

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

GABRIELLE ALVES SANTANA

**LEVANTAMENTO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM RESERVATÓRIOS
DE CONCRETO ARMADO NO MUNICÍPIO DE ALEGRETE/RS**

Alegrete

2017

GABRIELLE ALVES SANTANA

**LEVANTAMENTO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM RESERVATÓRIOS
DE CONCRETO ARMADO NO MUNICÍPIO DE ALEGRETE/RS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil
da Universidade Federal do Pampa, como
requisito parcial para obtenção do Título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Aldo Leonel Temp

**Alegrete
2017**

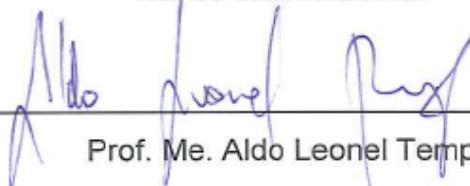
GABRIELLE ALVES SANTANA

**LEVANTAMENTO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM
RESERVATÓRIOS DE CONCRETO ARMADO NO MUNICÍPIO DE
ALEGRETE/RS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia
Civil da Universidade Federal do
Pampa, como requisito parcial para
obtenção do Título de Bacharel em
Engenharia Civil.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 23 de junho de
2017

Banca examinadora:



Prof. Me. Aldo Leonel Temp

Orientador

UNIPAMPA



Eng. Me. Marcelo de Jesus Dias de Oliveira

UNIPAMPA



Prof. Me. Maurício Silveira dos Santos

UNIPAMPA

Dedico este trabalho à minha família e as pessoas que estiveram ao meu lado, não só nesse trabalho, mas em toda a graduação. Mas principalmente, a minha vó.

AGRADECIMENTO

Aos meus pais, Wagner e Divanir, que por muitas vezes abriram mão de seus desejos, pelo trabalho extra que tiveram para garantir que eu conseguisse me graduar. A minha irmã, Nathalia, por me fazer rir com suas histórias e escutar minhas indignações. Nada teria sido possível sem o apoio de vocês.

A minha família por sua preocupação, conselhos e carinho que recebi durante esse tempo. E principalmente as minhas avós Marlene Santana e Edi Nunes (*in memorian*), a sabedoria que vocês me passaram ficará sempre marcada em mim, obrigada por tudo.

A minha primeira família em Alegrete, Cica, Daniel, Danielli, Dircielle, Emanuelle, Adilson, Luciana, Marcelo e Gabriela, que foram os que me ampararam, com a ajuda de vocês consegui encarar meu maior desafio que foi sair de casa. A Lissandra, Renato, Renata, Marizangela, Miguel, Darcy, Oraides e família por me acolher e aceitar em suas vidas, não há palavras para agradecer por tudo.

Ao meu namorado, Henrique Roggia, pelo apoio incondicional, longas conversas, pela paciência, por estar ao meu lado nos piores e melhores momentos, agradeço pelo destino ter te colocado em meu caminho.

Ao Prof. Me. Aldo Leonel Temp, por me orientar, pela paciência com as minhas dúvidas e pelo auxílio nesse trabalho, meu obrigada por toda a ajuda e por acreditar que eu seria capaz de realizar este trabalho.

Aos professores da graduação por toda a ajuda oferecida, tanto em sala de aula quanto fora dela, nos mostrando que sempre somos capazes, acrescentando conhecimentos para que sejamos profissionais qualificados.

Aos amigos que a graduação me agraciou, Paula, Marta, Marina, Andriellen, Rosiéli, Lisiani, Fernanda, Valéria, Paulo e demais colegas, pelas incontáveis horas dentro e fora da universidade, deixo aqui minha gratidão pelas tantas dúvidas respondidas, sorrisos trocados e agonias divididas.

As amigadas de longa data, Renata Dornelles, Debora Paiz, Mauricio Locatelli, Henrico Brum, Fernanda Miranda, Bruno Zilli, Victor Milani e Paulo Pereira por compreenderem minha ausência, pela paciência em momentos de desabafos e, principalmente, pelo apoio em tempos complicados.

“Devo ater-me ao meu próprio estilo e seguir meu próprio caminho. E apesar de eu poder nunca mais ter sucesso deste modo, estou convencida de que falharia totalmente de qualquer outro”.

Jane Austen

RESUMO

Manifestações patológicas são muito comuns em qualquer tipo de estrutura, sendo que algumas são visíveis a olho nu e outras são ocultas ao observador. Essas anomalias podem, em muitos casos, comprometer a segurança e a funcionalidade da estrutura, e no caso do concreto armado alguns tipos de patologias não tem reparo, fazendo com que a edificação fique inutilizada. No caso dos reservatórios feitos em concreto armado, se a estrutura apresenta problemas que podem prejudicar a sua funcionalidade, não somente dará prejuízos para a empresa responsável por ele, como para a população que depende dessa estrutura.

Este trabalho tem por objetivo fazer um levantamento das manifestações patológicas dos reservatórios feitos em concreto armado localizados na cidade de Alegrete – RS. Foram feitos levantamentos fotográficos utilizando uma câmera convencional, e, além disso, utilizou-se da técnica da termografia digital para identificar anomalias patológicas ocultas. A técnica utilizada foi a termografia passiva, que leva em consideração apenas a energia solar. Com as imagens feitas com a câmera convencional e os termogramas, pode-se concluir que as patologias mais recorrentes nesse tipo de estrutura são: fissuras (principalmente horizontais, verticais e mapeadas), manchas causadas por bolor e fungos, corrosão das armaduras e umidade na superfície. Com as imagens termográficas, pode-se ver que em pontos onde havia uma grande concentração de água, eram onde se encontravam as maiores temperaturas, e em alguns pontos onde as temperaturas eram muito baixas eram onde se encontravam pontos de umidade. Depois de feitas as análises e os diagnósticos das patologias, pode-se chegar à conclusão que o uso desse tipo de reservatório não é uma boa alternativa para região, pois a maioria das manifestações patológicas se dá pela grande variação térmica que ocorre durante o ano, fazendo com que esse sistema construtivo seja falho, e a estrutura irá necessitar de reparos com uma maior frequência do que os feitos em outros materiais.

Palavras-Chave: Manifestações patológicas, reservatórios, termografia, patologia.

ABSTRACT

Pathological manifestations are common in any type of structure, some of them are visible to the naked eye and some other are hidden from the observer. These anomalies may compromise the safety and functionality of the structure, and in case of reinforced concrete, some pathologies may not be repaired, damaging the edification irreversibly. For reinforced concrete reservoirs, if the structure presents problems that may harm its functionality, both the company responsible for its construction and the people depending on its service may be affected. This work has the goal to investigate pathological manifestations of reinforced concrete reservoirs located in Alegrete - RS. Photographic material was collected by a conventional camera, and, beyond that, digital thermography techniques were used for the identification of hidden pathological anomalies. Passive thermography was used considering only solar energy. Based on the images captured by a conventional camera and the thermograms we may conclude that the most common pathologies in this type of structure are: fissures (especially horizontal, vertical and mapped), stains caused by mold and fungi, reinforcement corrosion and surface humidity. Based on the thermographic images we are able to see the spots with the highest concentration of fissures with the highest temperatures and some spots where the temperatures are the lowest and the location of the humidity concentration. After the analysis and diagnosis of the pathologies we conclude that this type of reservoir may not be the best alternative for this specific region for most of the pathological manifestations are caused by the high thermal variation which occurs through the year, making this constructive system to fail, and the structure will demand repairs more frequently than would with different material.

