

**SILVANA DA SILVA**

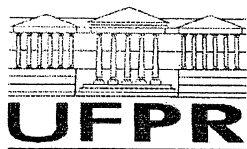
**MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM OBRAS DE SANEAMENTO:  
RESERVATÓRIOS DE ÁGUA POTÁVEL**

**Monografia apresentada para obtenção  
do título de Especialista em Construção  
Civil no Curso Pós-Graduação em  
Engenharia Civil, Setor de Tecnologia,  
Universidade Federal do Paraná.**

**Orientador: Prof. Mauro Lacerda  
Santos Filho**

**CURITIBA**

**2000**



Ministério da Educação  
Universidade Federal do Paraná

Setor de Tecnologia  
Centro de Estudos de Engenharia Civil Professor Inaldo Ayres Vieira

### Ata de Apresentação de Monografia

Ao 30 dias do mês de novembro de 2000, nas dependências do CESEC/LAME, reuniu-se a seguinte Comissão para apreciação da Defesa de Monografia, de Silvana da Silva, composta pelos membros :Prof. Mauro Lacerda Santos Filho (orientador), Prof. Marcos Antonio Marino, Prof. Eduardo Dell'Avanzi e Eng.Luiz Renato Cunha Guarinello.

A monografia : "Manifestações Patológicas em Obras de Saneamento: Reservatórios de Água Potável", faz parte dos requisitos necessários à obtenção do Título de Especialista Construção Civil, relativo ao curso 1999 – 1ª. versão.

Curitiba, 30 de novembro de 2000

Prof. Mauro Lacerda Santos Filho

Eng. Luiz Renato Cunha Guarinello

Prof. Marcos Antonio Marino

Prof. Eduardo Dell'Avanzi

**À minha família:**

**Deoclides, Lourdes, Geovana e Adriana**

## AGRADECIMENTOS

Aos professores do curso de pós-graduação em Construção Civil pelos ensinamentos e conhecimentos transmitidos, principalmente ao professor Mauro Lacerda Santos Filho pela orientação desse trabalho.

Aos amigos do Curso pela receptividade, amizade e ideais compartilhados e aos funcionários do CESEC, Maristela e Eliseu, pela atenção, ajuda e eficiência na resolução das questões relativas à secretaria.

À direção e funcionários do SAAE – Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Marechal Cândido Rondon/PR pelo incentivo e amizade. Em particular à pessoa de Rógerio E. Grenzel por ter viabilizado a pesquisa e ao amigo Bento Reckziegel pela colaboração incondicional na obtenção dos dados.

Aos meus pais e irmãs pela amor, carinho, confiança e incentivo sempre transmitidos, em especial à Adriana que tornou possível a realização do curso assumindo minhas atividades profissionais.

Ao Ricardo pelo amor, compreensão e incansável apoio.

Às minhas sobrinhas simplesmente por elas existirem.

# SUMÁRIO

<b>LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....</b>	<b>V</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>VI</b>
<b>CAPÍTULO 1 .....</b>	<b>1</b>
<b>1.INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 OBJETIVOS .....	3
1.3 JUSTIFICATIVA.....	4
1.4 APRESENTAÇÃO DA ESTRUTURA DO TRABALHO .....	5
1.5 RESUMO DO CAPÍTULO.....	6
<b>CAPÍTULO 2 .....</b>	<b>7</b>
<b>2. PATOLOGIAS E RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL .....</b>	<b>7</b>
2.1 PATOLOGIAS DE PLANEJAMENTO/ PROJETO.....	7
2.1 PATOLOGIAS DECORRENTES DO MÉTODO CONSTRUTIVO.....	10
2.2 CORROSÃO .....	11
2.3 MANUTENÇÕES EM ESTRUTURAS .....	13
2.4 RECUPERAÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO .....	15
2.5 RESUMO DO CAPÍTULO.....	21
<b>CAPÍTULO 3 .....</b>	<b>22</b>
<b>3. ESTUDO DE CASO.....</b>	<b>22</b>
3.1 MÉTODO DE PESQUISA .....	22
3.2 PROTOCOLO DE COLETA DE DADOS .....	22
3.3 ESTRATÉGIA DE ANÁLISE DOS DADOS.....	23
3.4 DESCRIÇÃO DOS RESERVATÓRIOS ESTUDO DE CASO.....	24
3.5 PRINCIPAIS PROBLEMAS E PATOLOGIAS ENCONTRADAS .....	28
3.6 ANÁLISE DOS PROBLEMAS .....	39
3.7 MÉTODOS DE RECUPERAÇÃO APLICÁVEIS.....	43
3.8 MONITORAMENTO E MANUTENÇÃO DA ESTRUTURA REPARADA.....	48
3.9 RESUMO DO CAPÍTULO.....	50
<b>CAPÍTULO 4 .....</b>	<b>51</b>
<b>4. CONCLUSÕES .....</b>	<b>51</b>
4.1 CONCEPÇÃO ESTRUTURAL E MORFOLÓGICA .....	51
4.2 MATERIAIS E MÉTODO CONSTRUTIVO.....	52
4.3 CONCLUSÃO GERAL.....	53
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>55</b>

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - DETALHES CONSTRUTIVOS – CANTOS VIVOS .....	8
FIGURA 2 - DETALHES CONSTRUTIVOS QUE POSSIBILITAM ESTAGNAÇÃO DE LÍQUIDOS .....	8
FIGURA 3 - DETALHES CONSTRUTIVOS CAUSADORES DE SEDIMENTAÇÃO DE PRODUTOS, EROSIÃO E TURBULÊNCIA .....	9
FIGURA4- DETALHES CONSTRUTIVOS CAUSADORES DE EROSIÃO POR CATIVAÇÃO E IMPINGIMENTO .....	9
FIGURA 5- DETALHES PARA EVITAR CORROSÃO NA PARTE INFERIOR DE PILARES.....	10
FIGURA6- ALTERNATIVAS DE REPARO E PROTEÇÃO DE ESTRUTURAS DANIFICADAS POR CORROSÃO.....	15
FIGURA 7 - SEDE ADMINISTRATIVA DO SERVIÇO AUTÔNOMO DE ÁGUA ESGOTO DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON .....	25
FIGURA 8 - VISTA GERAL DO RESERVATÓRIO R1 .....	26
FIGURA 9 - RESERVATÓRIO R1 EM 12/1999.....	28
FIGURA 10 - RESERVATÓRIO R1 EM 05/2000.....	28
FIGURA 11 - PATOLOGIA EXTERNA – FUNGOS .....	29
FIGURA 12 - PATOLOGIA EXTERNA – FUNGOS 2 .....	29
FIGURA 13 - PATOLOGIA EXTERNA NO REVESTIMENTO.....	29
FIGURA 14 - PERFURAÇÃO DA TUBULAÇÃO.....	30
FIGURA15- PATOLOGIA INTERNA - EXPANSÃO DO CONCRETO DEVIDO CORROSÃO.....	30
FIGURA 16 - PATOLOGIA INTERNA - ARMADURA EXPOSTA.....	30
FIGURA17- FISSURAÇÃO DAS PAREDES E CORROSÃO ARMADURA DA COBERTURA .....	31
FIGURA 18 - CORROSÃO DAS ARMADURAS E ESQUADRIAS .....	31
FIGURA 19 - FISSURAÇÃO E CORROSÃO LAJE DE FUNDO .....	32
FIGURA 20 - ALTA POROSIDADE DO CONCRETO .....	32
FIGURA 21 - MANCHAS DE UMIDADE NA LAJE DE COBERTURA.....	33
FIGURA 22 - CORROSÃO NA TUBULAÇÃO INTERNA .....	33
FIGURA 23 - FISSURAÇÃO COM EXPOSIÇÃO DE ARMADURA NA LAJE DE FUNDO.....	34
FIGURA 24 - CORROSÃO DA ARMADURA E DESTACAMENTO DE CONCRETO.....	34
FIGURA 25 – DESCOLAMENTO DA MANTA .....	35
FIGURA 26 – DESCOLAMENTO DA MANTA 2.....	35
FIGURA27- RUPTURA DA ARMADURA E MANCHAS DE UMIDADE NA LAJE COBERTURA .....	35
FIGURA 28 - FALHAS NO ESPAÇAMENTO DAS ARMADURAS.....	36
FIGURA 29 - PROBLEMAS CONSTRUTIVOS - FÔRMAS .....	36
FIGURA 30 - CORROSÃO DAS ARMADURAS NA LAJE DO ANEL DE VENTILAÇÃO.....	37
FIGURA 31 - FISSURAS NA ÁREA EXTERNA DA LAJE DE COBERTURA .....	37
FIGURA 32 - NICHOS DE CONCRETAGEM .....	38
FIGURA 33 - LIXIVIAÇÃO DO CONCRETO -LAJE EXTERNA .....	38
FIGURA 34 – ESCARIFICAÇÃO MANUAL .....	45
FIGURA 35 – LIXAMENTO MANUAL.....	45
FIGURA 36 - JATO DE AREIA VIA SECA OU ÚMIDA .....	46
FIGURA 37 - JATO DE AR COMPRIMIDO .....	46
FIGURA 38 - SUBSTITUIÇÃO DE ARMADURAS POR TRASPASSE.....	47
FIGURA 39 - FLUXOGRAMA DAS INFORMAÇÕES DO PROCESSO DE OPERAÇÃO DE MANUTENÇÃO E REPARO DOS RESERVATÓRIOS.....	49

## RESUMO

Estruturas de concreto armado destinadas a reservação de água potável tratada com cloro, flúor e outros compostos químicos estão sujeitas a severas condições de exposição, que podem causar inúmeras manifestações patológicas e acelerar o processo de deterioração da estrutura. Esse risco é ampliado quando se tem grandes estruturas com projetos, execução e manutenções inadequadas. Nesse trabalho são apresentadas as patologias encontradas em dois reservatórios de água que pertencem ao sistema de abastecimento de água da cidade de Marechal Cândido Rondon /PR. Descrevem-se as possíveis causas de origem dos problemas e os procedimentos necessários à recuperação e manutenção dos reservatórios.

Palavras-chave: Patologia de estruturas de concreto, manutenção, durabilidade, reservatórios.

## CAPÍTULO 1

### 1. INTRODUÇÃO

A água é um bem essencial para sobrevivência da humanidade e devida a sua aparente abundância, muitos não tem consciência de suas condições atuais. A água está se tornando um bem de consumo cada vez mais raro. Várias entidades do mundo estão dando conta que num futuro não muito distante a água será um material estratégico de máxima prioridade. Possivelmente lhe será dispensado o mesmo tratamento e importância funcional que se dá ao petróleo nos dias atuais.

No Brasil é grande o índice de perdas, principalmente se comparado a outros países. A média nacional chega a quase 50%, onde metade desse valor é constituída de vazamentos e desperdícios e outra metade em consumos não faturados (COSTA e SILVA, 1996). Parte dessas perdas são devido a carência de manutenções nas diversas etapas dos sistemas de abastecimento, onde os reservatórios tem participação fundamental não só pelo fato de permitirem a distribuição mas também pelo fato de que a falta de manutenção, além de contribuir com o aumento no índice de perdas pode ainda comprometer a vida útil da estrutura.

Os reservatórios de concreto estão sujeitos a ambiente muito agressivos e a causa dessa agressividade é o próprio meio ao qual são projetados, ou seja, a água, devido as substâncias que à ela são adicionadas para garantir sua potabilidade.

Em razão da importância funcional dos reservatórios de água potável, buscase nesse trabalho, determinar as prováveis causas que provocam o surgimento de manifestações patológicas neste tipo de reservatório, identificá-las e propor meios que cessem a deterioração dessas estruturas, prolongando sua utilização e durabilidade.

De acordo com SANTOS FILHO (1999), “o envelhecimento e degeneração é um processo natural e inevitável para todas as edificações. O problema principal não é saber que elas se deterioram, mas como isso acontece e com que rapidez”. Assim, deve-se manter um programa de manutenção na estrutura para que se possa preservar

as condições de servicibilidade inicialmente previstas. Programas de manutenções preventivas e periódicas podem manter o custo de operação da estrutura a níveis aceitáveis. Porém, a ausência de acompanhamento do desempenho da estrutura gera custos elevados para reparação e recuperação, quando não ao colapso e conseqüente inviabilidade funcional.

É sabido da literatura que cada unidade monetária despendida na boa execução de uma obra, corresponde a outras cinco necessárias para manutenção preventiva, vinte cinco unidades no reparo e manutenção e cento e vinte cinco na restauração e reforço da mesma estrutura. Esses números mostram o quanto se maximiza os custos ao longo da vida útil das estruturas, quando leva-se em consideração somente os ganhos marginais na época da construção da edificação.

A durabilidade das estruturas de concreto depende de vários fatores, alguns inerentes ao projeto, outros em função dos materiais utilizados e sua forma de produção e, finalmente, aqueles relativos a manutenções da obra.

Convém ressaltar que a boa qualidade do concreto utilizado, entendendo aqui a dosagem adequada, o correto lançamento, adensamento e cura, é fundamental na durabilidade das estruturas, pois a permeabilidade do concreto é um dos importantes fatores que podem comprometer a estrutura em decorrência do teor de umidade presente no interior do concreto ser diretamente proporcional a velocidade de propagação da corrosão nas armaduras.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 OBJETIVO PRINCIPAL

O objetivo deste trabalho é analisar a morfologia, concepção estrutural e método construtivo usualmente utilizados na elaboração de reservatórios de água potável. Como também, avaliar a influência desses fatores na durabilidade dos mesmos.

### 1.1.2 OBJETIVO SECUNDÁRIO

Desenvolver um estudo de caso analisando estruturas existentes que apresentam problemas patológicos, diagnosticá-los e propor ações terapêuticas nessas estruturas.

Este estudo de caso será realizado em dois reservatórios elevados do Sistema de Abastecimento de Água do SAAE - Serviço Autônomo de Água e Esgoto da cidade de Marechal Cândido Rondon, oeste do Paraná.

## 1.2. HIPÓTESES

### 1.2.1 HIPÓTESES PRINCIPAIS

- a) Falhas e/ou negligências na fase de concepção dos projetos originam manifestações patológicas em reservatórios de água;
- b) Despreparo e ausência de cuidados mínimos da mão-de-obra corroboram com as doenças patológicas encontradas nas estruturas;
- c) A durabilidade das estruturas está diretamente relacionada com o número de manutenções preventivas e periódicas que as estruturas recebem no decorrer de sua utilização.

## 1.2.2 HIPÓTESES SECUNDÁRIAS

- a) A estrutura sofre influência, a nível de movimentação, do transporte existente em suas imediações.

