresentaram quantidade baixa de íons cloreto em sua amostra, enquanto o RAP 001 apresentou quantidade significativa, o que serve de alerta. A porcentagem do RAP 001 foi elevada devido, ao que tudo indica, ao reparo de suas trincas e fissuras a que a estrutura foi submetida.

4.2.4. Esclerometria

Segundo a NBR 7584:1995, o ensaio esclerométrico mede a dureza superficial do concreto pelo uso do esclerômetro de flexão, fornecendo elementos para avaliação da qualidade do concreto endurecido.

Foram realizados 2 ensaios por reservatório, em lugares opostos, em suas paredes, a fim de se obter os resultados mais precisos possíveis, uma vez que se tratam de grandes áreas, como pode ser visto nos quadros 3, 4 e 5.

Os aparelhos foram colocados perpendiculares à posição das paredes, 90°, e só aí realizou-se os ensaios. Para medir a dureza superficial do concreto – valores em MPa - utilizou-se a curva fornecida pelo fabricante.

É importante ressaltar que o aparelho foi aferido pela TÉCNICA Engenharia em Outubro de 2014, conforme recomendado pela Norma. Portanto, o aparelho estava aferido e pronto para uso, sendo desnecessário o uso de fator de correção.

Quadro 3 – Resultados do ensaio de esclerometria no RAP 001

RAP 01					
52	47	46	42	42	44
50	46	46	49	43	43
47	47	40	45	44	49
Média: 47,00			Média: 44,56		
39 MPa			37 MPa		

Fonte: Do Autor (2015)

Quadro 4 – Resultados do ensaio de esclerometria no RAP 002

RAP 02					
43	39	42	40	44	36
42	40	41	48	41	38
45	54	58	44	41	37
Média: 42,60			Média: 40,71		
36 MPa			35 MPa		

Fonte: Do Autor (2015)

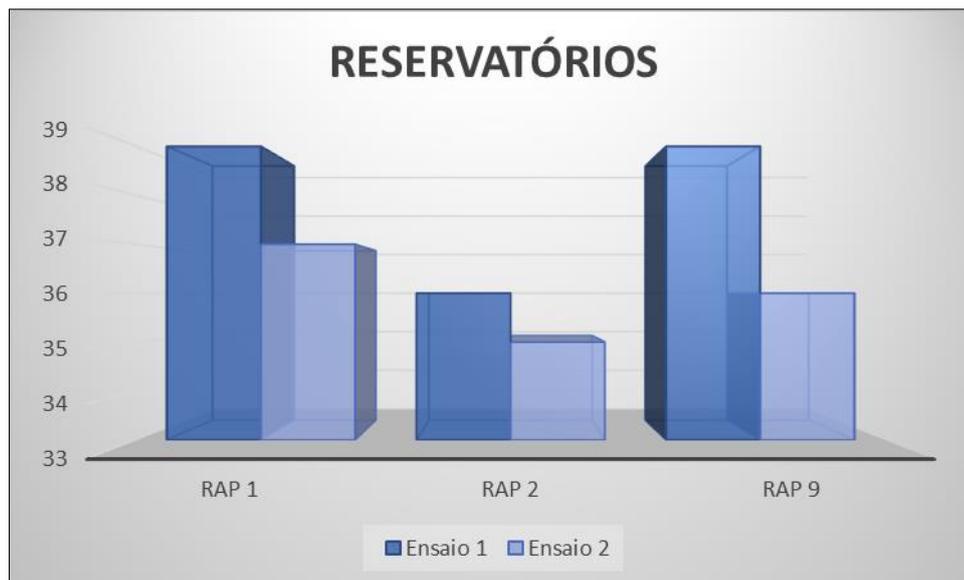
Quadro 5 – Resultados do ensaio de esclerometria no RAP 009

RAP 09					
60	50	52	43	44	42
36	44	50	43	43	41
46	52	46	41	42	38
Média: 48,57			Média: 41,89		
39 MPa			36 MPa		

Fonte: Do Autor (2015)

■ Índice esclerométrico desprezado

Os quadros 3 a 5 representam os resultados do ensaio de esclerometria por reservatório. Os valores em vermelho, foram desprezados na primeira média por diferir em 10%, para mais ou para menos, da média dos 9 valores. Quando isso ocorreu, a média foi refeita excluindo os valores que antes não passaram, e uma nova verificação foi feita. Em todos os ensaios houve valores desprezados apenas no primeiro cálculo.

Figura 30 – Gráfico referente aos ensaios de esclerometria nos reservatórios do SAA de Palmas - TO

Fonte: Do Autor (2015)

A figura 30 mostra o resultado dos ensaios de esclerometria nos reservatórios analisados. Em análise, percebe-se que eles possuem boa resistência e que a mesma aumentou consideravelmente com o tempo - em projeto, o fck dos RAPs 001 e 002 são de 18 MPa, enquanto do RAP 9 é de 20 MPa. Além disso, os resultados demonstram a homogeneidade do concreto.