Key-words: pathological manifestations, reservoirs, thermography, pathology.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Reservatórios com diferentes arquiteturas.....	19
Figura 2 – Tipos de reservatórios quanto a sua implantação.....	21
Figura 3 – Exemplos de reservatórios cilindro e paralelepípedo.....	22
Figura 4 – Esquema de mistura dos materiais.....	24
Figura 5 – Passos para chegar a um diagnóstico preciso.....	25
Figura 6 – Causas intrínsecas aos processos de deterioração de estruturas de concreto.....	27
Figura 7 – Causas extrínsecas aos processos de deterioração das estruturas de concreto.....	28
Figura 8 – Processos físicos de deterioração das estruturas de concreto.....	29
Figura 9 – Movimentação de formas.....	33
Figura 10 – Retração do concreto.....	35
Figura 11 – Corrosão em estruturas de concreto armado.....	37
Figura 12 - Formação do “efeito de pilha” no concreto armado.....	38
Figura 13 – Célula de corrosão no concreto armado.....	39
Figura 14 – Fase da instalação do processo de corrosão das armaduras.....	40
Figura 15 – Ensaio para avaliação da profundidade de carbonatação.....	43
Figura 16 – Eflorescência no concreto.....	44
Figura 17 – Imagem termográfica.....	47
Figura 18 – Espectro eletromagnético.....	49
Figura 19 – Técnica de termografia passiva.....	51
Figura 20 – Fluxograma de metodologia que será utilizada neste estudo.....	53
Figura 21 – Localização e orientação do reservatório R01.....	58
Figura 22 - Reservatório R01.....	59
Figura 23 – Manifestações patológicas na face oeste do reservatório R01.....	59
Figura 24 – Imagem termográfica da face oeste estudada.....	60
Figura 25 – Tratamento da imagem termográfica do reservatório R01.....	61
Figura 26 - Manifestações patológicas na face norte do reservatório R01.....	62
Figura 27 - Imagens termográficas da face norte do reservatório R01.....	62
Figura 28 - Tratamento das imagens termográficas.....	63
Figura 29 – Face sudeste do reservatório R01.....	64

Figura 30 – Manifestações patológicas do reservatório R01.....	65
Figura 31 - Imagem termográfica do reservatório R01	65
Figura 32 – Tratamento das imagens termográficas	66
Figura 33 - Antes e depois do reservatório R01	69
Figura 34 – Localização e posição do reservatório R02.....	70
Figura 35 – Vista geral do reservatório R02.....	71
Figura 36 - Manifestações patológicas na face leste do reservatório R01	72
Figura 37 – Imagens termográficas do reservatório R02	72
Figura 38 - Tratamento das imagens termográficas da face leste do reservatório R02	73
Figura 39 – Manifestações patológicas na face oeste do reservatório R02	73
Figura 40 – Imagem termográfica do reservatório R02	75
Figura 41 – Antes e depois do reservatório R02	77
Figura 42 - Localização e posição do reservatório R03	78
Figura 43 - Reservatório R03	78
Figura 44 - Imagens aproximadas da face leste do reservatório R03	79
Figura 45 - Imagem Termográfica na face leste do reservatório R03	80
Figura 46 – Imagem termográfica após limitação de temperatura	81
Figura 47 – Vista da face oeste do reservatório R03	82
Figura 48 – Manifestações patológicas na face oeste do reservatório R03	82
Figura 49 - Imagem termográfica na face oeste do reservatório R03	83
Figura 50 – Imagem termográfica após limitação da temperatura	84
Figura 51 – Antes (2008) e depois (2017).....	86
Figura 52 - Localização e orientação do reservatório R04	87
Figura 53 – Reservatório R04	88
Figura 54 – Manifestações patológicas encontradas no reservatório R04.....	89
Figura 55 – Imagens termográficas do reservatório R04	90
Figura 56 – Tratamento das imagens termográficas	91
Figura 57 – Antes e depois do reservatório R04	93
Figura 58 - Localização e orientação do reservatório R05	94
Figura 59 – Reservatório R05	95
Figura 60 – Manifestações patológicas na face sudoeste do reservatório R05.....	96
Figura 611 – Imagem termográfica na face sudoeste do reservatório R05.....	97

Figura 62 – Manifestações patológicas na face sudoeste do reservatório R05.....	98
Figura 63 – Imagem termográfica da face sudoeste do reservatório R05	98
Figura 64 – Vista geral da face sudeste do reservatório R05.....	99
Figura 65 – Imagens das manifestações patológicas na face sudeste do reservatório R05.....	100
Figura 66 – Imagem termográfica na face sudeste do reservatório R05.....	101
Figura 67 – Antes e depois do reservatório R05	103

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Limite máximo de abertura de fissura conforme a classe de agressividade do ambiente.....	30
Quadro 2 – Tipos de Fissuras	31
Quadro 3 – Resumo das configurações típicas de fissuras	32
Quadro 4 – Possibilidades da técnica ativa.....	50
Quadro 5 – Valores de emissividade para o concreto.....	55
Quadro 6 – Informações preliminares dos reservatórios a serem estudados	56
Quadro 7 - Idade dos reservatórios analisados.....	57
Quadro 8 – Quadro resumo das manifestações patológicas encontradas.....	107

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Incidência de patologias no concreto armado em cada fase26

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 Objetivos	17
1.1.1 Objetivo Geral	17
1.1.2 Objetivos específicos.....	17
1.2 Justificativa.....	18
2 REVISÃO DA LITERATURA	19
2.1 Reservatórios	19
2.2 Vida útil e durabilidade das estruturas	22
2.3 Manifestações patológicas em estruturas de concreto armado.....	25
2.3.1. Fissuração.....	29
2.3.1.1 Deficiência de projeto	31
2.3.1.2 Contração plástica do concreto	33
2.3.1.4 Movimentação de escoramentos e/ou formas.....	33
2.3.1.5 Retração.....	34
2.3.1.6 Reação expansiva	36
2.3.1.7 Corrosão das armaduras.....	37
2.3.1.8 Variação de temperatura	40
2.3.2 Desagregação do concreto	41
2.3.2.3 Calcinação.....	41
2.3.2.4 Ataque biológico	41
2.3.3 Carbonatação do concreto	42
2.3.4 Lixiviação e eflorescência.....	44
2.4 Noções básicas de termografia	45
2.4.1 Transferência de calor.....	48
2.4.2 Emissividade	49
2.4.3 Técnicas de termografia digital.....	50
2.4.4 Identificação de patologias com uso de termografia infravermelha	51
3 METODOLOGIA.....	53
3.1 Coleta de dados	53
3.2 Tratamentos dos dados.....	54
3.3 Diagnóstico.....	54
	14