## 1.3 JUSTIFICATIVA

A vida útil das estruturas depende, entre outros fatores, da forma como foram projetadas. As características fornecidas pelo projeto, quer de uma edificação ou de um reservatório, podem determinar, juntamente com o rigor tecnológico durante a execução, por quanto tempo essa estrutura estará apta à utilização. Os reservatórios de água que abastecem as cidades fazem parte dos sistemas de abastecimento e dessa forma influenciam diretamente na qualidade de vida da população, pelo fato de armazenarem a água a ser distribuída. O custo de produção de água potável está se tomando cada vez mais elevado, face a poluição e o crescimento demográfico dos centros urbanos. Vale ressaltar a importância de se evitar o desperdício e também promover a conservação adequada das instalações existentes.

A interrupção no abastecimento em função da perda de um reservatório pode provocar graves danos à população, principalmente na área da saúde e bem estar social. Conforme dados coletados no Sistema de águas em estudo – SAAE, mais de 30% da água coletada é armazenada nos reservatórios elevados e estes necessitam estar em operação por bombeamento aproximadamente 18 horas diárias para atender a demanda de consumo. Esse dado comprova a importância estratégica dos reservatórios, considerando que a maior densidade populacional, bem como casas de saúde, hospitais e escolas, concentram-se nas regiões mais elevadas da cidade e, conseqüentemente necessitam da pressão d'água fornecida pelos reservatórios .

Embora fundamentais nos sistemas de abastecimento das cidades, ainda é bastante reduzido o número de publicações técnicas que abordem os problemas patológicos verificados em reservatórios de água, dessa forma, dificultando a conscientização dos profissionais da área sobre a importância dos cuidados durante a

concepção, execução e da existência de programas de manutenções nas estruturas de concreto e também metálicas. O reflexo é direto e imediato, com maior conhecimento técnico dos danos passíveis de ocorrer, o rigor na qualidade dos projetos e na execução aumentam, dispensando-se maior atenção a aspectos como morfologia e concepção estrutural, propriedades do concreto fresco e endurecido, capacidade executiva da mão-de-obra e cuidados a detalhes construtivos e operacionais.

O conhecimento do desempenho das estruturas adquirido através das intervenções e manutenções realizadas podem fornecer dados referentes ao método construtivo e ao comportamento dos materiais ora utilizados, que servirão de fonte de consulta, espécie de *feedback*, para a construção de novas estruturas muito mais duráveis.

#### 1.4 APRESENTAÇÃO DA ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está estruturado em quatro capítulos, divididos da seguinte forma:

No primeiro capítulo é apresentado o trabalho como um todo, ou seja, os objetivos propostos e hipóteses assumidas para o direcionamento dos estudos e a identificação dos objetos estudo de caso.

O Capítulo 2 se reporta ao referencial teórico da pesquisa, nele são ilustrados as definições, processos e considerações existentes sobre os problemas patológicos que afetam as estruturas de concreto armado. Na parte final do capítulo são mostrados os métodos de manutenção que podem auxiliar na prevenção e impedir o início das manifestações patológicas. Ainda, comenta-se brevemente sobre os principais materiais e sistemas disponíveis para comercialização.

No Capítulo 3 é desenvolvido o estudo de caso. São relacionadas as estratégias para coleta de dados das manifestações patológicas e os problemas verificados nos reservatórios. Após descrição, as anomalias são analisados sob o ponto de vista de projeto, execução e manutenção. Na última parte do capítulo são indicados os métodos para reparo e manutenção dos reservatórios visando acréscimo e/ou recuperação da vida útil das estruturas.

O Capítulo 4 é dedicado às conclusões sobre o trabalho.

## 1.5 RESUMO DO CAPÍTULO

Neste capítulo inicial são apresentados os objetivos e as hipóteses que norteiam o trabalho, seguidos de justificativa das razões que levaram ao interesse pelo assunto apresentado. Na parte final do capítulo expõem-se um breve comentário sobre a estruturação do mesmo.

## CAPÍTULO 2

### 2. PATOLOGIAS E RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL

#### 2.1 PATOLOGIAS DE PLANEJAMENTO/ PROJETO

Na etapa de planejamento/projeto dois aspectos podem estar relacionadas com danos verificados nas estruturas: Deficiências do conhecimento técnico na época do projeto (arquitetônico, estrutural e de fundação) e erros atribuídos aos projetistas, tais como: falhas na coordenação dos diversos projetos, erros de programação, deficiência do detalhamento e da concepção da estrutura.

De acordo com ARANHA e DAL MOLIN (1995), nesta etapa pode-se listar alguns dos principais procedimentos inadequados:

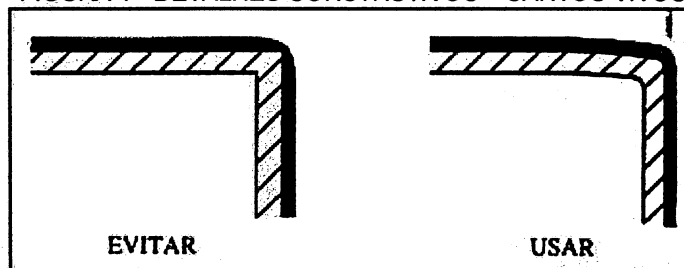
- a) Avaliação inadequada das condições a que a estrutura estará sujeita:
  - fck incompatível;
  - cobertura insuficiente da armadura;
  - abertura excessiva de fissuras;
  - tipo de cimento inadequado.
- b) Especificações
- c) Sobrecargas:
  - Má concepção de projeto;
  - Erros de cálculo
- d) Detalhes construtivos:
  - Ausência de ressaltos e pingadeiras;
  - Zonas que permitem o acúmulo de água;
  - Ausência de detalhamento: passagem de dutos e eletrodutos
  - Problemas ou ausência de juntas de concretagem e dilatação.
- e) Composição do concreto

- f) Definição das armaduras
- g) Definição de fôrmas
- h) Fundações

Abaixo pode-se verificar algumas medidas úteis e simples que devem ser considerados na fase de projeto:

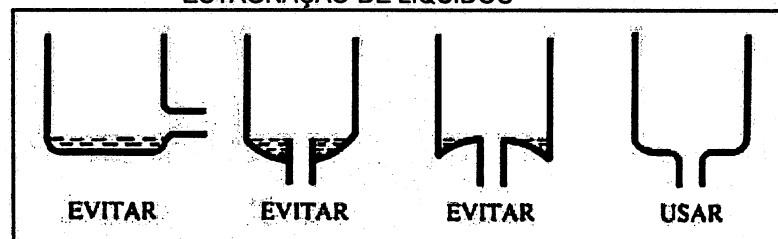
- a) Evitar cantos vivos, onde a proteção mecânica possa se romper mais facilmente.

FIGURA 1 - DETALHES CONSTRUTIVOS - CANTOS VIVOS



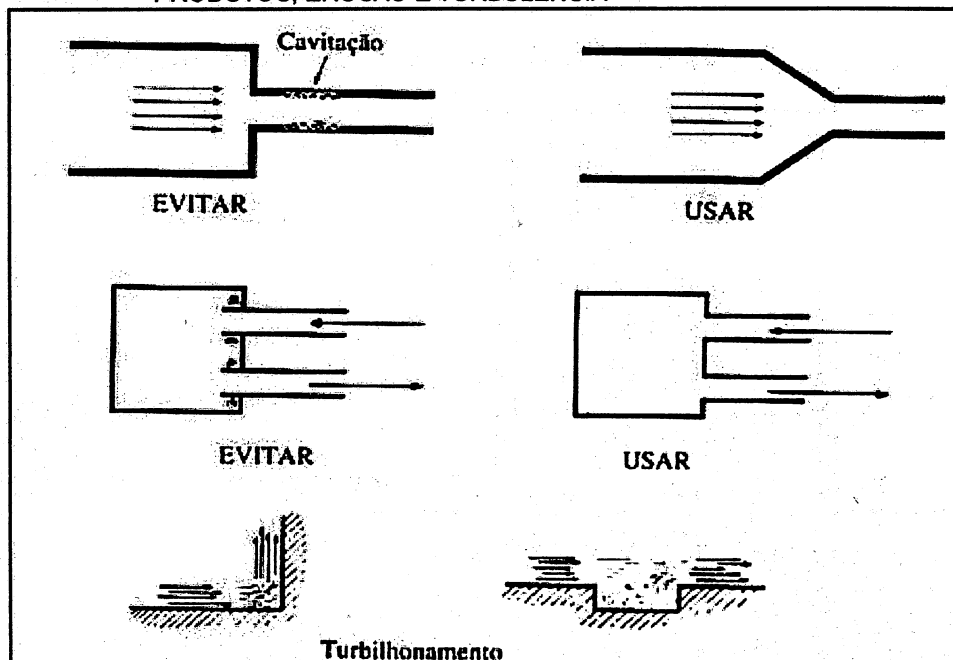
- b) Facilitar a completa drenagem de líquidos, evitando áreas de estagnação de água ou de soluções corrosivas.

FIGURA 2 - DETALHES CONSTRUTIVOS QUE POSSIBILITAM ESTAGNAÇÃO DE LÍQUIDOS



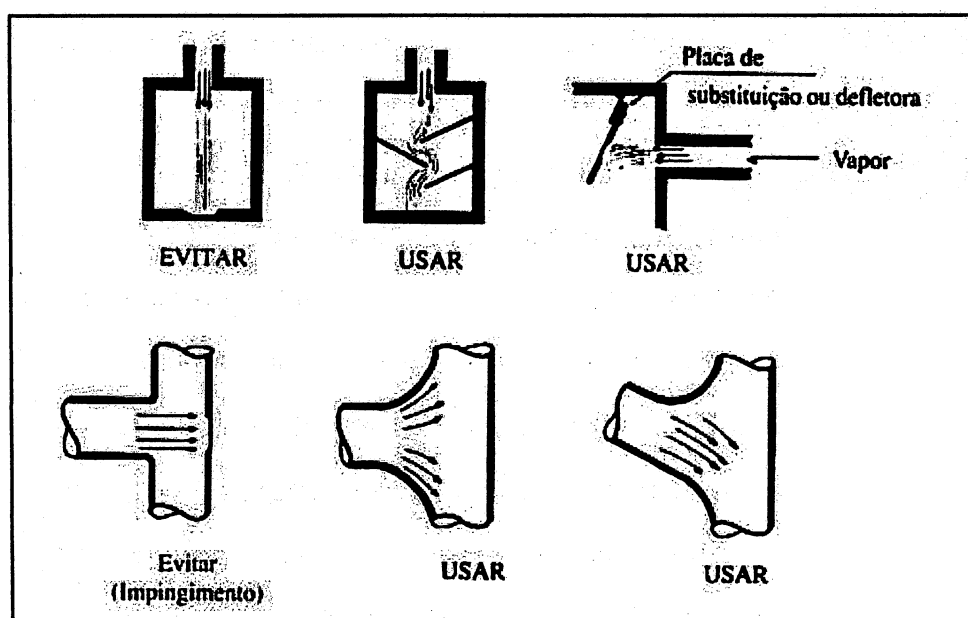
- c) Havendo movimento de fluídos, a velocidade deve ser mantida dentro de certos limites para evitar sedimentação de produtos, erosão, turbulência e impingimento.

FIGURA 3 - DETALHES CONSTRUTIVOS CAUSADORES DE SEDIMENTAÇÃO DE PRODUTOS, EROÇÃO E TURBULÊNCIA



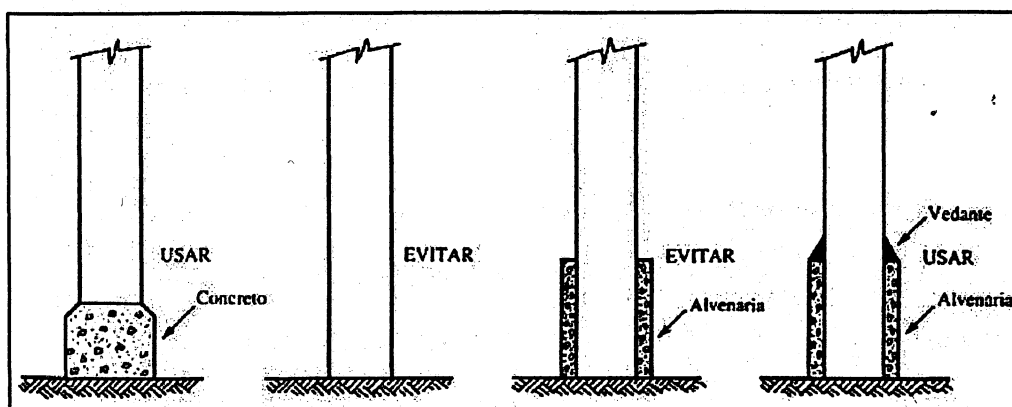
- d) Não formar ângulos fechados e estrangulamentos desnecessários, a fim de evitar turbulência e ação erosiva do meio, como impingimento e cavitação.

FIGURA 4 - DETALHES CONSTRUTIVOS CAUSADORES DE EROÇÃO POR CAVITAÇÃO E IMPINGIMENTO



- e) Evitar estruturas em contato direto com o solo, principalmente pilares.

FIGURA 5 - DETALHES PARA EVITAR CORROSÃO NA PARTE INFERIOR DE PILARES



## 2.1 PATOLOGIAS DECORRENTES DO MÉTODO CONSTRUTIVO

As falhas de execução podem estar atribuídas a diversos fatores como à confecção, instalação e remoção das fôrmas e cimbramentos; ao corte, dobra e montagem das armaduras; a dosagem, mistura, transporte, lançamento, adensamento e cura do concreto. Todos eles relacionados diretamente com o emprego de mão-de-obra desqualificada ou falta de suficiente supervisão técnica.

Em relação às armaduras podem ocorrer negligências referentes a dobramento e montagem das barras, como ausência ou distanciamento excessivo dos espaçadores e utilização de barras corroídas.

Na execução das fôrmas problemas com: a) montagem, isto é, armação inadequada de cantos, espaçamento elevado entre gravatas, falta de estanqueidade das formas ou apoios inadequados das escoras; b) desforma: ausência de desmoldante, desforma precoce ou violenta e falta de planejamento da atividade.

Na etapa da execução do concreto é possível a verificação de deficiência quanto a fatores como: a) dosagem: medição incorreta dos materiais ou a própria ausência de dosagem; b) mistura: ordem inadequada de colocação dos materiais, tempo de mistura ou velocidade insuficientes ou excessivos; c) transporte: equipamentos e

transporte inadequados; d)lançamento: altura excessiva, lançamento incorreto, temperatura ambiente muito baixa, interrupção da concretagem não planejada ou de forma irregular; e)adensamento: vibração das armaduras, vibrações com tempos insuficientes ou excessivos, equipamento não adequado; e f)cura: ausência de proteção da superfície do concreto e adoção de sistemas de cura não adequado ao tipo de exposição da estrutura.

Muitas vezes, precauções básicas como bom e adequado cobrimento das armaduras, com concreto de alta compacidade, sem nichos de concretagem, com teor de argamassa adequado e homogêneo, podem corroborar significativamente com uma maior durabilidade das estruturas.