Vale ressaltar que esse tipo de ensaio serve apenas como auxílio para se fazer o correto diagnóstico do estado de conservação e desempenho das obras analisadas, não podendo se tomar nenhuma conclusão apenas com os resultados obtidos a partir deste, uma vez que uma infinidade de fatores contribuem para se definir as causas das manifestações patológicas.

4.3. HISTÓRICO DE MANUTENÇÃO

O acesso ao histórico de manutenção dos reservatórios tornou-se difícil devido a falta de arquivos acerca do assunto. Sabe-se que este tipo de procedimento é essencial, haja vista que dá as diretrizes para conclusões precisas sobre as manifestações patológicas, pois ajudam de forma considerável na determinação das causas das mesmas.

Apesar de, em entrevista com Integrantes antigos da Companhia de Saneamento, ser unânime o fato de que houve manutenção nos reservatórios, datas não são fixadas. O que há de mais recente é um relatório de inspeções visuais feito em todos os reservatórios do SAA, tanto os em concreto, quanto os em aço.

As inspeções foram realizadas em formato de “check list” em junho de 2014, como exemplo em anexo. Segundo os dados inseridos, dois dos três objetos de estudo foram classificados como “ruim” quanto a sua impermeabilização – RAPs 001 e 002. Nesse sentido, o RAP 002 foi o único que apresentou infiltração em suas paredes.

Entretanto, o reservatório apoiado 009 foi classificado como “bom” em todos os quesitos da planilha. Percebe-se aí que, segundo os resultados obtidos nesse trabalho, apesar de se encontrar em melhor estado de conservação perante os outros, a quadro sintomatológico mudou, já que em pouco mais de um ano várias manifestações patológicas foram encontradas nos mesmos.

Quanto a restauração, dois dos três reservatórios passaram por algum procedimento corretivo: RAPs 001 e 009. No Reservatório Apoiado 001 foi diagnosticado infiltração em todas as suas paredes. Para sanar tal problema, as trincas foram monitoradas com

lâmina de vidro, a fim de se definir o melhor sistema a ser adotado. A empresa executora decidiu utilizar bicos de injeção de poliuretano hidro expansivo para conter as trincas e fissuras.

Apesar de aparentemente ter ficado em perfeito estado, o reservatório não passou por nenhum tratamento interno ou diagnóstico mais preciso das causas das trincas, o que torna essa intervenção apenas paliativa, uma vez que as manifestações voltaram a parecer.

Figura 31 – “Antes” da intervenção feita no RAP 001



Fonte: Do Autor (2015)

Figura 32 – “Depois” da intervenção feita no RAP 001



Fonte: Do Autor (2015)

O RAP 009 também passou por correção, mas este por questões de projeto. Após detecção de um vazamento na parte inferior do Tanque de Contato do Reservatório, decidiu-se que o projeto do mesmo deveria passar por uma revisão.

A nova empresa contratada encontrou erros de dimensionamento das paredes da estrutura. Suas paredes passaram então por reforço estrutural de acordo com o que foi solicitado pelo projetista.

Quando este foi esvaziado para correção, notou-se um grande número de fissuras com preenchidas com eflorescência em suas paredes e estalactites na tampa do reservatório. Não obteve-se dados precisos se essas manifestações foram tratadas e se a impermeabilização refeita.

Ao que tudo indica, apenas nos locais em que houve reforço a parede foi impermeabilizada. Na figura 33 pode-se ter uma ideia geral de como se deu o “grampeamento” da estrutura.

Figura 33 – Reforço estrutural no RAP 009



Fonte: Do Autor (2015)

5. CONCLUSÃO

Após estudo detalhado das manifestações patológicas encontradas nos três reservatórios analisados e de suas causas, fica evidente o quão importante é um rigoroso controle de qualidade na hora da execução, principalmente quando se analisa a impermeabilização da estrutura, evidenciada como a causa da maioria das anomalias.

Analisando os resultados obtidos percebe-se que a eflorescência foi a manifestação patológica que mais esteve presente nas estruturas, enquanto as fissuras foram as de maior grau de deterioração, porta de entrada para os agentes agressivos do meio externo.

Nos ensaios de carbonatação do concreto todos apresentaram carbonatação, principalmente o RAP 009. Tal fato se atribui ao baixo pH das amostras analisadas, deixando o concreto mais poroso e contribuindo para que os agentes agressores do meio externo atingissem a armadura, desencadeando o processo corrosivo. Em análise às manifestações, ficou evidente a grande quantidade de fissuras oriundas da corrosão, as quais reforçam o exposto.

Na determinação dos teores de cloreto e sulfato as porcentagens obtidas através dos ensaios foram muito baixas, descartando a hipótese de corrosão da armadura devido a presença destes. Entretanto, o RAP 001 apresentou quantidade de íons sulfato pouco além do esperado, tendo como provável causa o reparo a que foi submetido.

O ensaio de esclerometria, apesar de ser qualitativo, mostrou que o concreto dos reservatórios encontra-se em bom estado. Conclui-se portanto que, quanto aos materiais utilizados e procedimentos de execução, as três estruturas apresentaram resultado satisfatório.