3.4	Descrições do equipamento	55
3.5	Dados coletados.....	55
4	APRESENTAÇÃO DA PESQUISA E ANÁLISE DOS RESULTADOS	58
4.3.1	Reservatório R01	58
4.3.2	Reservatório R02	69
4.3.3	Reservatório R03	77
4.3.4	Reservatório R04	87
4.3.5	Reservatório R05	94
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	105
5.1	Resumo dos problemas encontrados	106
5.2	Sugestões para trabalhos futuros.....	108
	REFERÊNCIAS.....	109

1 INTRODUÇÃO

Segundo Fernandes (não datado), reservatórios são unidades hidráulicas utilizadas para acumular ou conservar algum tipo de fluido. Esse tipo de construção pode reservar vários tipos de fluidos, como água (potável ou não), gases, derivados do petróleo (gasolina, óleos, etc), bebidas em geral, entre outros materiais.

Existe uma gama de materiais que compõe esse tipo de estrutura, no mercado é comumente encontrado os fabricados em fibra de vidro ou aço. Os reservatórios feitos em fibra de vidro, principalmente, são utilizados para atender a uma demanda menor, como o de residências e pequenas empresas. Já os reservatórios de aço podem ser utilizados em indústrias que necessitem de grande quantidade de água armazenada.

Já para locais onde se precisam atender vazões maiores, as mais utilizadas são aquelas que podem ser construídas *in loco*, onde poderá satisfazer a demanda necessária, as dimensões e formatos necessários e são, geralmente, construídas em concreto armado ou argamassa armada. Por seu custo ou pela facilidade construtiva, os reservatórios feitos em concreto armado são os mais usados para reservar água potável, tanto no setor público, quanto no setor privado (KUEHN, 2002).

Quando os reservatórios de água potável são construídos em concreto armado, eles estão sujeitos as várias manifestações patológicas que afetam este tipo de estrutura. As causas dessas patologias são as mais diversas, especialmente por ser uma estrutura que está exposta a intempéries e por estar em contato constante com a água. Segundo Borges (2008), a água pode causar muitas reações químicas com os materiais de constituição do reservatório, comprometendo a estrutura, podendo diminuir sua estanqueidade.

Sabendo que o concreto armado está sujeito a várias anomalias, um programa de manutenção periódica deveria ser realizado para a preservação dos reservatórios. Com uma manutenção preventiva sendo feita frequentemente, os problemas patológicos serão pouco recorrentes, fazendo com que a estrutura mantenha suas características por muito tempo.

Se um reservatório apresentar alguma anomalia patológica, dependendo dos sintomas apresentados pela construção, toda a água que se encontra ali reservada, tratada anteriormente, poderá ser contaminada ou encontrar uma maneira de percolar

pela estrutura e acabar sendo perdida. Com isso, pode acabar causando prejuízos para a concessionária – ou órgão público – responsável pelo tratamento da água, para a população, caso ocorra contaminação da água.

Após o aparecimento das anomalias, o custo do reparo ou da recuperação poderá ultrapassar o valor da obra e, em casos mais graves, a estrutura deve ser demolida, pois sua funcionalidade estará comprometida, e com isso pode causar riscos a população do seu entorno.

Borges (2008) destaca que os cuidados necessários para com essas estruturas são de extrema necessidade e indispensáveis, pois atingem direta e indiretamente toda a sociedade que depende desse reservatório para atender as suas demandas diárias.

Diante desse contexto, esse trabalho tem por finalidade fazer uma investigação preliminar dos reservatórios de concreto armado encontrados na cidade de Alegrete/RS, buscando a obtenção de dados através de registro fotográfico e dados obtidos pela empresa de abastecimento que trabalha na cidade, a Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN).

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral desse trabalho consiste em realizar uma avaliação do nível de degradação dos reservatórios de concreto armado localizados no município de Alegrete/RS.

1.1.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos ficaram determinados da seguinte maneira:

- realizar um levantamento dos tipos, histórico de utilização e manutenção dos reservatórios em concreto armado;
- identificar as principais manifestações patológicas existentes nos reservatórios de água potável, de média e grande capacidade, elevados e semienterrados;
- determinar a variação de temperatura superficial dos materiais e componentes dos reservatórios de concreto armado por meio da termografia.

1.2 Justificativa

Sendo uma estrutura de extrema importância para o funcionamento do sistema de abastecimento da rede de distribuição de água potável, a manutenção dos reservatórios deve sempre levar em consideração para que se garanta sua funcionalidade. Como é uma estrutura que está em constante contato com a água e com o ambiente externo, exige ainda mais atenção, pois estará sujeita a uma variada quantidade de manifestações patológicas.

Caso esta estrutura apresente anomalias patológicas, dependendo do seu estado de degradação, poderá afetar sua vida útil e assim causar prejuízos para a empresa de saneamento, para a administração municipal e, conseqüentemente, a sociedade no geral.

Sendo assim, a realização de estudos quanto as manifestações patológicas presente em reservatórios de concreto armado se faz necessário. Com o conhecimento adquirido a partir da análise das anomalias neste tipo estrutura, o presente trabalho poderá contribuir para que quando futuras intervenções sejam feitas, o profissional responsável por essa obra tenha conhecimento dos problemas presentes e, com isso, sanar os problemas que lá foram identificados.

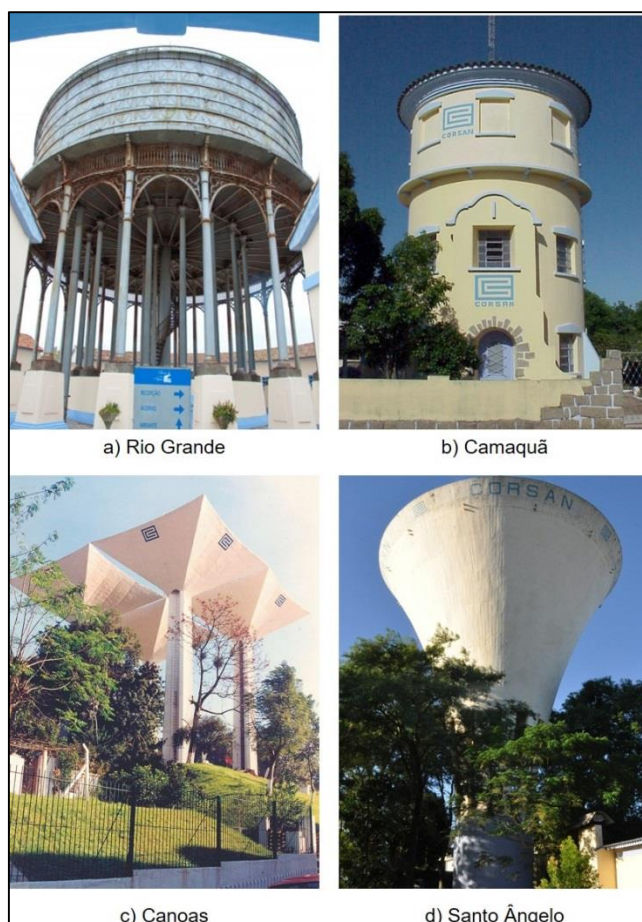
2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Reservatórios

Reservatório é descrito no dicionário Aurélio como um “local onde se supõe que existe um fluido em acumulação ou em grande quantidade, que é próprio para reservar”. Eles são feitos com o intuito de manter algo depositado, não servindo somente para a acumulação de água, também podendo ser utilizado para reservar outros tipos de fluidos como gasolina, óleo, gases, bebidas, entre outros produtos.