## 2.2 CORROSÃO

A ação corrosiva da água potável pode ocasionar produtos de corrosão que em algumas situações tornam-na imprópria ao consumo devido não mais atender aos padrões de potabilidade exigidos pelas autoridades sanitárias.

Corrosão em armaduras só se desenvolve em presença de água ou ambiente com umidade relativa alta, maior que 60%. Essa situação origina um processo eletroquímico onde existe um ânodo e um cátodo. A água presente no concreto serve de eletrólito. Qualquer diferença de potencial entre os pontos pode gerar uma corrente elétrica, a presença de oxigênio favorece o meio e, assim, dá-se o início do processo corrosivo.

Segundo GENTIL (1996), a corrosão se dá por ação química no concreto (pasta e agregado) e por ação eletroquímica na armadura.

A deterioração no concreto e a corrosão podem estar associadas a fatores mecânicos como vibrações que ocasionam fissuras, permitindo a passagem de líquidos em movimento, assim possibilitando o contato da armadura com o meio corrosivo. Líquidos também podem ocasionar erosão no concreto. As estruturas de concreto

ainda podem ser afetadas por fatores físicos, como variações de temperatura que, em virtude do choque térmico provocam microfissuras na massa do concreto favorecendo a penetração de agentes agressivos à estrutura.

Quando ocorre a deterioração do concreto pode-se observar a expansividade do material, lixiviação dos componentes, ataque ao cimento por ácidos, com aparecimento dos agregados.

O aumento volumétrico do aço corroído faz surgir tensões internas que fissuram e lascam o concreto, expondo o aço cada vez mais e assim acelerando o processo de deterioração da estrutura até sua falência.

Nas estruturas admite-se que a armadura está protegida no interior do concreto, devido a alta alcalinidade e ação isolante da massa de concreto, que impede a penetração de oxigênio e água, fundamentais nos processos corrosivos. Deste fato decorre a importância de um bom cobrimento das armaduras e do uso de um concreto de baixa permeabilidade.

A água, principalmente a de baixa dureza, isto é, com baixas concentrações de sais de cálcio e magnésio, pode solubilizar o hidróxido de cálcio originado pela hidratação do cimento. A lixiviação desse hidróxido de cálcio é responsável pela formação de eflorescências, que são depósitos de cor branca na superfície do concreto. É o início da carbonatação do concreto. Quando o processo de lixiviação se acentua o concreto progressivamente torna-se cada vez mais poroso, potencializando o processo de corrosão das armaduras. A armadura quando envolvida em concreto carbonatado pode sofrer corrosão como se estivesse exposta ao meio ambiente, sem qualquer tipo de proteção.

A película passivante da armadura é destruída por ação combinada da umidade, do oxigênio e de agentes agressivos que penetram no concreto. Não há corrosão em concretos secos (ausência de eletrólito) e tampouco em concreto totalmente saturado (FORTES, 1999), pois não há suficiente acesso de oxigênio.

O produto da corrosão pode apresentar diversas cores, não somente os tons avermelhados comuns, mas também colorações variando do branco, cinza e até o preto.

Segundo MARQUES FILHO (1999), as melhores formas de aumentar a resistência à corrosão do aço são:

Primeiro: aumentar o cobrimento da armadura. A eficiência do cobrimento é relativa ao quadrado da sua espessura, portanto usando-se o dobro do cobrimento teremos uma vida útil quadruplicada.

Segundo: diminuir a permeabilidade do concreto aumentando seu fck. O efeito do fck é praticamente linear, o dobro do fck dobra a vida útil.

A NBR 8953 classifica concretos com fck abaixo de 20 Mpa como “efêmeros”, somente acima dos 50 Mpa são classificados como “duráveis”.

## 2.3 MANUTENÇÕES EM ESTRUTURAS

A manutenção de estruturas pode ser entendida como o conjunto de ações necessárias para manter a durabilidade ou vida útil da obra. Utilizada como forma de prevenir ou identificar o surgimento de danos (manutenção preventiva) e quando encontradas as deficiências, como forma de promover a segurança e evitar o comprometimento da estrutura (manutenção corretiva).

As atividades de manutenção são muitas vezes negligenciadas por profissionais e empreendedores, embora os custos de implantação desse tipo de serviço represente, na maioria das vezes, valores bem inferiores aos despendidos quando da recuperação tardia da estrutura já danificada.

Conforme citado em ARANHA e DAL MOLIN(1995), a Federação Internacional de Proteção–FIP apresenta uma metodologia, tabela 1, para parametrização de intervalos de inspeção e manutenção em função da classe da estrutura, condição ambiental e de carregamento da estrutura. As estruturas são classificadas da seguinte forma:

Classe 1 – estruturas em que a ocorrência de ruptura possa ter conseqüências catastróficas e/ou quando a funcionalidade da estrutura é de vital importância à comunidade.

Classe 2 – estruturas em que a ocorrência de ruptura possa gerar perda de vidas e/ou quando a funcionalidade da estrutura é de considerável importância.

Classe 3 – estruturas onde é improvável que a ocorrência de uma ruptura possa causar perda de vidas e/ou quando é possível realizar intervenções na estrutura, para execução de recuperação, sem grandes perdas à comunidade.

Em função das condições ambientais que a estrutura está inserida e do tipo de solicitação, classifica:

*Muito severa* – quando a estrutura esta localizada em ambiente agressivo, submetida a carregamento cíclico e existe possibilidade de fadiga.

*Severa* – quando a estrutura esta localizada em ambiente agressivo, submetida a carregamento estático, ou quando o tipo de ambiente é normal, com carregamento cíclico e existe possibilidade de fadiga.

*Normal* – quando a estrutura esta localizada em ambiente normal – “não agressivo”- e submetida a carregamento estático.

Inspeções rotineiras são aquelas realizadas em intervalos regulares, com planilhas de verificação específicas para a estrutura.

Inspeções extensivas são aquelas também realizadas em intervalos regulares, alternadas com as rotineiras, porém consistem de uma investigação mais minuciosa dos elementos e das características dos materiais componentes da estrutura.

TABELA 1 - PROPOSTA DE PERIODICIDADE, EM ANOS, PARA REALIZAÇÃO DE INSPEÇÕES

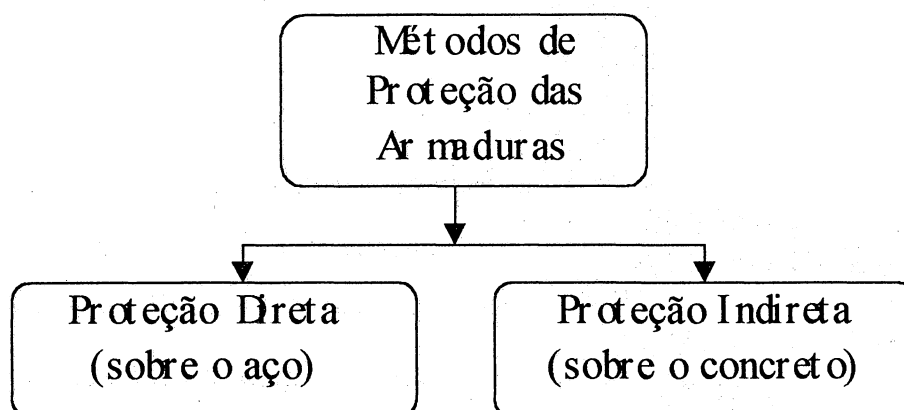
Condições ambientais de exposição e de carregamento da estrutura	Classes de estruturas					
	1		2		3	
	Inspeção Rotineira	Inspeção Extensiva	Inspeção Rotineira	Inspeção Extensiva	Inspeção Rotineira	Inspeção Extensiva
Muito severa	2*	2	6*	6	10*	10
Severa	6*	6	10*	10	10*	
Normal	10*	10	10*		**	**

\* Intercalada entre inspeções extensivas      \*\* apenas inspeções superficiais

## 2.4 RECUPERAÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO

Várias formas para reparação e proteção das armaduras são disponibilizadas no mercado. De acordo com as características da obra analisada e diagnosticada pode-se selecionar o critério mais adequado, conforme figura abaixo.

FIGURA 6 - ALTERNATIVAS DE REPARO E PROTEÇÃO DE ESTRUTURAS DANIFICADAS POR CORROSÃO



Segundo HELENE (2000), ao se optar por uma solução para recuperação de estruturas deve-se levar em consideração critérios como custo da intervenção, disponibilidade de mão-de-obra qualificada e equipamentos adequados para os serviços, confiabilidade da reparação e tempo disponível para os trabalhos.

Mostra-se a seguir uma gama de materiais e sistemas encontrados no mercado para reparo, reforço, recuperação e proteção das estruturas de concreto. A apresentação é baseada em HELENE (1992).

### 2.4.1 CONCRETO

É o material tradicionalmente utilizado em reparos e reforços. Na maioria das vezes requer um traço que melhore algumas de suas características principais, como o emprego de aditivos plastificantes, redutores de água, impermeabilizantes e microssílica.

Essas exigências para a obtenção de elevado desempenho reduzem na prática a viabilidade de emprego direto de concreto dosado em canteiro, salvo quando envolvem grandes volumes e haja assistência e orientação permanente de pessoal da área de tecnologia do concreto.

São disponibilizados comercialmente microconcretos e argamassas industrializadas já adequadamente formuladas para uso em reparos e reforços segundo o tipo de problema patológico constatado, características da região e agressividade ambiental.

Incluem-se neste grupo os concretos projetados via úmida ou seca. Esse tipo de concreto possui como características principais a homogeneidade da mistura, baixa reflexão, boa aderência e elevada resistência.

Concretos comuns apresentam elevado módulo de elasticidade, baixa aderência, resistência e durabilidade variáveis.

#### 2.4.2 ADITIVOS

São produtos formulados para melhorar as propriedades dos concretos e argamassas, tanto no estado fresco quanto endurecido. Normalmente são classificados segundo sua ação principal nos concretos e argamassas sendo de maior interesse para reparos, reforços e proteção os aceleradores de pega e endurecimento, os retardadores, os redutores de água ou plastificantes e os expansores.

#### 2.4.3 ARGAMASSAS POLIMÉRICAS

São argamassas à base de cimento Portland modificadas com polímeros, com agregados de graduação adequada ou granulometria descontínua, no caso de alta resistência à abrasão. Formuladas com aditivos e adições especiais. São também chamadas de argamassas base mineral e argamassas com látex, devido à similaridade de algumas propriedades com o látex natural utilizado na fabricação de borrachas.

#### 2.4.4 GRAUTES DE BASE CIMENTO

É um material fluido e auto-adensável no estado recém-misturado, formulado para preencher cavidades e tornar-se aderente, resistente e sem retração no estado endurecido.

Por suas características de fluidez, boa aderência, baixa retração e baixa permeabilidade, este tipo de graute é conveniente para reparos em locais de difícil acesso ou em casos de seções densamente armadas.

#### 2.4.5 ARGAMASSAS E GRAUTES ORGÂNICOS

São formulados com resinas orgânicas cuja aglomeração e resistência é dada pelas reações de polimerização e endurecimento dos componentes das resinas, em ausência de água.

Normalmente apresentam características de elevada resistência mecânica e química, apropriadas para ambientes altamente agressivos ou quando é exigido alto desempenho dos reparos e reforços.

São formulados para uso em pequenos volumes e espessuras e são também chamados de argamassas ou revestimentos anticorrosivos.

##### 2.4.5.1 ARGAMASSAS BASE EPÓXI

Comumente fornecidas em dois ou três componentes: a resina (epóxi), o endurecedor (amina e/ou poliamidas) e agregados selecionados.

Possuem excelente resistência a ácidos não oxidantes e álcalis e também boa resistência a alguns solventes orgânicos. São atacadas por ácidos oxidantes e alvejantes. A resistência térmica não supera os 70°C. Toleram pH na faixa de 2,0 a 14,0.

##### 2.4.5.2 ARGAMASSA BASE FENÓLICA

Tem boa resistência à maioria dos ácidos minerais, soluções de sais

inorgânicos e a soluções levemente oxidantes, mas são rapidamente atacadas por agentes oxidantes fortes como os ácidos nítrico, crômico e sulfúrico concentrado. São satisfatórios em soluções levemente alcalinas e em muitos solventes. Têm pouca resistência a álcalis fortes.

A resistência térmica vai até 175°C e toleram pH de 0,7 a 9,0. O tempo de vida dessas argamassas é curto e elas precisam ser mantidas refrigeradas até o instante de uso.

#### 2.4.5.3 ARGAMASSAS BASE POLIÉSTER E BASE ESTERVINÍLICA

São produtos tricomponentes constituídos por resina em solução, catalisador e fileres inertes com modificadores de formulação.

Têm excelente resistência química e mecânica e ótima resistência à maioria dos ácidos. Não resistem a produtos cáusticos e alvejantes. Toleram pH na faixa de 0,9 a 14,0.

As argamassas de base estervinílica tem maior resistência térmica e química que as de base epóxi.

#### 2.4.6 REVESTIMENTOS MONOLÍTICOS

Também chamados de laminados. São constituídos de um reforço na forma de manta, tecido, flocos ou fibras de vidro, poliéster ou náilon, dispostas em uma ou mais camadas embebidas por resinas base estervinílica, epóxi, poliéster, furânica ou fenólica.

As resinas representam barreira química do revestimento. Os reforços, por ficarem impregnadas com a resina possibilitam a aplicação de camadas mais espessas de revestimento.

Têm a vantagem de fácil manutenção e identificação e localização de eventuais problemas patológicos.

### 2.4.7 SILICATAÇÃO

Por silicatação da superfície do concreto entende-se uma série de procedimentos similares que visam tamponar os poros superficiais e endurecer as superfícies de concreto ou argamassa, impermeabilizando-os.

### 2.4.8 ÓLEOS

Óleo de soja, de peroba e certos ácidos que possuam consistência oleosa, podem ser usados para impermeabilização e proteção da superfície do concreto. Em geral escurecem a superfície do concreto.

Assim como a silicatação, os óleos devem ser usados com cautela porque impedem a aderência de novos revestimentos e não protegem a estrutura contra ataques químicos intensos.

### 2.4.9 VERNIZES E HIDROFUGANTES DE SUPERFÍCIE

Pinturas aplicadas à superfície do concreto com função de impermeabilizá-la. Têm maior aplicação nas estruturas de concreto aparente, sem revestimento, e localizadas em superfícies internas como coberturas e tetos.

Possuem excelente aplicação em fachadas, estruturas externas ou internas em edifícios comerciais, escritórios, galpões e depósitos.

Não se deve utilizar vernizes tipo látex PVA base água devido sua baixa durabilidade, pouca aderência e degradação rápida.

Os hidrofugantes são todos de base silicone.