Outro fator preponderante é a falta de manutenção periódica das estruturas, a qual evitaria grande parte das manifestações patológicas encontradas. Vê-se então o quão importante é um programa de manutenção e inspeções rotineiras, essenciais para o prolongamento da vida útil e correto desempenho.

De acordo com o modelo de vida útil baseado no fenômeno de corrosão das armaduras, os reservatórios atingiram sua vida útil de serviço, uma vez que as manifestações não comprometem ainda o desempenho das estruturas, afirmação que muda se não houver reparo.

Conclui-se portanto que é indispensável a recuperação dos reservatórios, com o intuito de se evitar maiores problemas futuros sem prejudicar o correto desempenho e sem prejudicar a população que depende deles para manter suas funções básicas diárias.

5.1. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Apresentar e analisar formas de manutenção e reparo das manifestações patológicas presentes nos reservatórios.
- Elaborar um programa de manutenção periódica a fim de se evitar ao máximo o aparecimento de manifestações.
- Avaliar os reservatórios em concreto armado do SAA que não foram objetos de estudo do presente trabalho.

KIMURA, A. E. **ABNT NBR 6118: Evolução, Tendências e Desafios**. XVI Encontro Nacional de Engenharia e Consultoria Estrutural. 2013.

LAPA, J. S. **Patologia, recuperação e reparo das estruturas de concreto**. 2008. Dissertação (especialização) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

MAZER, W. et al. **Determinação do teor de íons sulfato em estruturas de concreto**. XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química. Florianópolis, 2014.

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo, PINI, 1994.

NEVILLE, A. M. **Propriedade do concreto**. Trad. Salvador E. Giamusso 2ª ed. rev. e atual. São Paulo, PINI, 1997.

PEREIRA, Hazen Willian Bezerra Pereira. **Identificação das condições gerais de conservação nos reservatórios integrantes do sistema de abastecimento de água de Natal**. 2014. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.

RIBEIRO, F. H. M. et al. **Avaliação do estado de conservação de reservatórios e instalações de tratamento de água**. IBRACON, 2008.

RIBEIRO, F. H. M. et al. **Análise do estado de conservação das principais obras de arte da cidade de Palmas – TO**. IBRACON, 2011.

RIBEIRO, F. H. M. **Notas de aula**. 2014.

RIBEIRO, F. H. M. **Notas de aula**. 2015.

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

SOUZA, M. F. **Patologias ocasionadas pela umidade nas edificações**. 2008. Dissertação (especialização) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

SOUZA, V. C. M.; RIPPER T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto.** São Paulo, PINI, 1998.

TINOCO, H. F. F. **Reservatórios em concreto armado: principais manifestações patológicas, diagnóstico e soluções para reabilitação e reforço.** IX Congresso Internacional sobre Patologia e Recuperação de Estruturas. João Pessoa, 2013.

TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de água.** São Paulo, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

7. ANEXO

ODEBRECHT Ambiental		AVALIAÇÃO DE RESERVATÓRIOS DE ÁGUA			
REGIONAL:	POLO:	CIDADE:	IDENT. DO RESERV. RAP	DATA:	
TIPO DE RESERVATÓRIO <input type="checkbox"/> Elevado <input type="checkbox"/> Enterrado <input type="checkbox"/> Semi enterrado <input type="checkbox"/> Outros: APOIADO	MATERIAL <input type="checkbox"/> Concreto <input type="checkbox"/> Metálico <input type="checkbox"/> Outros _____	FORMATO <input type="checkbox"/> Circular <input type="checkbox"/> Retangular <input type="checkbox"/> Taça <input type="checkbox"/> ANT <input type="checkbox"/> ACT	LOCALIZAÇÃO <input type="checkbox"/> Região de baixa densidade demografica <input type="checkbox"/> Região de media densidade demografica <input type="checkbox"/> Região de alta densidade demografica <input type="checkbox"/> Região isolada sem edificação no raio minimo de 100m		
CHECK LIST					
ITENS A SEREM VERIFICADOS			CONDIÇÃO		
			RUIM	MÉDIO	BOM
Ancoragens (Chumbadores) na base					
Estado da cobertura metálica (Tampa)					
Estado da colunas metálicas					
Condições dos cordões de solda					
Condições das chaparias da Taça					
Corrosão em todo o reservatório					
Estado da pintura					
Escada de Marinheiro com guarda corpo					
Escada de Marinheiro sem guarda corpo					
Estado das colunas e vigas em concreto (sustentação)					
Erosão de Paredes em concreto (armaduras expostas)					
Corrosão de armaduras					
Estado da estrutura de cobertura em concreto (Tampa)					
Estado da fundação em concreto					
Impermeabilização (existe algum tipo de proteção)					
Infiltrações (trincas, rachaduras, fissuras etc.)					
Estado da paredes do reservatorio de concreto					
Placa de indicação de espaço confinado					
Estado das condições internas (se possível)					
Observações (Pontos não mencionados na planilha)					