O reservatório de água, que é definido segundo a NBR 12217 (ABNT, 1994) como um dos elementos que forma o sistema de abastecimento de água, tem a função de regular as vazões de adução e de distribuição mantendo eles constantes, ajudando a melhorar as pressões na rede de abastecimento. Na Figura 1 são apresentados alguns tipos de reservatórios em formatos diferenciados.

Figura 1 – Reservatórios com diferentes arquiteturas



Fonte: Corsan (não datado)

Ramos (2010) classifica essa estrutura de acordo com oito critérios: função (distribuição ou equilíbrio, regularização de transporte ou reserva para combate de incêndio), implantação (enterrado, semienterrado, apoiado ou elevado), capacidade (pequenos, médios e grandes), forma (seção retangular, quadrada, circular ou variável), modo de encerramento (cobertos ou não cobertos), material de construção, configuração da construção e natureza do líquido armazenado.

Dentre essas oito classificações, Ramos (2010) diz que quatro critérios são os mais relevantes:

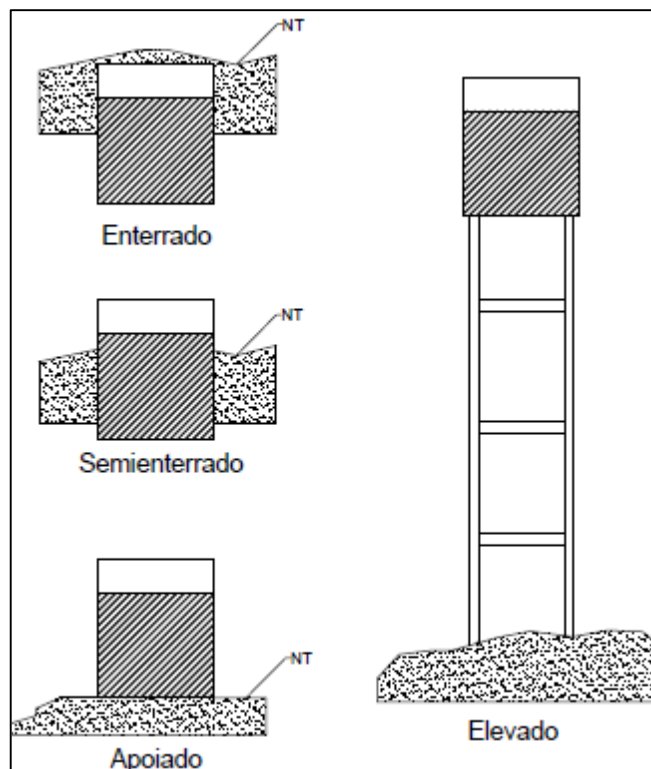
1) Quanto a função:

- distribuição ou equilíbrio;
- regularização de transporte;
- reserva para combate de incêndio.

2) Quanto ao tipo de implantação:

- **enterrado**: quando está completamente abaixo da cota do terreno, tem como vantagem a menor variação da temperatura, fazendo com que a água fique melhor conservada, também não causa poluição visual onde for implantada. Seu maior problema fica por conta do alto custo na escavação e a difícil manutenção.
- **semienterrado ou semi-apoiado**: com uma parte da altura líquida abaixo do nível do terreno. Utiliza-se esse layout quando uma escavação não se justifica por causa de sua localização ou questão geotécnicas.
- **apoiado**: a laje do fundo é apoiada no terreno, quando este possui capacidade de aguentar a carga solicitada. É vantajosa por sua fácil instalação, operação e manutenção.
- **elevado**: está suspenso por estruturas de elevação quando se quer garantir a pressão mínima na rede de distribuição. Apresenta desvantagens como o fato de não poder armazenar grandes quantidades de água, maior dificuldades construtivas e poluição visual.

Figura 2 – Tipos de reservatórios quanto a sua implantação



Fonte: Adaptado de Filho (não datado)

3) Quanto à capacidade:

- pequenos: com volume menor que 50 m³;
- médio capacidade: com volume entre 50 e 200 m³;
- grande: volume superior a 200 m³.

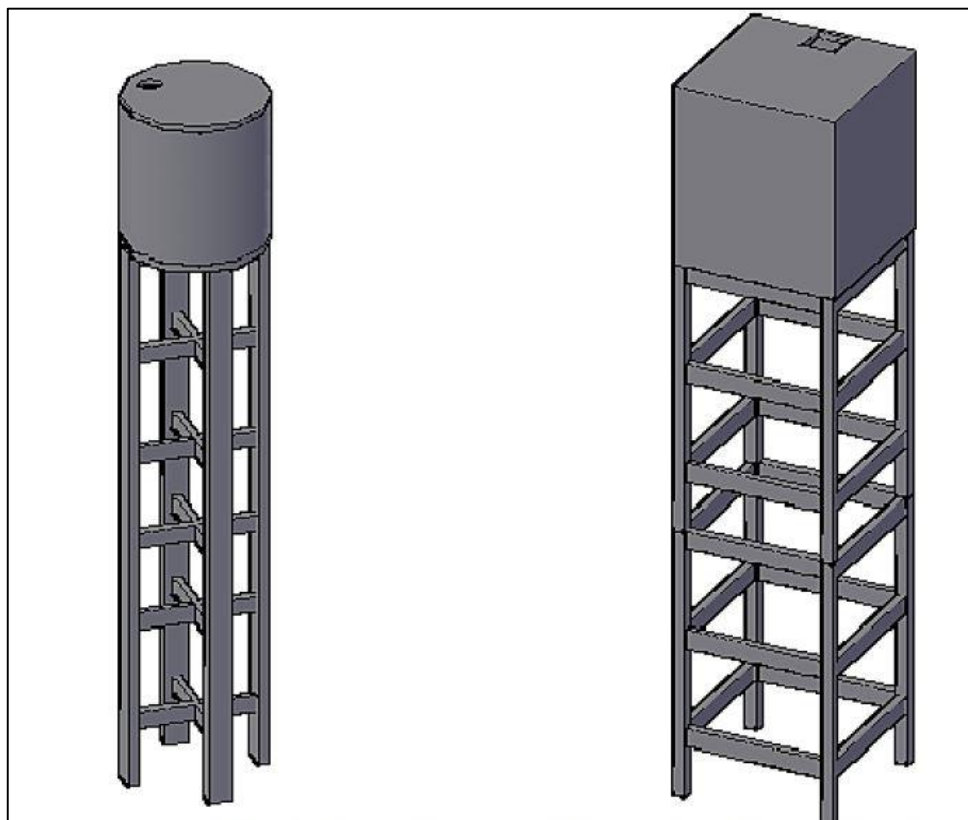
4) Quanto aos materiais empregados para sua construção:

- aço;
- alvenaria estrutural;
- concreto armado;
- concreto protendido;
- argamassa armada;
- fibra de vidro.