Existe no mercado sistemas de proteção que combinam os dois produtos, verniz e hidrofugante, conciliando as vantagens de ambos.

### 2.4.10 TINTAS ORGÂNICAS

Quando curadas e endurecidas formam um filme sólido, aderente ao substrato e impermeável.

As tintas orgânicas são também chamadas de revestimentos anticorrosivos ou pinturas de proteção de superfície. Podem ser de diferentes naturezas:

**Borracha clorada:** deve ser evitado seu emprego sempre que se tiver possibilidade de ambiente com graxas e óleos de origem animal e solventes.

**Vinílicos:** utilizadas no combate à corrosão das estruturas metálicas. Não possuem boa aderência ao concreto e não servem para proteção de estruturas em ambientes agressivos.

**Uretanas:** São as de maior resistência química, porém exigem conhecimento e competência na aplicação.

**Epóxi:** São sempre bicomponentes. Adequadas a concreto em ambientes agressivos úmidos. Não recomendáveis para serviços submersos pois podem se destacar do substrato. Também não devem ficar à ação da atmosfera pois se degradam. São os que tem melhor aderência ao concreto.

**Acrílicas:** São monocomponentes. Base água ou base solvente. Apresentam resistência à fotodegradação e retêm o brilho.

#### 2.4.11 ADESIVOS E PRIMERS

São materiais usados como ponte de aderência entre dois outros, sendo em geral um deles a superfície do concreto velho, também chamada de substrato. Promovem melhoria substancial de aderência entre os diversos materiais, como concreto velho/novo, aço/concreto novo, concreto velho/argamassa base poliéster, etc. Os primers além de atuarem como ponte de aderência, podem atuar como protetores do substrato, por exemplo, como parte de um sistema de proteção de armaduras contra corrosão, por fornecerem proteção catódica galvânica às armaduras.

#### 2.4.12 PRODUTOS PARA ANCORAGEM E EMENDAS DE BARRAS DE AÇO

São produtos geralmente de base polimérica que apresentem pega rápida e sejam ligeiramente expansivos. São disponíveis para mistura "*in loco*", no canteiro, ou na forma de cartuchos prontos.

## 2.5 RESUMO DO CAPÍTULO

Este capítulo ilustra definições, processos e considerações existentes na literatura sobre os problemas patológicos que afetam as estruturas de concreto armado.

Procurou-se referenciar algumas causas das manifestações que influenciarão na durabilidade da obra, como deficiências oriundas na etapa de concepção do projeto que muitas vezes também não são observadas na fase executiva e ocasionam o início da deterioração da estrutura. Materiais e processos construtivos que podem preponderar no surgimento de “doenças patológicas” também foram mostrados.

Comentou-se sobre a corrosão das armaduras pela significância desse processo no comprometimento da estrutura, por ser um dos danos de maior incidência nas estruturas e que, em inúmeras situações, não lhe é dada a devida atenção. A corrosão acontece em meio aquoso e na presença de oxigênio, por processo eletroquímico.

Na parte final do capítulo são mostrados os métodos de manutenção que podem auxiliar na prevenção e impedir o início das manifestações patológicas.

Para que se possa ter um entendimento e identificação imediata da natureza e características dos produtos encontrados no mercado para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto, discorreu-se brevemente sobre os principais materiais e sistemas disponíveis para comercialização.

## CAPÍTULO 3

### 3. ESTUDO DE CASO

#### 3.1 MÉTODO DE PESQUISA

Foram efetuadas visitas exploratórias e investigatórias ao local com objetivo de realização de inspeção preliminar nas estruturas. Essa inspeção consiste em exame visual para caracterização dos sintomas patológicos presentes e seu posterior acompanhamento, visando quantificar a extensão da deterioração e caracterizar os elementos da estrutura.

Na visita investigatória se procurou obter dados e informações referentes ao estado geral dos reservatórios e de importantes características como, por exemplo, período de construção, materiais utilizados, método construtivo, formas de utilização, tempo de operação, capacidade de reservação, concentração de cloro na água, forma e tipo do reservatório, programas de manutenções.

Os trabalhos se efetuaram através de documentação fotográfica e filmagem dos reservatórios.

#### 3.2 PROTOCOLO DE COLETA DE DADOS

- a) Exame visual de toda a estrutura, realizando um levantamento fotográfico o mais extenso possível a fim de comprovar se os sintomas e natureza do problema são iguais em todos os elementos ou existe mais de uma causa dos problemas.
- b) Identificação da agressividade do meio;
- c) Coleta de subsídios para análise:
- d) Incidência, configuração, comprimento, abertura e localização das trincas;
- e) Idade aproximada das trincas e início da percepção dos problemas;

- f) Verificação se as trincas aprofundam-se por toda extensão do componente trincado;
- g) Informações se ocorreram modificações profundas nas cercanias da obra;
- h) Presença de manifestações patológicas como bolor, fungos, eflorescências, manchas de ferrugem, umidade, destacamentos ou expansões do concreto;
- i) Se há armadura exposta;
- j) Verificação da espessura de cobrimento da armadura;
- k) Visualização de aspectos referentes à qualidade do concreto;
- l) Havendo armadura exposta, verificar se há possibilidade de identificar se já ocorreu ou não redução de sua espessura e se o ataque às armaduras é localizado ou generalizado;
- m) Incidência de trincas nas proximidades das tubulações embutidas;
- n) Existência de proteção térmica da laje de cobertura;
- o) Existência de impermeabilização da área de contato do concreto com a água e qual seu estado de conservação.
- p) Anotação dos sintomas visuais;
- q) Ocorrência de manutenções periódicas na estrutura.

### 3.3 ESTRATÉGIA DE ANÁLISE DOS DADOS

Durante a inspeção preliminar ocorreu a verificação dos problemas existentes e estes foram registrados em fotografias para posterior análise mais criteriosa. O caminho seguido foi sempre primeiro identificar as origens dos defeitos para então buscar as medidas cabíveis de correção. Ressalta-se que é comum em estruturas de concreto um único problema desencadear uma série de outros danos e, em alguns casos, serem de maior gravidade que a causa inicial, podendo levar a estrutura ao colapso.

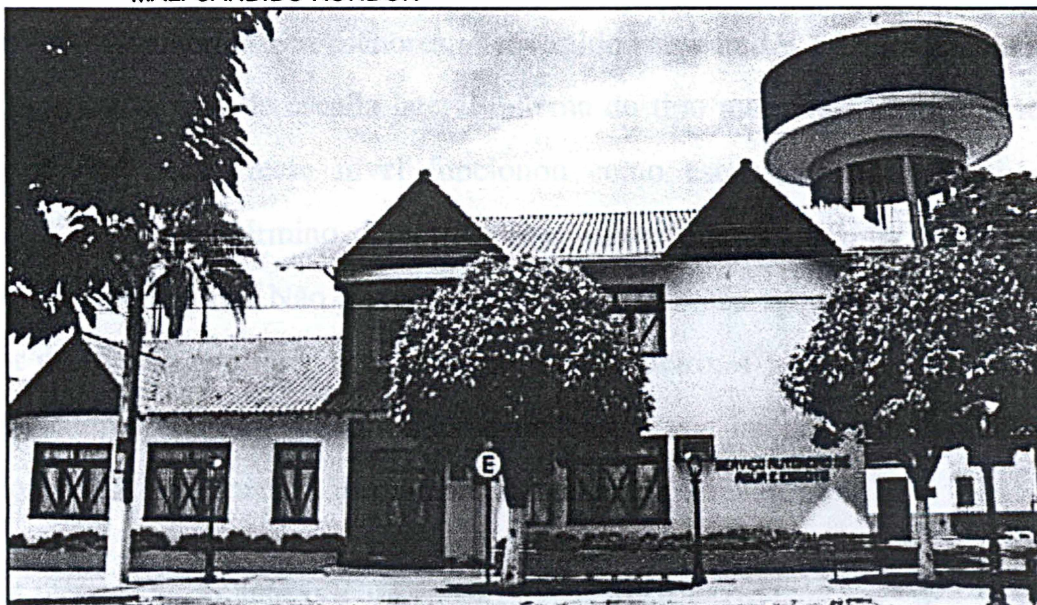
### 3.4 DESCRIÇÃO DOS RESERVATÓRIOS ESTUDO DE CASO

Os reservatórios elevados R1 e R2 fazem parte do Sistema de Distribuição de Água do SAAE - Serviço Autônomo de Água e Esgoto da cidade de Marechal Cândido Rondon – PR (Figura 7), que iniciou suas operações no ano de 1966. O Sistema já passou por algumas ampliações decorrente da necessidade de suprimento do abastecimento da cidade que está desenvolvendo-se aceleradamente nos últimos anos. No início da década de 70 construiu o primeiro reservatório elevado (R1) e em 1984 incorporou o reservatório elevado R2. Assim, os reservatórios possuem aproximadamente 30 e 16 anos de existência, respectivamente. São peças fundamentais dentro do Sistema, principalmente porque a cidade situa-se numa região geograficamente plana e, portanto, com dificuldades de obtenção de níveis geométricos (mca) satisfatórios para atender todos os pontos de consumo.

Ultimamente, por ocasião das limpezas efetuadas para desinfecção dos reservatórios, verificou-se problemas de conservação e a necessidade de intervenção imediata.

A solução foi desenvolver um projeto de recuperação que permitisse aproveitar as estruturas existentes de forma a conseguir, no menor espaço de tempo possível, colocá-las em funcionamento de maneira segura, causando o mínimo de transtorno aos usuários. Com a intervenção busca-se também o aumento da vida útil dos reservatórios.

FIGURA 7 -SEDE ADMINISTRATIVA DO SERVIÇO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO DE MAL. CÂNDIDO RONDON



### 3.4.1 RESERVATÓRIO ELEVADO R1

Não foi encontrado o projeto estrutural. Sequer foi possível encontrar qualquer outro tipo de documentação, como memorial descritivo, orçamento ou edital de licitação que pudessem fornecer algumas informações referentes aos materiais empregados na execução da obra.

As informações geométricas são visuais. Não foi possível determinar o tipo de fundação e há incertezas quanto ao estado das paredes laterais, devido a presença de revestimento de tijoletas cerâmicas decorativas em sua superfície externa. Uma visão externa do reservatório pode ser conferida na Figura 8. A estrutura é formada por um conjunto de 8 pilares que possuem seção circular constante ao longo de toda sua altura e estão dispostos de forma inclinada em relação ao apoio de sua base, formando uma espécie de cone com perímetro maior na base.

A estrutura possui 20,00 metros de altura, capacidade de reservação de 200,00 metros cúbicos e é dividida em quatro níveis, sendo: 1º) Abriga a casa de máquinas e de tratamento. Possui geometria de contorno hexagonal, é vedado por alvenaria de fechamento e dispõe de uma escada interna de acesso ao piso superior;

2º) Usado como depósito de material, segue a mesma forma hexagonal do nível anterior porém com dimensões menores, é revestido por paredes de vidro. Dá acesso ao nível superior através de escada lateral externa do tipo marinheiro. Nos primeiros anos de sua construção esse nível funcionou como escritório administrativo da Autarquia; 3º) Nível de término dos pilares que são coroados por uma viga circular que suporta o reservatório. Não possui fechamento. O acesso agora é central e direto ao interior do reservatório, por meio de escada marinheiro; 4º) Nível do reservatório propriamente dito. De geometria circular, composto por lajes inclinadas, vigas e paredes com aproximadamente 2,50 metros de altura.

FIGURA 1 - VISTA GERAL DO RESERVATÓRIO R1



### 3.4.2 RESERVATÓRIO ELEVADO R2

O projeto do reservatório R2 estava disponível, contendo a planta de formas de toda estrutura, o detalhamento das armaduras e de alguns elementos e o memorial descritivo onde pode-se verificar o tipo de aço utilizado e a resistência do concreto.

O reservatório tem capacidade de 200,00 metros cúbicos e altura de 17,00 metros. É composto do anel de armazenamento d'água que se apoia nos oito pilares de seção retangular variável (de 1,45 metros no topo a 0,50 metros na base). A altura de 17,00 metros é dividida proporcionalmente por duas vigas horizontais de amarração. O acesso ao interior do reservatório é realizado através de uma escada central do tipo marinho.

O memorial descritivo cita a necessidade de projeto de fundação, contudo este projeto não foi encontrado. Possivelmente, de acordo com declarações de pessoas que ajudaram na construção, as boas características do solo da região conduziram a decisão de não se fazer um projeto de fundação específico, sendo adotado a execução de estacas escavadas. Sabe-se que se perfurou as estacas até encontrar a rocha sã, entretanto não se obteve dados relativos ao número de elementos perfurados, tampouco seu diâmetro.

Tanto o reservatório R1 como o R2 foram executados por mão-de-obra local. O concreto foi produzido "*in situ*" com o auxílio de betoneiras. Não se tem registro sobre os traços efetivamente usados e a resistência do concreto estimada após concretagem, pois na região não havia empresas de tecnologia do concreto que realizasse os ensaios, sendo inviável o transporte à centros maiores. Durante a fase de execução houve um período de intensa precipitação pluviométrica.

O sistema de abastecimento dos reservatórios é igual para os dois casos. A água é recalçada das captações até os reservatórios enterrados que se localizam ao lado dos elevados a uma distância aproximada de 6,00 metros no R1 e 15,00 metros no R2. Dos reservatórios enterrados (cisternas) a água é aduzida aos reservatórios elevados por tubulação de FG no R1 e PVC rígido no R2, com o auxílio de conjuntos moto-bombas. As casas de bombas estão situadas na própria estrutura do reservatório no R1 (Ver Figura 8) e, no reservatório R2, ao seu lado sobre o reservatório enterrado.

### 3.5 PRINCIPAIS PROBLEMAS E PATOLOGIAS ENCONTRADAS

A verificação das estruturas se deu com o esvaziamento dos reservatórios por algumas horas, onde procedeu-se a inspeção visual e um levantamento fotográfico das condições encontradas. Importante informar que as estruturas já eram vastamente conhecidas pela presente autora por virtude de suas atividades profissionais no referido Sistema de Água e Esgoto.