Dentre os materiais citados, o mais utilizado para execução de reservatórios de água potável é o concreto armado, encontrado comumente em dois formatos (cilíndrico e paralelepípedo), podendo ser moldado *in loco* ou ser pré-moldado

(REVISTA CONSTRUÇÃO MERCADO, 2011). Na Figura 3 têm-se exemplos dos dois formatos de reservatório mais encontrados.

Figura 3 – Exemplos de reservatórios cilindro e paralelepípedo.



Fonte: Ferreira (2015, p. 19)

Como na atualidade o concreto armado é um dos materiais mais utilizados na construção civil e por sua facilidade em ser moldado, Bissa (2008) explica que devido à facilidade do uso do concreto armado para elaboração de diferentes formatos e dimensões, ele acaba sendo o material mais utilizado na construção dos reservatórios que auxiliam no sistema de saneamento de grandes cidades.

2.2 Vida útil e durabilidade das estruturas

Antes de falar no concreto propriamente dito, alguns conceitos devem ser explicados para o melhor entendimento do comportamento desse material, como a durabilidade e vida útil.

Por durabilidade, a NBR 6118 (ABNT, 2014, p.13) diz que é a “capacidade de a estrutura resistir às influências ambientais previstas e definidas em conjunto pelo autor do projeto estrutural e o contratante, no início dos trabalhos de elaboração do projeto”. No item 6.1 dessa mesma norma está claro que, em estruturas de concreto, quando se leva em consideração a agressividade do ambiente, ainda na fase de projeto, haverá uma maior garantia de que a estrutura dure o tempo desejado, mantendo sua segurança e estabilidade.

Helene (1986) afirma que a durabilidade não é uma propriedade dependente ou intrínseca à estrutura, ao concreto ou à armadura, mas uma mesma estrutura pode ter diferentes tipos de comportamentos, podendo ser em função do tempo ou de sua utilização.

Já a concepção de vida útil, de acordo com a NBR 15575-1 (ABNT, 2013, p. 15) é descrita da seguinte forma.

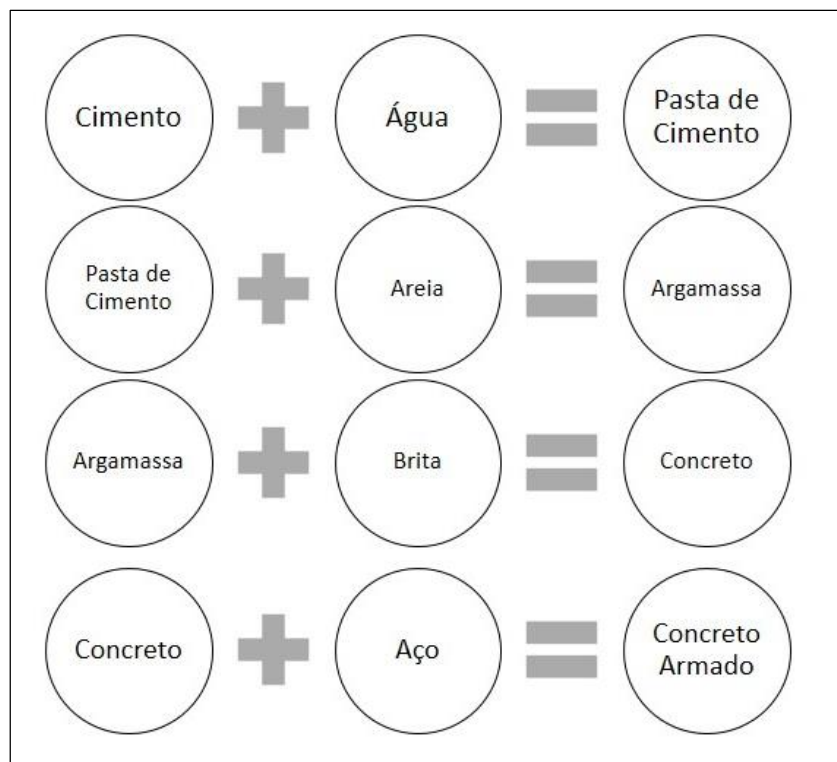
Período de tempo em que o edifício e/ou seus sistemas se prestam às atividades para as quais foram projetados e construídos considerando a periodicidade e correta execução dos processos de manutenção especificados no respectivo Manual de Uso, Operação e Manutenção (a vida útil pode ser confundida com prazo de garantia legal e certificada).

Nessa mesma norma também consta informações sobre a vida útil de projeto, que seria “uma estimativa teórica de tempo que compõe o tempo de vida útil” (ABNT NBR 15575-1/2013, p. 15). E a NBR 6118 (ABNT, 2014) enfatiza que vida útil de projeto é o período de tempo na qual se mantém as características da estrutura, sem intervenções consideráveis, levando-se em consideração os requisitos estabelecidos pelo projetista e pelo construtor para o uso e manutenção da edificação.

Entendendo sobre os conceitos de durabilidade e vida útil da estrutura pode-se notar que eles estão diretamente ligados ao concreto armado, pois, quando uma estrutura é bem executada e que consegue atender aos requisitos já citados, poderá se dizer que ela apresentará um desempenho satisfatório por um longo tempo e com os custos de manutenção baixos.

O concreto é um material compósito resultante da mistura de cimento Portland, agregados (miúdos e graúdos) e água. Na Figura 4, vê-se o esquema do resultado da mistura que forma o concreto.

Figura 4 – Esquema de mistura dos materiais



Fonte: Elaboração Própria

O cimento, após ser hidratado pela água, acaba formando uma pasta resistente que se aglomera aos agregados, e depois passa por um processo chamado de “cura”. A cura do concreto, segundo Bauer (1994), tem o objetivo de evitar que a água que foi utilizada na mistura evapore rapidamente, atrapalhando a hidratação do cimento. Após sua cura completa, o concreto começa a endurecer formando um bloco considerado monolítico.

Mesmo que a dosagem do concreto tenha um bom controle de qualidade e a obra seja bem executada, com o passar dos anos o concreto vai alterando suas propriedades físicas e químicas em função dos materiais que o constituem e, também, motivados pelo ambiente na qual ele se encontra. E essas mudanças irão comprometer o desempenho para qual ele foi projetado (SOUZA; RIPPER, 1998).