#### 3.5.1 RESERVATÓRIO ELEVADO R1

Na área externo do reservatório foram observados as seguintes anomalias:

- a) Perfuração do concreto na laje inferior onde ocorre vazamento de água (goteiras) e destacamento do revestimento. A Figura 9 mostra o problema registrado em Dezembro/1999 e a Figura 10 ilustra o mesmo local fotografado em Maio/2000;

FIGURA 9 – RESERVATÓRIO R1 EM 12/1999

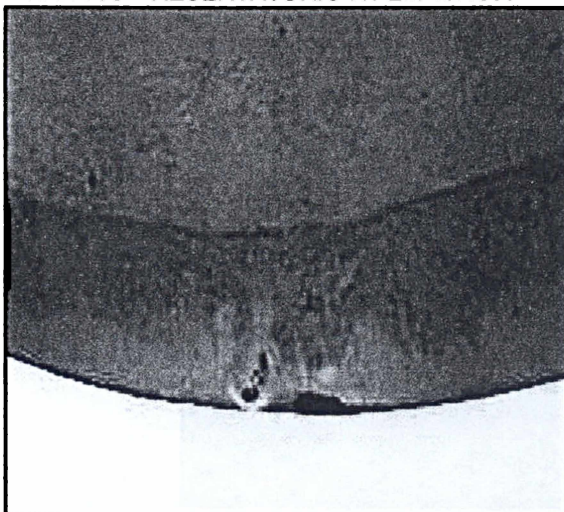
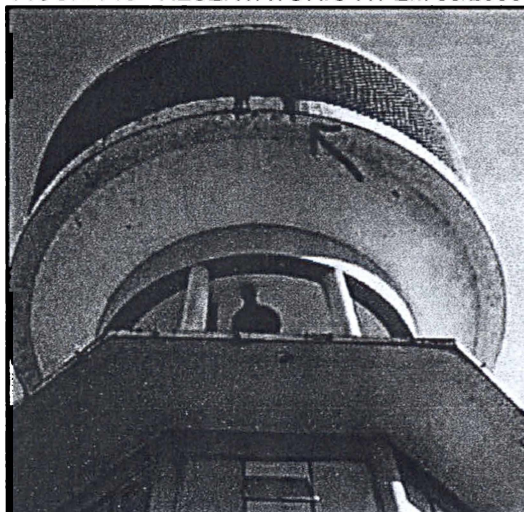
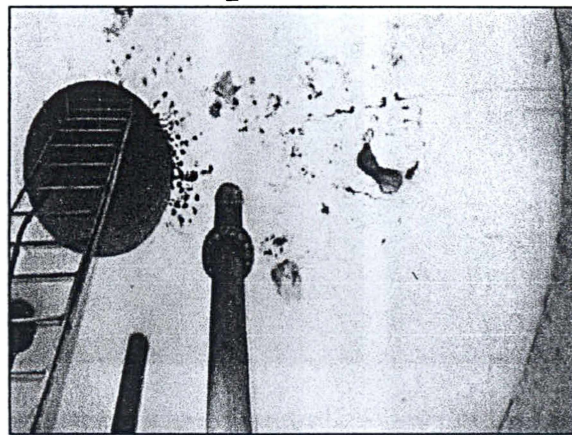


FIGURA 10 - RESERVATÓRIO R1 EM 05/2000



- b) Manchas de corrosão;
- c) Acentuada manifestação de fungos (limo) e bolor (Figura 11 e Figura 12);

FIGURA 11 – PATOLOGIA EXTERNA – FUNGOS

FIGURA 12 – PATOLOGIA EXTERNA – FUNGOS  
2

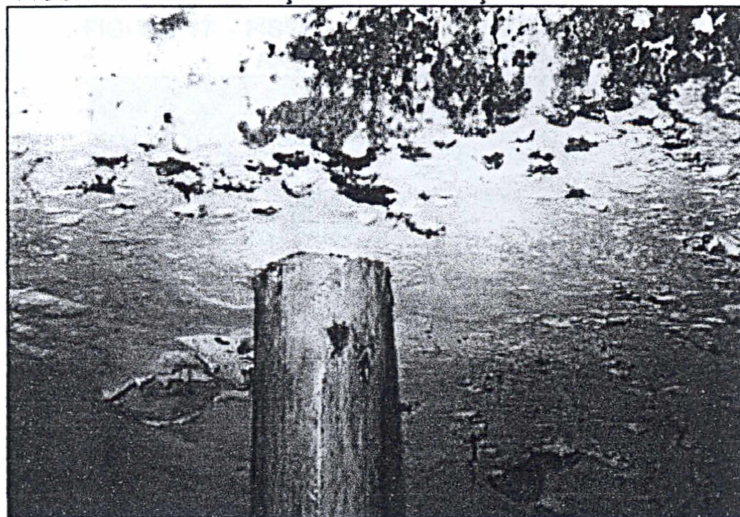
- d) Empolamento do revestimento na região do anel externo, próximo à ligação da viga com a laje (Figura 9 e Figura 10);
- e) Espécie de pipocamento do revestimento decorrente da umidade, corrosão das armaduras e carbonatação do concreto (Figura 13);

FIGURA 13 - PATOLOGIA EXTERNA NO REVESTIMENTO



- f) Perfuração da tubulação de adução e distribuição em FG devido a corrosão por pite (Figura 14);

FIGURA 14 - PERFURAÇÃO DA TUBULAÇÃO



Ao se esvaziar o reservatório constatou-se em seu interior:

- g) anel de acesso ao interior do reservatório forma um ponto de deflexão com a laje inferior que dificulta a rápida circulação da água. Esse ponto exige a sucção por bombeamento localizado quando se que o esvaziamento total do reservatório;
- h) Laje de cobertura com pontos do concreto em expansão (estufando) e outros já se destacando ( Figura 15 e Figura 16);

FIGURA 15 - PATOLOGIA INTERNA - EXPANSÃO DO CONCRETO DEVIDO CORROSÃO

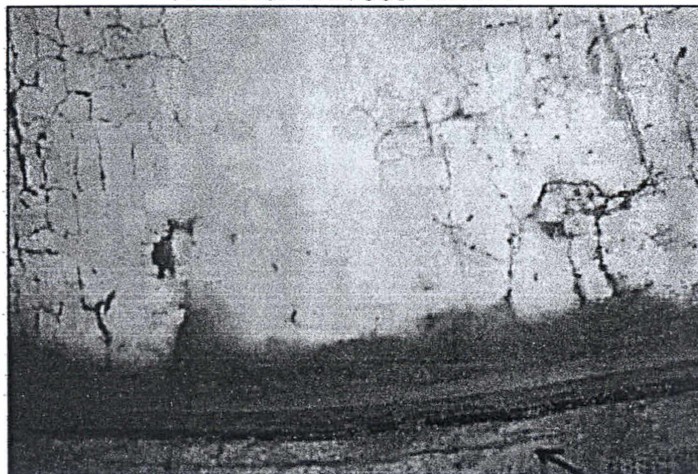


FIGURA 166 - PATOLOGIA INTERNA - ARMADURA EXPOSTA



- c) Fissuras de contração térmica na parte superior das paredes laterais (Figura 17);

FIGURA 17 - FISSURAÇÃO DAS PAREDES E CORROSÃO ARMADURA DA COBERTURA



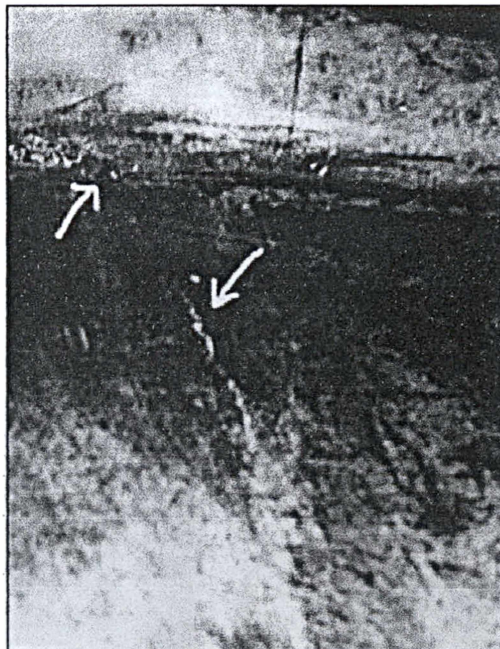
- d) Oxidação das esquadrias do anel de ventilação (Figura 18);

FIGURA 18 - CORROSÃO DAS ARMADURAS E ESQUADRIAS



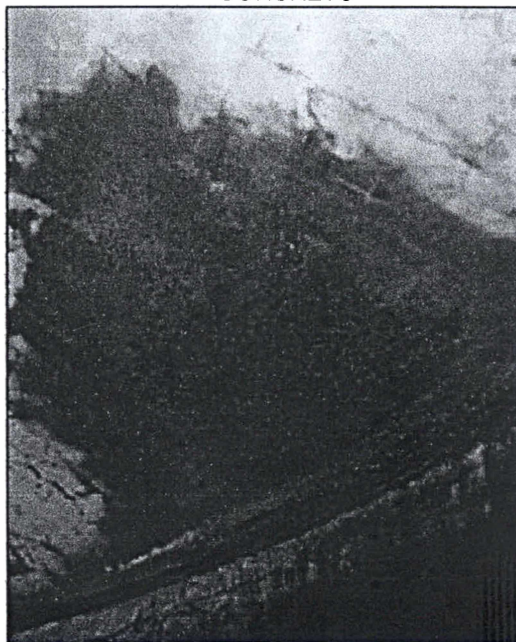
- e) Intensa proliferação de fungos (Figura 18);
- f) Manchas aparentes de corrosão das armaduras, principalmente na laje de cobertura (Figura 17), mas também na laje de fundo com presença de fissuras (Figura 19);

FIGURA 19 - FISSURAÇÃO E CORROSÃO  
LAJE DE FUNDO



- g) Laje com ausência de proteção térmica e ao ataque dos gases provenientes da evaporação d'água .
- h) Concreto aparentemente poroso e com desgaste (Figura 20);

FIGURA 20 - ALTA POROSIDADE DO  
CONCRETO



- i) Manchas de umidade na laje de cobertura devido infiltrações das águas pluviais (Figura 21). Essas manchas circulares ou elípticas apresentam caracterização de falhas de concretagem;

FIGURA 21 - MANCHAS DE UMIDADE NA LAJE DE COBERTURA



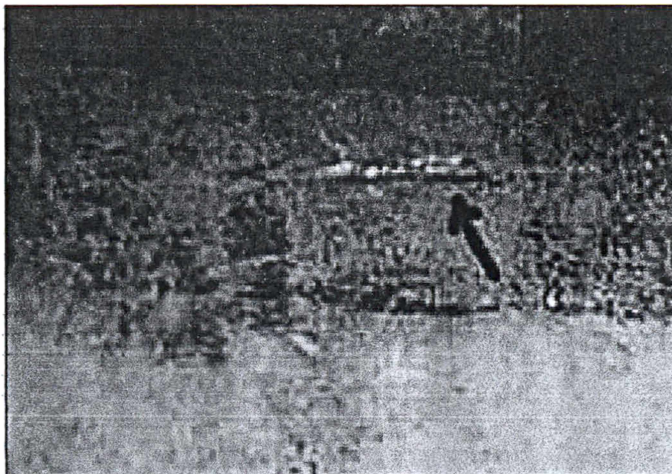
- j) Corrosão da tubulação de recalque (Figura 22);

FIGURA 22 - CORROSÃO NA TUBULAÇÃO INTERNA



k) Exposição de armadura na laje de fundo e paredes laterais (Figura 23).

FIGURA 23 - FISSURAÇÃO COM EXPOSIÇÃO DE ARMADURA NA LAJE DE FUNDO



### 3.5.2 RESERVATÓRIO ELEVADO R2

As principais patologias encontradas nesse reservatório R2 praticamente coincidem com as encontradas no reservatório R1 no que se refere ao cobrimento das armaduras, tipo de impermeabilização e proteção térmica. São elas:

- a) Laje com armaduras oxidadas e com desagregação do concreto ao seu redor (Figura 24);

FIGURA 24 - CORROSÃO DA ARMADURA E DESTACAMENTO DE CONCRETO



- b) Impermeabilização precária em todo o interior do reservatório com muitos locais de descolamento da manta (Figura 25 e Figura 26);

FIGURA 25 – DESCOLAMENTO DA MANTA

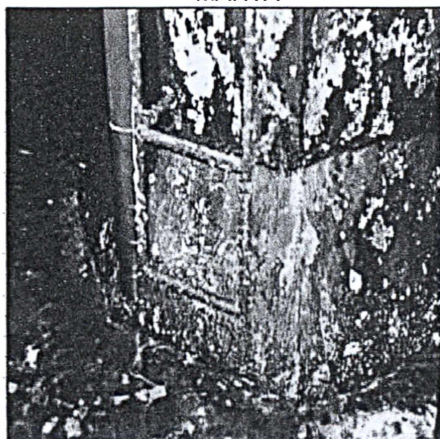
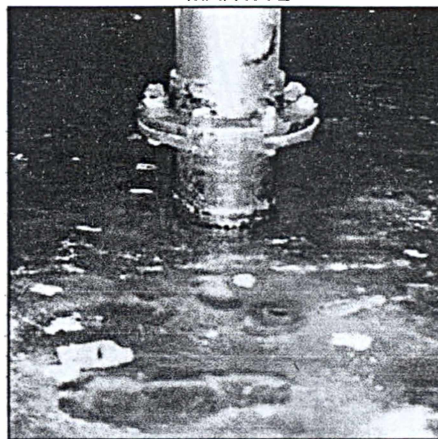
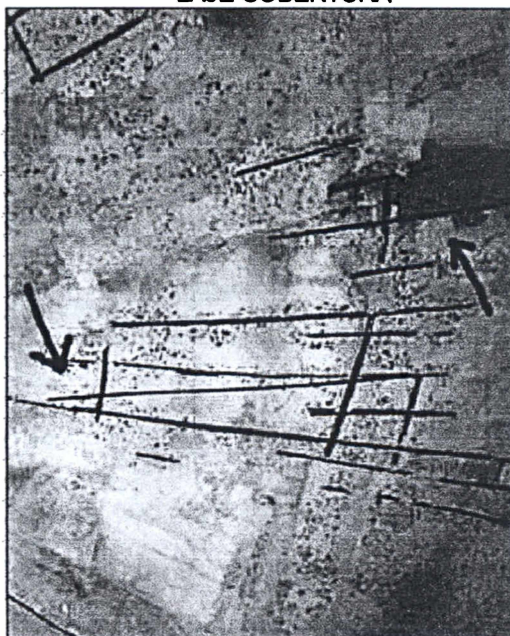


FIGURA 26 – DESCOLAMENTO DA MANTA 2



- c) Laje de cobertura com manchas de umidade devido infiltração de águas pluviais. A caracterização das manchas é de falhas de concretagem (Figura 27);

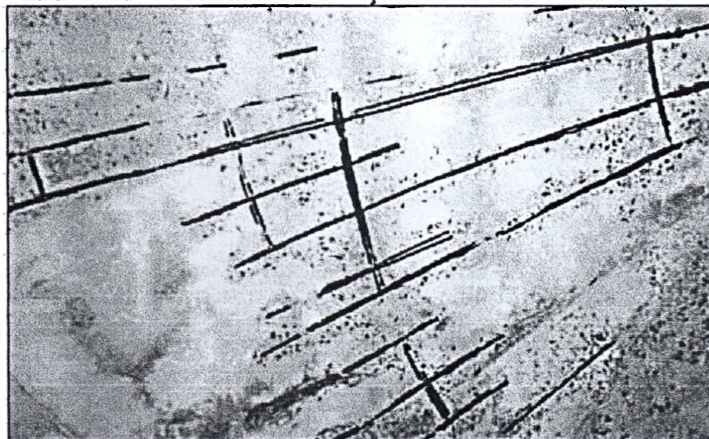
FIGURA 27 - RUPTURA DA ARMADURA E MANCHAS DE UMIDADE NA LAJE COBERTURA



- d) Ruptura da armadura em decorrência da pressão interna oriunda da corrosão (Figura 27);