2.3 Manifestações patológicas em estruturas de concreto armado

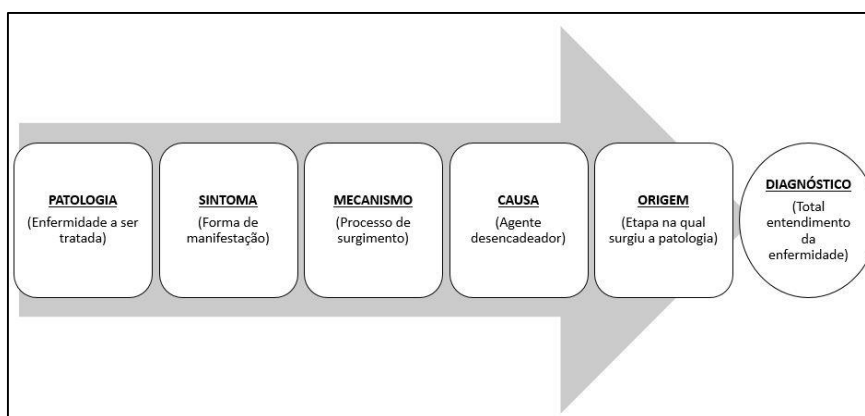
Como visto no item anterior, a durabilidade da edificação e sua vida útil são elementos muito importantes quando se trata de estruturas de concreto. Para que a estrutura mantenha um desempenho satisfatório ao longo de sua vida útil, todo o conjunto de ações que serão realizadas na obra devem ser bem detalhadas e executadas.

Se algum dos procedimentos realizados na obra (projeto, execução ou utilização) for realizado erroneamente, a construção começará a apresentar problemas patológicos desde problemas estéticos a anomalias mais graves, podendo comprometer a sua durabilidade. As manifestações patológicas no concreto armado geralmente se manifestam de forma bem característico, e dificilmente é devido a uma causa isolada.

Lapa (2008) descreve que as enfermidades patológicas no concreto podem ser divididas em dois tipos: as congênitas (nascem com a estrutura) ou serem adquiridas ao longo de sua vida. Esta segunda classificação pode ser causada por agentes externos (isso inclui o usuário) ou por fenômenos físicos (catástrofes naturais, explosões, recalques, variações de temperatura, entre outros fatores).

Para entender como funciona uma manifestação patológica e saber qual intervenção será adequada, algumas medidas devem ser tomadas antes que a situação se torne irreversível. Antes de se chegar a um diagnóstico definitivo foi montado o esquema, contido na Figura 5, a partir da descrição de Lapa (2008), expondo alguns passos que precisam ser feitos antes do diagnóstico final.

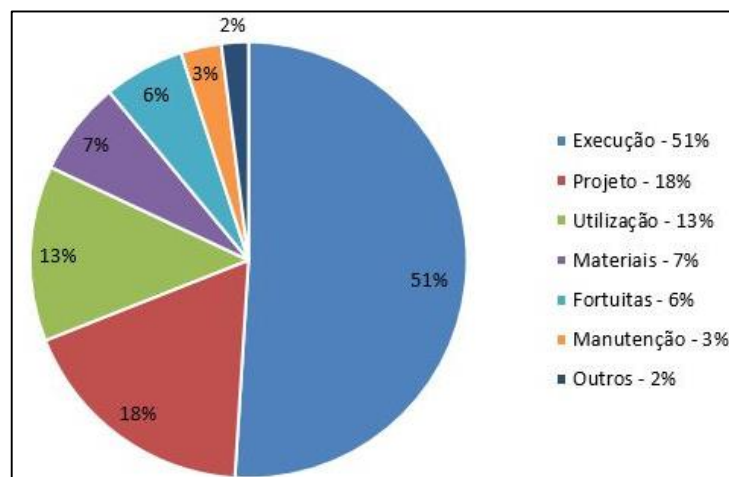
Figura 5 – Passos para chegar a um diagnóstico preciso



Fonte: Adaptado de Lapa (2008, p.26)

Antes de diagnosticar uma anomalia patológica, deve-se compreender que os problemas em estruturas de concreto geralmente estão ligados a falhas nas etapas de execução e projeto, como mostrado no Gráfico 1, que traz as porcentagens em que as enfermidades aparecem na estrutura.

Gráfico 1 - Incidência de patologias no concreto armado em cada fase



Fonte: Revista AECWeb [3] (não datado)

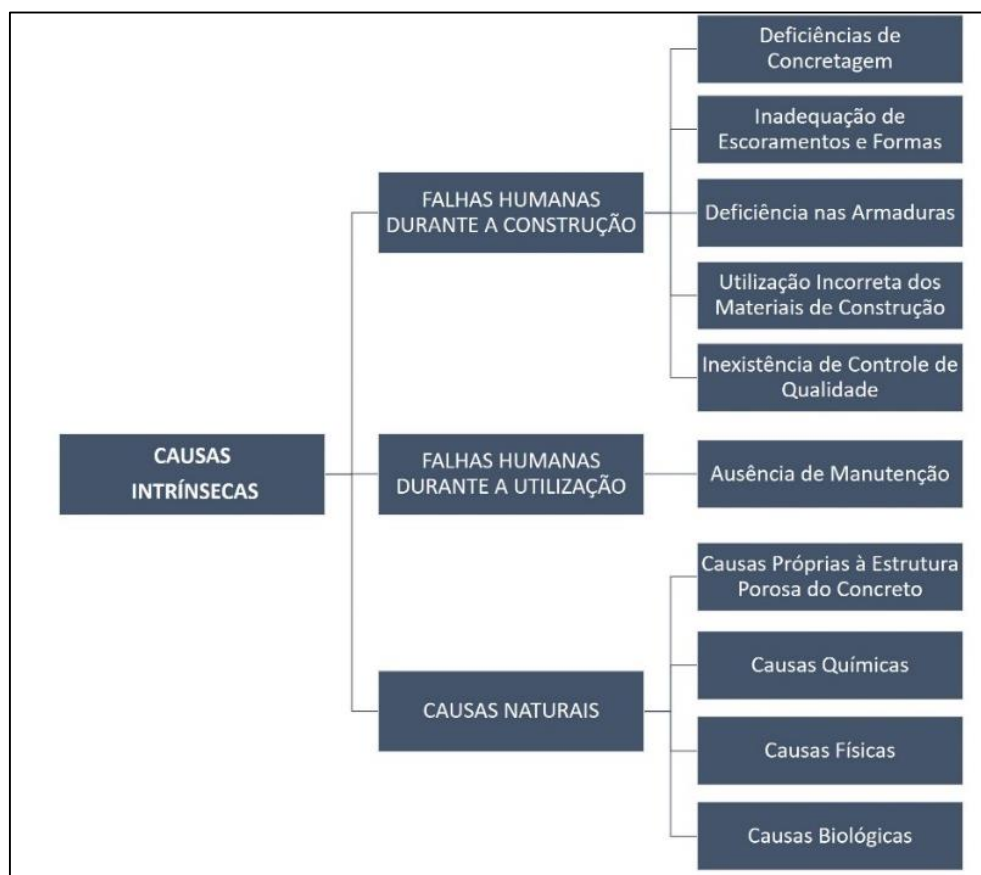
Como dito anteriormente, as etapas em que mais surgem problemas são nas fases de projeto e execução da obra. Já para as patologias geradas pela utilização da estrutura, na sua maioria são causadas pela má utilização da edificação, muitas vezes levando a carregamentos muito maiores que aqueles de projeto. E para o caso dos materiais, seria devido à utilização de componentes de menor qualidade, na busca de economia na obra.