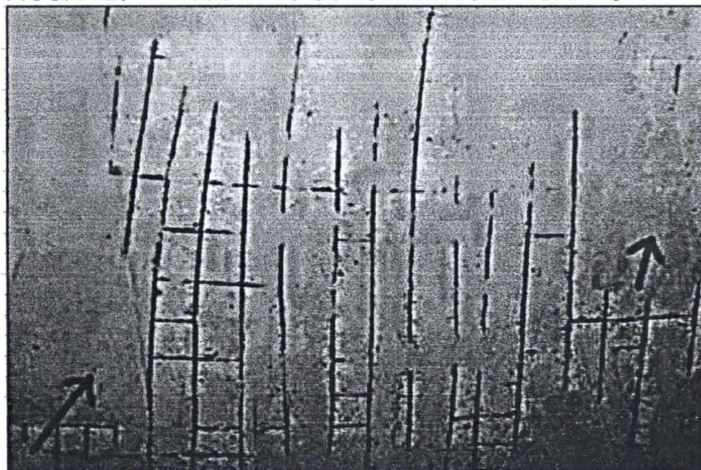
- e) Falhas na colocação das armaduras quanto aos espaçamentos e cobrimentos (Figura 28);

FIGURA 28 - FALHAS NO ESPAÇAMENTO DAS ARMADURAS



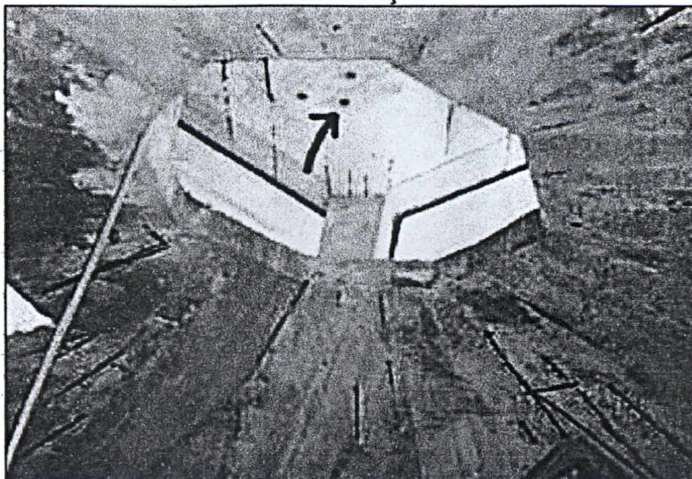
- f) Falhas na execução das fôrmas da laje, ocorrência de cobrimento diferenciado da armadura de pano para pano de concretagem (Figura 29);

FIGURA 29 - PROBLEMAS CONSTRUTIVOS - FÔRMAS



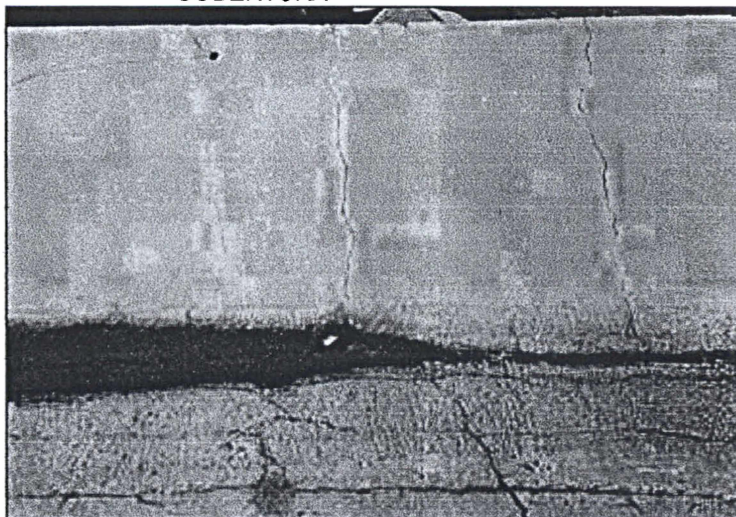
- g) Perfuração do concreto, corrosão da armadura e oxidação das esquadrias do anel de ventilação (Figura 30);

FIGURA 30 - CORROSÃO DAS ARMADURAS NA LAJE DO ANEL DE VENTILAÇÃO



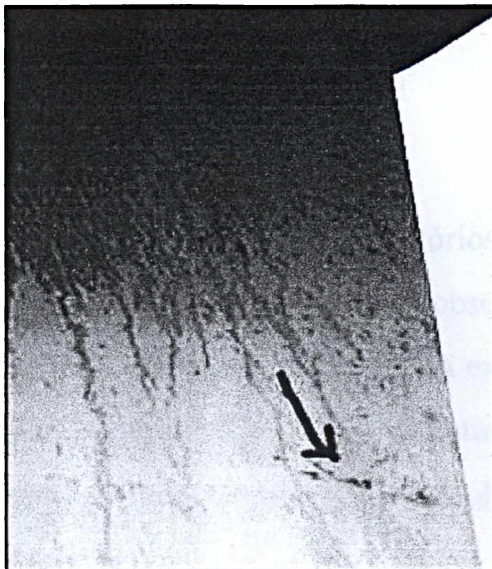
- h) Laje sem proteção térmica e em contato com o vapor d'água;
- i) Oxidação da escada interna de acesso (Figura 25);
- j) Fissuras de contração térmica e estagnação de águas pluviais na laje externa da cobertura (Figura 31);

FIGURA 31 - FISSURAS NA ÁREA EXTERNA DA LAJE DE COBERTURA



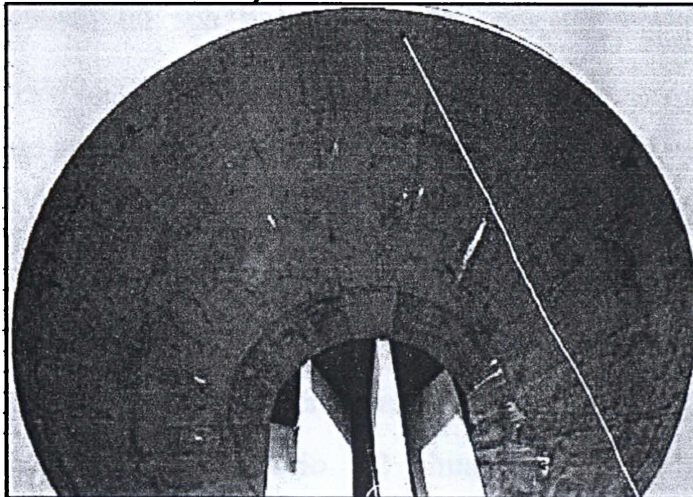
- k) Nichos de concretagem nos pilares, vigas e lajes externa (Figura 32);

FIGURA 32 - NICHOS DE CONCRETAGEM



- 1) Armadura exposta e lixiviação do concreto na laje inferior externa (Figura 33).

FIGURA 33 - LIXIVIAÇÃO DO CONCRETO -LAJE EXTERNA



## 3.6 ANÁLISE DOS PROBLEMAS

### 3.6.1 ASPECTOS MORFOLÓGICOS E ESTRUTURAIS

Apesar da semelhança entre os dois reservatórios, o reservatório R2 apresenta melhor concepção morfológica, fato que pode ser observado no problema de acúmulo de água na região do anel de acesso interno do R1. A existência de região que dificulta a circulação do líquido ocasiona infiltração na estrutura com o conseqüente processo de corrosão nas armaduras e formação de fungos e bolor na parte externa da estrutura.

Outro aspecto desfavorável do R1 é a localização da casa de máquinas na própria estrutura do reservatório, causando vibrações que não são favoráveis ao bom funcionamento do arcabouço, em questões relativas a solidez estrutural. Convém ressaltar que no memorial de cálculo do reservatório R2 foi recomendado que a casa de bombas fosse executada na sua base, fato não ocorrido devido a mudanças ocorridas durante o processo executivo.

Estruturalmente pode-se considerar o R1 com definição menos complexa que o R2, apresentando a mesma seção para todos os pilares distribuídos de forma espraçada. Essa concepção torna a estrutura mais rija. Porém, observa-se que estruturas mais flexíveis absorvem melhor as vibrações próprias das tubulações de recalque, reduzindo a possibilidade de fissuras características destes eventos.

Em contraposição, o reservatório R2 situa-se numa área com poucas edificações em seu entorno e praticamente todas elas térreas. A região é uma das de cota mais elevada da cidade e com predominância de vento sul. Possivelmente uma das razões (somadas ao processo de cura do concreto) das fissuras de retração encontradas na laje de cobertura do reservatório.

Observou-se que um problema patológico de infiltração das águas pluviais foi evitado nos apoios da marquise da laje de cobertura do R2 com a execução

contínua dos apoios sobre o anel de cintamento, visto que o projeto originalmente prévia apoios isolados e descontínuos. Contudo, a existência da marquise gera acúmulo de água pluvial favorecendo infiltrações no interior do reservatório. Este é um problema de concepção.

Consubstanciado na análise do projeto estrutural e memorial de cálculo conclui-se que o fck adotado no projeto foi incompatível com as condições de exposição da estrutura, bem como o tipo de cimento deveria ter sido mais adequado à utilização do reservatório, como por exemplo, uso de cimento que possua em sua constituição produtos que dificultem a penetração de água pelos vasos capilares do concreto. O fck de 15 MPa adotado no presente projeto é indicado, segundo a NBR 6118/2000, apenas para fundações e em obras provisórias, podendo eventualmente ser utilizado em obras de pequeno porte, desde que o proprietário esteja de acordo.

Verificou-se também que não existiu nenhum projeto de impermeabilização para os reservatórios, apenas no memorial descritivo se faz menção da necessidade de firma especializada executar os serviços e especificou-se dois tipos de proteção: uma com a inclusão de aditivo tipo Sika 1 no próprio concreto e outra através de pintura tipo Igol ou Neutrol, sobre toda a superfície em contato com a água.

Segundo informações de pessoas que participaram do processo construtivo, somente atentou-se para o fato da necessidade de impermeabilizar os reservatórios, quando do enchimento do R2, em virtude da ocorrência de vazamentos generalizados. Na época buscou-se no mercado algum tipo de impermeabilização, optando-se pelo processo de pintura de proteção de superfície de natureza uretana, que foi aplicada nos dois reservatórios, visto que o R1, decorridos 15 anos de sua construção, ainda não havia sido impermeabilizado. Nota-se que apesar de ter havido problemas com a impermeabilização logo no início das atividades do R2, a estrutura careceu de manutenção no decorrer de sua utilização.

### 3.6.2 ASPECTOS EXECUTIVOS E DE UTILIZAÇÃO

Os maiores danos verificados nas duas estruturas estão ligados com falhas na execução e na utilização das estruturas.

A grande incidência de problemas com corrosão deve-se a deficiências no cobrimento das armaduras, principalmente no reservatório R2, aonde se encontra áreas com as armaduras totalmente expostas e o concreto ao seu redor se destacando facilmente, ainda, em algumas situações verifica-se falhas de concretagem. Foi possível constatar que há pontos onde a armadura já iniciou processo de redução na área da seção. Isso é um fator agravante e torna urgente a intervenção na estrutura, pois, uma vez atingida a armadura, os fatores que interferem para que o período de propagação seja mais ou menos rápido são o conteúdo de umidade e oxigênio (fatores acelerantes) que rodeiam a estrutura (CARMONA e HELENE, 1992).

Os problemas com o cobrimento deve-se ao pouco cuidado na montagem das barras quanto à disposição e instalação das mesmas nas fôrmas. Aparentemente pode-se afirmar que não se utilizou nenhum tipo de espaçador de ferragem, pois nas imagens obtidas percebe-se a nítida diferença de cobrimento das armaduras nos diversos panos de fôrmas. Também é provável que tenha sido utilizado barras corroídas superficialmente, visto que é prática comum na região a venda de armaduras “com ferrugem”.

As áreas que apresentam destacamento, expansão e manchas no concreto são conseqüências da corrosão das armaduras. Igualmente, algumas fissuras decorrem desse processo de deterioração das barras.

Como dito anteriormente, o concreto não oferece condições de estanqueidade, possibilitando que a água percole pelos seus poros e atinja as armaduras. No reservatório R1 há um local onde ocorreu a perfuração da estrutura devido a este fator. No início, cerca de 1 ano atrás quando percebeu-se o problema, era somente uma “goteira” ou “pingo d’água”, hoje a área atingida é bem maior e visível, sendo que praticamente escorre água direto pela perfuração na laje, além da presença de grandes manchas de corrosão e bolor no revestimento.

Os fatores principais que desencadearam o processo de corrosão foram a carência no cobrimento das armaduras, a qualidade do concreto, a precariedade da impermeabilização e a movimentação térmica da estrutura que gerou a formação de fissuras na ligação dos elementos estruturais. Algumas fissuras podem ser decorrentes também de vibrações provenientes das tubulações e do tráfego de veículos próximo da base dos reservatórios.

Outro aspecto construtivo que favoreceu a manifestação de patologias, porém de menor intensidade e bem menos agravante, foi a ausência de verga e contra vergas nas aberturas do anel de ventilação do R1 onde se encontram fissuras características dessa falha construtiva. Nos anéis de ventilação dos dois reservatórios as esquadrias estão todas oxidadas em razão da incidência direta do vapor d'água e de não possuírem proteção à corrosão, como por exemplo, pintura anticorrosiva.

A falta de ventilação suficiente no interior do reservatório R1 tornou o ambiente com condições propícias à formação de bolor e a proliferação de fungos (limo) que já cobrem um quarto da área da laje do reservatório R1.

As estruturas não recebem nenhum tipo de manutenção que pudesse ter detectado o início de algumas das manifestações patológicas e, tão logo sua identificação, efetuar o reparo evitando a generalização do dano como foi o caso da corrosão das armaduras. O fato da autarquia possuir um programa anual de limpeza e desinfecção dos reservatórios de água em atendimento às normas de abastecimento público possibilitou a verificação dos problemas presentes nas estruturas, alertando para a necessidade de intervenção. Constatação interessante ocorreu em relação a essas limpezas dos reservatórios. Se por um lado foram extremamente importantes no alerta às anomalias, por outro, aceleraram o processo de deterioração das estruturas, pois as limpezas são efetuadas com o auxílio de mangueiras d'água de alta pressão. A passagem dos jatos d'água pelas paredes dos reservatórios geram carreamento da argamassa do concreto que encontra-se úmida e já não é de boa qualidade,

desprotegendo ainda mais o concreto e favorecendo a infiltração de água pela estrutura, assim atacando em rápida velocidade as armaduras. Esse processo pôde ser verificado através de observações das manifestações patológicas ao longo de um ano de acompanhamento das estruturas. Também pode ser constatado no comparativo entre as figuras 8, 9 e 10.

### 3.7 MÉTODOS DE RECUPERAÇÃO APLICÁVEIS

Num primeiro momento pode-se concluir que os problemas apresentados nas estruturas originaram-se na falta de cobrimento adequado das armaduras, na alta porosidade do concreto e na ausência de isolamento térmico da laje de cobertura. Para comprovação analítica da influência e grau dessas manifestações nas estruturas, seria necessário a realização de ensaios específicos como análise da carbonatação do concreto, avaliação do teor de cloretos e avaliação da resistência do concreto.

Considerando a relação custo-benefício, avaliou-se que seria possível recuperar as estruturas mantendo-se os sistemas estruturais atuais, evitando o grande período de tempo que seria gasto nas demolições, retirada do entulho e execução de novas estruturas. Também foram considerados os problemas sociais e políticos que seriam gerados em função da perda dos sistemas ante suas demolições.

Assim, optou-se pelos seguintes procedimentos a serem aplicados nos dois reservatórios:

- a) Retirar a camada danificada de concreto;
- b) Tratar as armaduras atingidas pela corrosão, se apresentarem comprometimento das seções, substituí-las;
- c) Preparar, limpar e selar as regiões fissuradas;
- d) Reconstruir a seção de concreto respeitando o adequado cobrimento das armaduras;
- e) Impermeabilizar a área interna, inclusive laje de cobertura;
- f) Proteger termicamente a laje de cobertura do reservatório.

### 3.7.1 PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS RECOMENDADOS

#### 3.7.1.1 PREPARO DO SUBSTRATO E LIMPEZA DAS SUPERFÍCIES

Os procedimentos de preparo e limpeza do substrato são tão importante que alguns autores os consideram responsáveis por 50% ou mais do sucesso de uma recuperação.

Os procedimentos de preparo e limpeza do substrato tem como objetivo a remoção de contaminação, materiais de baixa resistência ou mal aderidos, restos de pintura e enfim, todo e qualquer material que venha a se interpor entre o substrato e o material de reparo, visando a obtenção de uma superfície rugosa, coesa e limpa, para propiciar condições ideais de aderência. Normalmente se despende mais tempo nesses serviços preliminares que nas demais etapas de recuperação.

Preparo do substrato é o conjunto de procedimentos efetuados antes da limpeza superficial e da aplicação propriamente dita dos materiais e produtos de correção.

Limpeza das superfícies é entendida como o conjunto dos procedimentos efetuados instantes antes da aplicação dos materiais para recuperação.

Importante salientar que para as atividades de recuperação das estruturas é necessário providenciar escoramento dos elementos antes do início das operações, bem como fazer uso dos equipamentos de segurança individual.

Nos reservatórios R1 e R2 recomenda-se o preparo do substrato do concreto por meio de escarificação manual e da armadura por lixamento manual. Eventualmente poderá ser utilizado tanto no concreto quanto na armadura, processo de jateamento de areia via seca ou úmida.

#### ESCARIFICAÇÃO MANUAL:

- a) Uso de ponteiro, talhadeira e marreta;
- b) Evitar golpes que possam danificar a estrutura

- c) Retirar todo o material solto, mal compactado e segregado até atingir o concreto são, obtendo superfície rugosa e coesa, propiciando boas condições de aderência.
- d) Promover retirada de concreto pelo menos até 1 centímetro ao redor da armadura para permitir bom acesso à limpeza das mesmas.

#### LIXAMENTO MANUAL:

- a) Uso de lixa de ferro para escovação do aço;
- b) Esfregar a lixa energicamente em círculos sobre a superfície;
- c) Tentar obter cor metálica de “metal quase branco” ;
- d) Limpar tanto lado interno quanto externo das armaduras a fim de evitar a formação de nova pilha de corrosão eletroquímica por diferença de material.

FIGURA 34 – ESCARIFICAÇÃO MANUAL

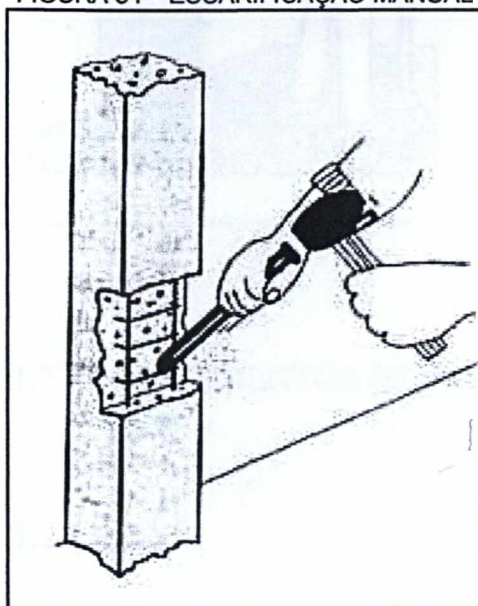
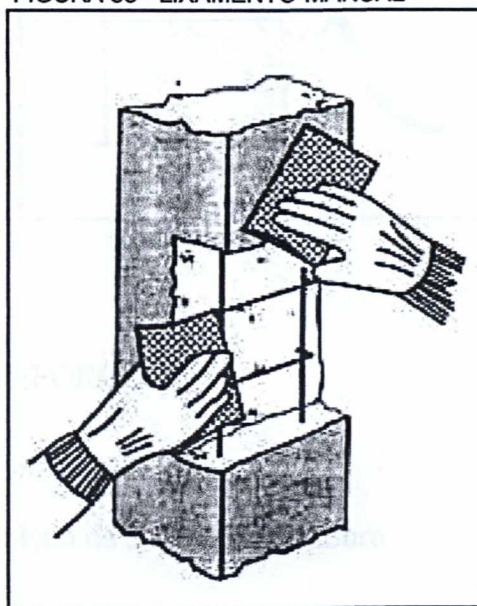


FIGURA 35 - LIXAMENTO MANUAL



Para limpeza das superfícies sugere-se a utilização de jato de ar comprimido por tratar-se de procedimento adequado para uso em concreto e aço com superfícies secas que tenham sido preparadas por escarificação e lixamento manual.

### JATO DE AR COMPRIMIDO:

- a) Uso de mangueira de alta pressão e compressor dotado de filtro de ar e de óleo.
- b) Executar a limpeza do interior para o exterior;
- c) Uma vez limpas, as cavidades devem ser vedadas com papel procedendo-se então à limpeza da superfície remanescente.
- d) As superfícies devem estar totalmente secas para se efetuar a limpeza.

FIGURA 36 - JATO DE AREIA VIA SECA OU ÚMIDA

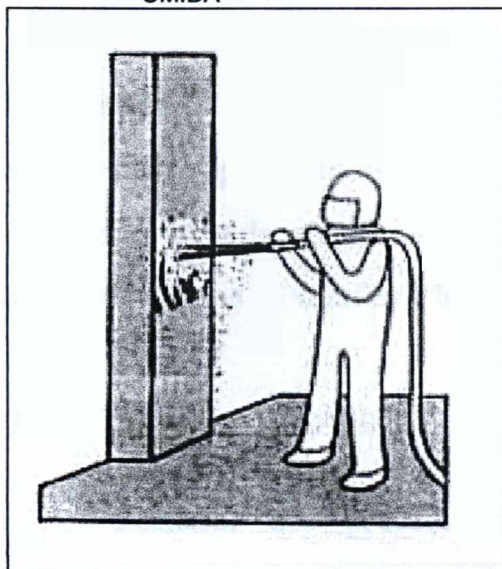
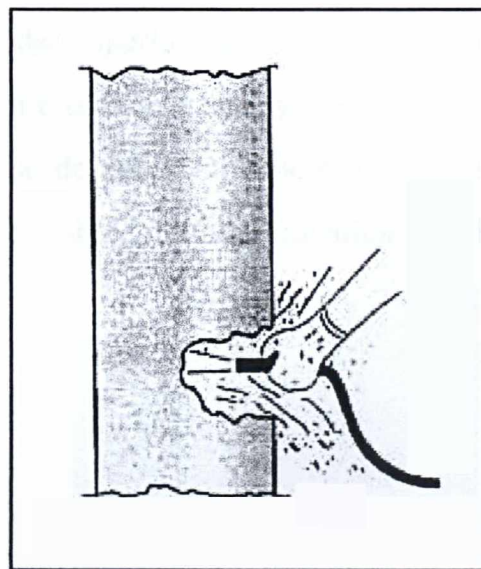


FIGURA 37 - JATO DE AR COMPRIMIDO

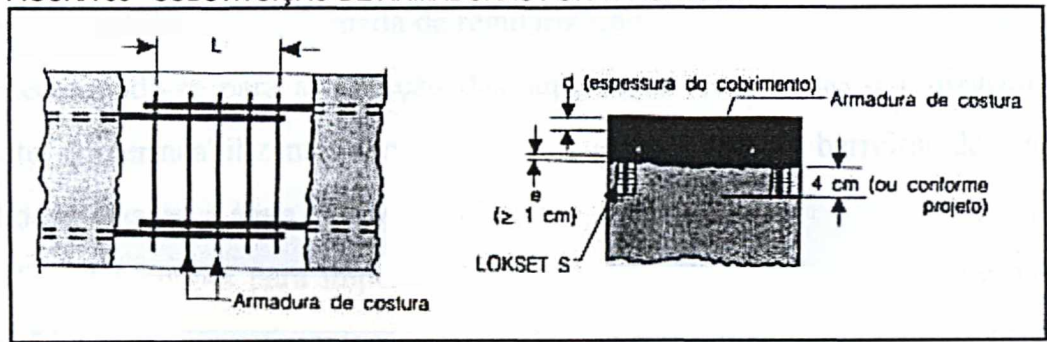


## 3.7.1.2 PROCEDIMENTOS DE REPARO E REFORÇO

### 3.7.1.2.1 REFORÇO – Emendas para reconstituição da seção de armadura

Realização de emendas por traspasse, conforme figura 38, com a utilização de graute base cimento e obedecendo as determinações da NBR 6118/2000 que recomenda comprimento mínimo de traspasse para barras comprimidas de  $15\phi$ , 20 cm ou 0,6 do comprimento de ancoragem e para barras tracionadas de  $15\phi$ , 20 cm ou 0,3 do comprimento de ancoragem.

FIGURA 38 - SUBSTITUIÇÃO DE ARMADURAS POR TRASPASSE



### 3.7.1.2.2 REPARO/ REFORÇO – Corrosão: proteção da armadura

Após preparo do substrato e limpeza das superfícies, aplicar primer rico em zinco com pincel em duas demãos na armadura e esperar a secagem por 30 minutos. Posteriormente aplicar adesivo estrutural a base de epóxi na superfície do concreto para formar ponte de aderência entre o concreto velho e o novo. Trabalhar com luva e óculos de segurança e ventilar o local.

### 3.7.1.2.3 REPARO PROFUNDO

Posterior aos procedimentos de preparo do substrato, limpeza das superfícies, substituição e/ou proteção das armaduras e aplicação de ponte de aderência, restabelecer as seções originais do concreto com graute base cimento com adição de agregados graúdos (até 30% em peso) ou concreto dosado experimentalmente em laboratório. Havendo possibilidade de utilização pode-se fazer uso de concreto projetado.

## 3.7.2 PROCEDIMENTOS PARA PROTEÇÃO DAS SUPERFÍCIES DE CONCRETO-IMPERMEABILIZAÇÃO

Para a impermeabilização a superfície a ser tratada deverá estar limpa, regular, lisa, sem protuberâncias, sem materiais desagregados, com cantos e arestas

arredondados e isenta de qualquer produto que venha a prejudicar a aderência do material impermeabilizante ou camada de regularização.

Recomenda-se para a proteção das superfícies recuperadas a utilização de revestimento impermeabilizante semiflexível, que atue como barreira de baixa permeabilidade a gases, à água e ao vapor d'água.

Uma das opções para impermeabilização dos reservatórios de água é o uso de *linings*. *Lining* são revestimentos de proteção das estruturas compostos de resinas sintéticas que são impermeáveis e resistem a esforços mecânicos e térmicos. Usualmente utiliza-se *linings* a base de fibra de vidro reforçadas com polímeros.

Quando são usados *lining* não flexíveis, todo o contato com o substrato é evitado ou separado o possível afim de não transferir grandes esforços. Isto requer que o *lining* suporte seu peso e seja fixado no substrato com ancoragem em alguns pequenos pontos.

Após a aplicação do *lining* deve-se promover a proteção mecânica do revestimento com produtos cimentícios a prova d'água.

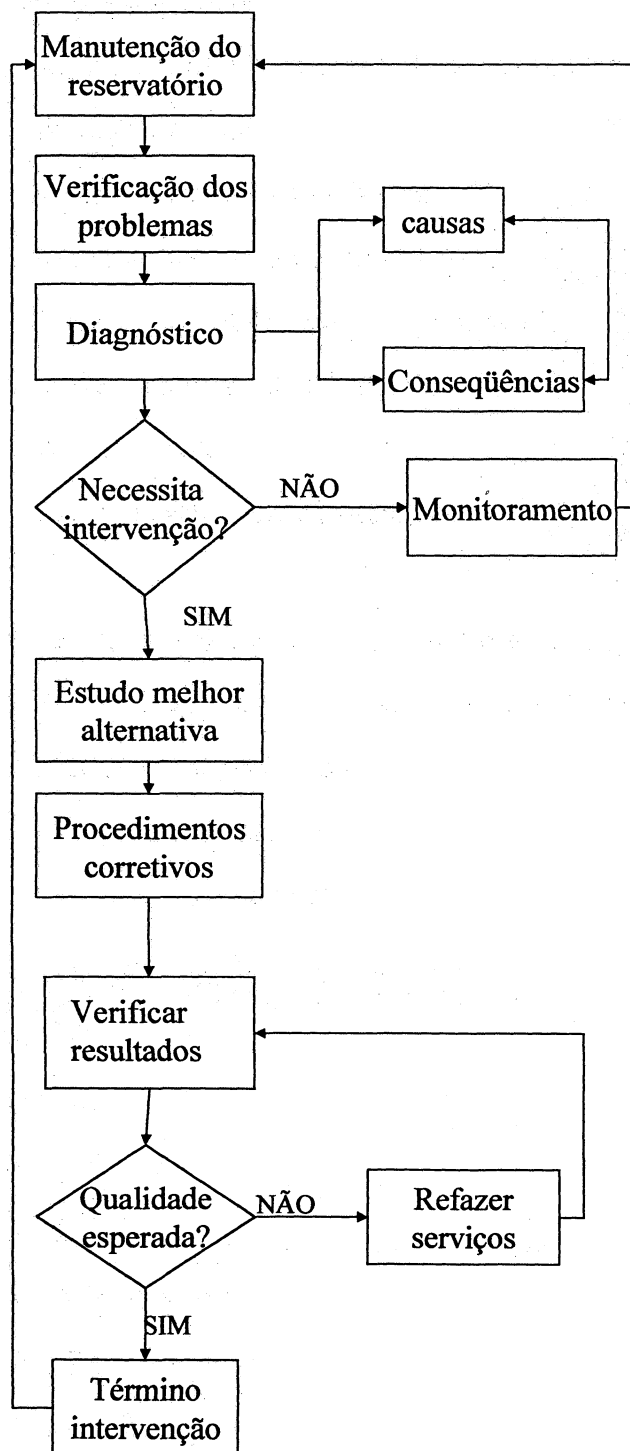
Para a laje externa de cobertura pode-se utilizar membrana líquida base acrílica ou poliuretânica ou manta asfáltica com lâmina de alumínio que seja reflexiva aos raios solares e resistente as intempéries.