Outros fatores de deterioração que se deve levar em conta são “os problemas patológicos ocasionados por manutenção inadequada, ou pela ausência total de manutenção, que tem sua origem ligada ao desconhecimento técnico, na incompetência e em problemas econômicos” (ARIVABENE, 2015, p. 6).

Depois de esclarecidas em quais fases surgem as manifestações patológicas, a literatura nos mostra grande variedade de problemas listados. Como definem Souza e Ripper (1998), as anomalias são classificadas em dois tipos de causas: intrínsecas e extrínseca.

As causas intrínsecas são caracterizadas como aquelas que são próprias à estrutura, todas elas são originadas nos materiais e peças estruturais durante as fases de execução e/ou de utilização da estrutura, por falha humana, questões próprias ao material concreto ou por ações externas (SOUZA; RIPPER, 1998). A Figura 6 mostra um resumo de todos os processos de deterioração.

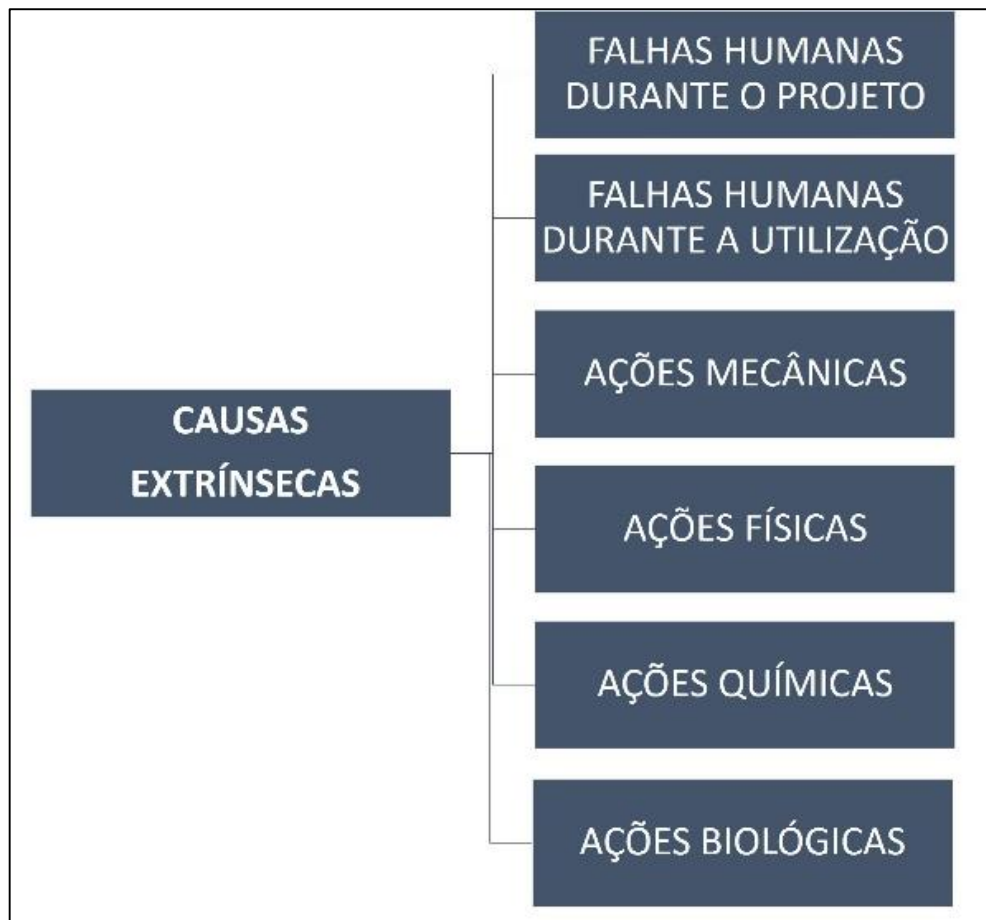
Figura 6 – Causas intrínsecas aos processos de deterioração de estruturas de concreto



Fonte: Adaptado de Souza e Ripper (1998, p.26)

Já quanto as causas extrínsecas são aquelas que não dependem do corpo da estrutura em si, nem da sua composição interna, e sim de falhas que atacam a estrutura de “fora para dentro” (SOUZA; RIPPER, 1998). A Figura 7 traz o esquema resumido das causas extrínsecas.

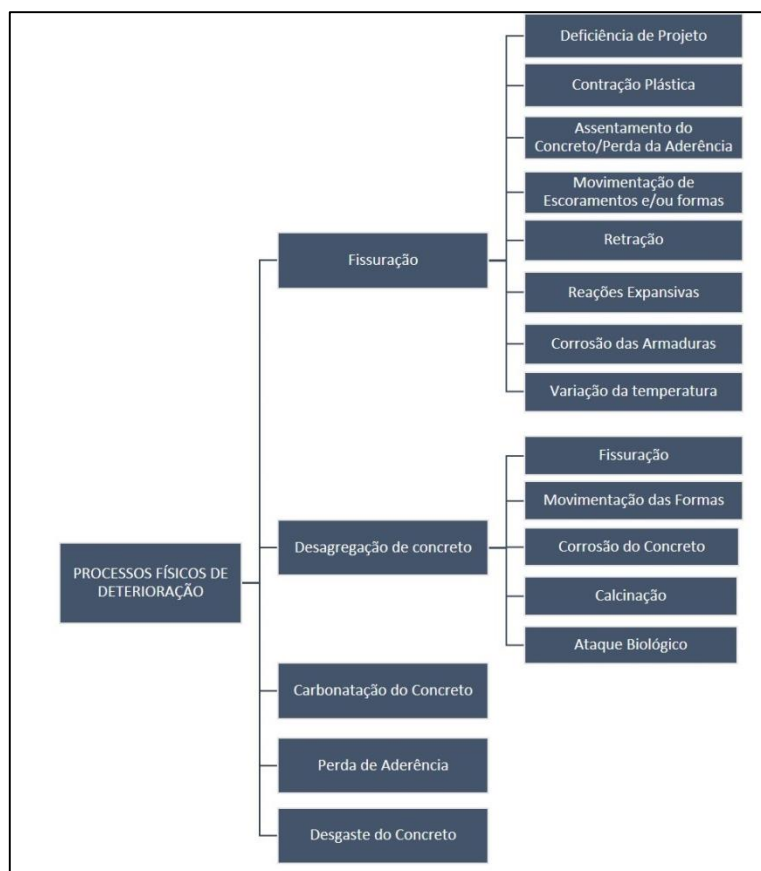
Figura 7 – Causas extrínsecas aos processos de deterioração das estruturas de concreto



Fonte: Adaptado de Souza e Ripper (1998, p.41)

Como resultado dos efeitos causados pelos agentes intrínsecos e extrínsecos surge os processos físicos de deterioração do concreto. Na Figura 8 estão citados alguns dos processos físicos, que serão abordados nos próximos itens.