### 3.8 MONITORAMENTO E MANUTENÇÃO DA ESTRUTURA REPARADA

Para se ter sucesso e ser durável a intervenção nas estruturas, além de ser bem projetada e especificados tecnicamente os materiais e equipamentos e grande precisão nos procedimentos de recuperação da estrutura é necessário um acompanhamento da evolução e do comportamento do reparo no tempo.

Esse acompanhamento poderá ser baseado na observação visual periódica, tomando-se como referência as zonas de maior risco. Uma metodologia para solução duradoura dos problemas patológicos dos reservatórios de concreto pode ser a apresentada na figura 39.

FIGURA 39 - FLUXOGRAMA DAS INFORMAÇÕES DO PROCESSO DE OPERAÇÃO DE MANUTENÇÃO E REPARO DOS RESERVATÓRIOS



Os critérios que poderão ser adotados para verificação se a estrutura necessita ou não de intervenção imediata é a intensidade e velocidade de degradação do material “doente” e as condições operacionais para intervenção.

A melhor alternativa será sempre aquela que ponderar aspectos técnicos de confiabilidade na efetividade da reparação proposta comparativamente com o custo que essa intervenção representa. Também deverá levar em consideração a disponibilidade de mão-de-obra qualificada para o serviço, a existência de equipamentos adequados, a disponibilização dos materiais a preços convenientes no local da obra e o prazo de execução dos trabalhos, visto que normalmente o tempo disponível para uma reparação é restrito.

Os procedimentos corretos são os indicados pelos fabricantes dos materiais e pela literatura técnica.

A necessidade de verificação dos resultados e qualidade dos trabalhos refere-se a todos os testes pós-reparos que conferirão à estrutura o restabelecimento das suas características iniciais. Aspectos como desempenho intrínseco dos materiais de recuperação e os esforços na interface entre o reparo(novo) e a estrutura(antiga) deverão ser considerados para que se obtenha sucesso na intervenção.

### 3.9 RESUMO DO CAPÍTULO

O Capítulo apresenta o estudo de caso, mostrando as estratégias para coleta de dados das manifestações e problemas patológicos nos dois reservatórios em estudo. Após descrição, as anomalias são analisados sob o ponto de vista de projeto, execução e manutenção. Na última parte do capítulo são indicados os métodos para reparo e manutenção dos reservatórios.

Importantes informações referentes à qualidade das intervenções são verificadas no último item do capítulo - monitoramento e manutenção da estrutura reparada.

## CAPÍTULO 4

### 4. CONCLUSÕES

#### 4.1 CONCEPÇÃO ESTRUTURAL E MORFOLÓGICA

As crescentes exigências com a qualidade das edificações faz com que a comunidade envolvida com a construção civil contemple mais atentamente a questão da durabilidade das estruturas. Para isso torna-se necessário mecanismos e cuidados na fase de concepção do projeto que garantam o respeito de tais requisitos durante a execução no canteiro de obras. O projeto deve garantir a construtibilidade das edificações de maneira a estabelecer-se um fluxo de trabalho, durante a produção, que assegure o efetivo cumprimento dos requisitos técnicos de durabilidade.

Uma das formas de assegurar os requisitos de durabilidade durante a etapa de concepção das estruturas é os projetistas estabelecerem especificações técnicas no projeto e integrarem-se com os profissionais responsáveis pela fases seguintes do processo construtivo para que seja averiguado o cumprimento daquelas especificações estabelecidas anteriormente.

O perfeito conhecimento técnico do comportamento dos materiais e estruturas ao longo do período de sua utilização é sem dúvida, o melhor “remédio” para as doenças das edificações. Projetos com concepção bem definida, onde se tenha realizado profundas pesquisas sobre quais materiais oferecem melhor desempenho às condições ambientais e de serviço que a futura estrutura estará sujeita, análise das formas morfológicas que melhor se adaptam a função da edificação e que evitarão problemas patológicos como, por exemplo, o acúmulo de água e a forma inadequada da marquise dos reservatórios objetos do presente estudo.

Por muito tempo a arte de bem projetar na engenharia foi relegada a incompletos projetos que no canteiro de obras eram adaptados e executados segundo

entendimento e conhecimento do *mestre pedreiro mais experiente*. Essas atitudes algumas vezes são justificadas pela ausência ou carência no detalhamento dos projetos que geram improvisações na etapa executiva e, conseqüentemente, possível redução na vida útil das estruturas.

## 4.2 MATERIAIS E MÉTODO CONSTRUTIVO

Para se obter estruturas de concreto armado duráveis, que atendam às funções a elas destinadas é necessário, além de conhecer as características e desempenho dos materiais que o constituem, tomar alguns cuidados mínimos na fabricação do concreto, como por exemplo:

- Estudo de traço adequado, com quantidade e tipo de cimento compatível com meio em que a obra esteja inserida, independente da resistência mecânica de projeto;
- Relação água/cimento a mais baixa possível;
- Água de amassamento e agregados isentos de impurezas;
- Compactação adequada, assegurando espessura necessária e uniforme do concreto de cobrimento da armadura além de distribuição homogênea dos agregados;
- Respeito ao tempo de cura estabelecido em projetos e norma;
- Promoção de boa compacidade do concreto a fim de evitar a porosidade acentuada;
- Cuidados para não se fazer uso de armaduras que apresentem algum sinal de corrosão.

Procedimentos relativamente simples que possibilitam melhores obras, mais duráveis e resistentes.

Muitos dos danos causados nas estruturas de concreto se devem ao despreparo da mão-de-obra operacional que negligência aspectos executivos fundamentais, como a importância de promover adequado cobrimento das armaduras inseridas no concreto, a completa estanqueidade das fôrmas e a verticalidade dos elementos evitando desaprumos que poderão ocasionar sobrecargas.

Durante a execução das obras é importante também o registro e documentação das alterações executadas no canteiro de obras. Com esses dados, torna-se possível a retroalimentação do processo de projeto, de forma que constitua-se um banco de dados com especificações construtivas, oriundas da experiência dos construtores. Progressivamente, ter-se-á um banco de dados com especificações técnicas referentes a construtibilidade e durabilidade das estruturas, desde o ponto de vista de quem as executa e dessa forma, obras mais resistentes à manifestações patológicas.

#### 4.3 CONCLUSÃO GERAL

Os objetivos inicialmente propostos foram considerados atendidos em virtude da comprovação das hipóteses estabelecidas para o trabalho.

Conforme esperado, comprovou-se através do estudo de caso que falhas e negligências na fase de concepção dos projetos originam manifestações patológicas em reservatórios de água e que, a próxima etapa do processo, fase executiva, contribui substancialmente com a durabilidade das estruturas. Carência de cuidados mínimos e despreparo do pessoal operacional originam danos à edificação que poderão deteriorar a estrutura causando sua inutilização ou, mais grave, seu colapso.

Considera-se que a hipótese secundária não foi atendida ou apenas parcialmente, visto a impossibilidade de realização de ensaios específicos para vibração da estrutura decorrente do transporte nas cercanias dos reservatórios. Contudo, conforme informações fornecidas verificou-se o surgimento de algumas fissuras quando do tráfego mais intenso.

É importante frisar que as edificações, independente do contexto que estejam inseridas, sofrem envelhecimento como qualquer outro objeto e para que esse envelhecimento seja o mais ameno possível é imprescindível o recebimento de manutenções e tratamentos contínuos.

Um programa eficiente de manutenção é uma garantia da durabilidade das edificações e permite o estabelecimento de prioridades para as ações necessárias ao cumprimento da vida útil prevista. Eventuais problemas estruturais, sendo descobertos em seu início, têm seus efeitos minorados e custos de reparos reduzidos.

A durabilidade das edificações de concreto deve ser uma grande preocupação da sociedade, de forma geral, e dos profissionais envolvidos com a pesquisa e manufatura do material. Intervenções em estruturas geram inúmeros transtornos, tanto físicos quanto operacionais e sociais.

Empecilho à garantia da durabilidade é o fato que raras vezes o usuário é informado das exigências relativas à utilização e manutenção das edificações de forma a garantir o cumprimento da vida útil estabelecida em projeto.

Contudo, há de se ressaltar que os usuários cada vez se tornam mais exigentes e conhecedores de seus direitos, valendo-se de advogados e de órgãos de defesa do consumidor como o PROCON, para garantir a qualidade das construções. É sabido que construir corretamente uma edificação é menos oneroso que repará-la. Muitas falhas podem ser detectadas e corrigidas durante a execução da obra, evitando-se assim as patologias.

**BIBLIOGRAFIA**

ANDRADE, C. **Manual para diagnóstico de obras deterioradas por corrosão de armaduras**, tradução e adaptação Antônio Carmona e Paulo Helene. São Paulo: Pini, 1992.

ARANHA, P.; DAL MOLIN, D.C.C. Procedimentos inadequados estabelecidos nas diversas etapas do processo construtivo que contribuem para redução do tempo de vida útil das estruturas de concreto. In: REIBRAC, 37., 1995, Goiânia. **Anais...** São Paulo: Ibracon, 1995. p. 205-218.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**. Projeto e Execução de obras de concreto armado. Rio de Janeiro, 1978

\_\_\_\_\_. **NBR 6118/2000**. Projeto de estruturas de concreto. Projeto de revisão da NBR 6118. Rio de Janeiro, 2000

\_\_\_\_\_. **NBR 8953**. Concretos para fins estruturais. Rio de Janeiro, 1992

CARVALHO, R. C. et al. Recuperação de dois reservatórios enterrados. In: REIBRAC, 42., 2000, Ceará. **Anais...** São Paulo: Ibracon, 2000, 1 CD-ROM

COSTA e SILVA, J. A indústria da água como atividade econômica. **Revista Bio da Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental- ABES**, Curitiba, n.1, p. 32-35, jan./ mar. 1996.

DAL MOLIN, D.C.C.; CAMPAGNOLO, J.L. A importância do controle de qualidade e seu papel na prevenção de patologias em marquises. In: SIMPÓSIO SOBRE PATOLOGIA DAS EDIFICAÇÕES: Prevenção e Recuperação, 1989, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: UFRGS – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 1989. p. 33-51.

DENVER. **Manual Técnico**. Disponível em < <http://www.denver.ind.br> > Acesso em: 20 nov. 2000.

FEDERAÇÃO INTERNACIONAL DE PROTENSÃO (FIP). **Guide to good practice: inspection and maintenance of reinforced and prestressed concrete structure**. Londres: Thomas Telford publications. 1988.

FORTES, L. R.; ANDRADE, J. C. de. **Corrosão na armadura do concreto armado: Influência dos agentes cloretos e da carbonatação**. Disponível em <<http://www.cesec.ufpr.br/~wtecnet/autor/lyttelto.html>> Acesso em 20 fev. 2000.

FOSROC. **Manual Técnico**. Disponível em < [www.fosroc.com.br](http://www.fosroc.com.br) > Acesso em: 20 nov. 2000

GENTIL, V., **Corrosão**. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC- Livros Técnicos e Científicos, 1996.

HELENE, P. R.L., Quais as alternativas para reparar estruturas de concreto com problemas de corrosão de armaduras?. In: SIMPÓSIO EPUSP, 4., 2000, São Paulo. **Anais...** São Paulo: USP- Departamento de Engenharia de Estruturas e Fundações, 2000.

\_\_\_\_\_. **Corrosão em armaduras para concreto armado.** São Paulo: IPT – Pini, 1986.

\_\_\_\_\_. **Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto.** 2.ed. São Paulo: Pini, 1992.

MARQUES FILHO, J.; FREITAS JÚNIOR, J. **Tecnologia do Concreto I e II.** Curitiba, 1999. Notas de aula. Curso de pos-graduação em Construção Civil, CESEC, Setor de Tecnologia, UFPR.

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

NOWAK, A. Effect of human error on structural safety. **Journal of the American Concrete Institute**, title n° 76-40, p. 959-972, september 1979.

OLIVEIRA, S. F. de. Procedimentos para reparo do substrato e metodologia de execução de reparos. In: SIMPÓSIO SOBRE PATOLOGIA DAS EDIFICAÇÕES: Prevenção e Recuperação, 1989, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: UFRGS – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 1989. p. 70-82.

REGATTIERI, C.E.X. et al. Contribuição ao estudo da penetração da água nos concretos. In: REIBRAC, 37., 1995, Goiânia. **Anais...**São Paulo: Ibracon, 1995. v. 1, p. 155-204.

SANTOS FILHO, M. L. **Patologia e Recuperação Estrutural.** Curitiba, 1999. Notas de aula. Curso de pos-graduação em Construção Civil, CESEC, Setor de Tecnologia, UFPR.

STEINER, Werner; Waterproff thin layer renders in drinking water reservoir construction. **Sika in Water and Waste Water Treatment.** Sika Information, Zurich-Switzerland, n. 1, p.11-16, April 1992.

\_\_\_\_\_. Thin layer waterproff rendering of a new drinking water reservoir. **Sika in Water and Waste Water Treatment.** Sika Information, Zurich-Switzerland, n. 1. p.18-19, April 1992.

\_\_\_\_\_. Repairing drinking water reservoirs. **Sika in Water and Waste Water Treatment.** Sika Information, Zurich-Switzerland, n. 1., p.20-21, April 1992.

SIKA. **Manual técnico.** Disponível em < <http://www.sika.com.br> > Acesso em: 20 nov. 2000.

ULMANN, F. Linings for containment vessels and concrete tanks. **Sika in Water and Waste Water Treatment.** Sika Information, Zurich-Switzerland, n. 1, p.33-39, April 1992.

VEDACIT. **Manual Técnico.** Disponível em < <http://www.vedacit.com.br> > Acesso em: 20 nov. 2000.