Figura 8 – Processos físicos de deterioração das estruturas de concreto.



Fonte: Adaptado de Souza e Ripper (1998, p. 56)

2.3.1. Fissuração

Para um leigo na construção civil, a aparição de fissuras pode ser considerada como um defeito, causando desconforto visual ao usuário da edificação. Mesmo podendo sua estética prejudicar, na maioria das vezes as fissuras são consequências da movimentação da construção, sendo comuns principalmente em obras feitas em concreto armado.

De acordo com a NBR 15575-2 (ABNT, 2013) fissuras são seccionamentos na superfície ou em toda a seção transversal da estrutura, que foram provocadas por tensões normais ou tangenciais. São classificadas como ativas (surge da variação da abertura em função das movimentações higrotérmicas) ou passivas (abertura constante). Fissuras também são conhecidas como trincas, mas são chamadas assim quando a abertura é maior ou igual a 0,6mm.

Já a NBR 6118 (ABNT, 2014) limita a abertura máxima de fissuras para valores de 0,2mm a 0,4mm para combinação frequente. O Quadro 1 mostra as aberturas de fissuras máximas conforme a classe de agressividade ambiental do local da obra.

Quadro 1 – Limite máximo de abertura de fissura conforme a classe de agressividade do ambiente

Tipo de concreto estrutural	Classe de agressividade ambiental(CAA)	Exigências relativas à fissuração	Combinação de ações em serviço a utilizar
Concreto simples	CAA I a CAA IV	Não há	--
Concreto armado	CAA I	ELS-W $W_k \leq 0,4\text{mm}$	Combinação frequente
	CAA II e CAA III	ELS-W $W_k \leq 0,3\text{mm}$	
	CAA IV	ELS-W $W_k \leq 0,2\text{mm}$	

Fonte: Adaptado de NBR 6118 (2014, p. 80)


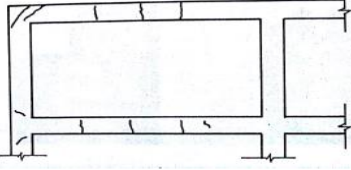
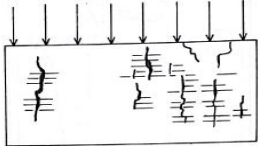
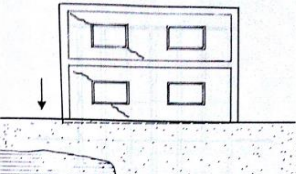
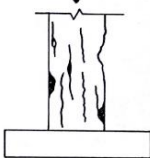
Lapa (2008) destaca que as fissuras podem aparecer em cada uma das três fases da vida da estrutura:

- a) fase plástica: surgem em virtude da retração plástica e do assentamento plástico do concreto;
- b) fase de endurecimento: surge em virtude de restrições à precoce movimentação térmica, ao assentamento diferencial dos apoios e a retração causada pelo endurecimento;
- c) fase de concreto endurecido: surge a partir do sub-dimensionamento, detalhamento inadequado, cargas excessivas, ataque de sulfatos ao cimento, carbonatação e reação álcali-agregado.

Thomaz (2002) explica que as trincas muitas vezes surgem de projetos incompatíveis (fundação, arquitetônico e estrutural) ou mal detalhados, pela interferência das instalações da edificação, pelas falhas no planejamento e na execução, pela falta de mão de obra especializada e deficiência de fiscalização, pela imposição de prazos e preços e por improvisações feitas em obra.

O referido autor também subdivide as fissuras conforme suas causas e, a partir disso, foi montado o Quadro 2.

Quadro 2 – Tipos de Fissuras

Causa da Fissura	Ocorrência em função de:	Exemplo
Movimentação térmica	<ul style="list-style-type: none"> - juntas de materiais com diferentes coeficientes de dilatação térmica; - exposição de elementos a diferentes solicitações térmicas naturais; - gradiente de temperaturas ao longo de um mesmo componente. 	 <p>PAREDE 2</p>
Movimentação Higroscópica	<ul style="list-style-type: none"> - alto teor de umidade causa expansão do material; - baixo teor de umidade causa retração. 	
Atuação de Sobrecarga	<ul style="list-style-type: none"> - sobrecarga superior à prevista em projeto 	
Recalques de Fundação	<ul style="list-style-type: none"> - tipo e estado do solo; - disposição do lençol freático; - intensidade da carga, tipo da fundação; - interferência de fundações vizinhas. 	
Alteração química dos materiais	<ul style="list-style-type: none"> - hidratação retardada de cales; - ataque por sulfatos; - corrosão de armaduras; 	




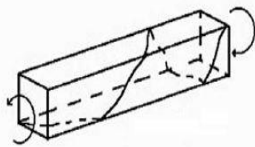

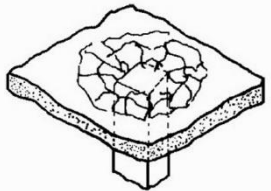
Fonte: Adaptado de Thomaz (2002)

Esse tipo de manifestação patológica pode ter vários causadores, alguns deles são citados nos itens abaixo.

2.3.1.1 Deficiência de projeto

São as falhas que acontecem ainda na fase de projeto, geralmente causadas por falhas humanas, sendo por uma modelação ineficiente e, principalmente, por uma má avaliação de cargas. Ambrosio (2004) apresenta as configurações típicas de fissuras em estruturas de concreto armado, mostradas a seguir no Quadro 3.

Quadro 3 – Resumo das configurações típicas de fissuras

Tipos de fissuras	Peças mais sujeitas	Configuração típica	EXEMPLO
Recalque Diferencial da Fundação	Paredes e Vigas	<ul style="list-style-type: none"> - Inclinação, se afastando da região que menos recalçou; - Abertura variável. 	
Cisalhamento	Qualquer elemento	<ul style="list-style-type: none"> - Mais inclinada junto ao apoio, verticalizando-se em direção ao meio do vão; - Abertura variável, desaparecendo ao atingir a região comprimida da peça. 	
Flexão	Qualquer elemento	<ul style="list-style-type: none"> - Mais concentrada junto às regiões de máximo momento fletor; - abertura variável, desaparecem ao atingirem a região comprimida 	
	Lajes, junto aos cantos	<ul style="list-style-type: none"> - Diagonal, formando um triângulo, aproximadamente isósceles com os cantos. 	
Torção	Peças lineares, com cargas não coincidentes com seu eixo longitudinal	<ul style="list-style-type: none"> - Em forma de hélice ao longo do eixo longitudinal. 	
Tração	Qualquer elemento tracionado longitudinalmente	<ul style="list-style-type: none"> - Perpendiculares à direção da carga de tração, seccionando a seção transversal; - Mais fechada junto às armaduras. 	
	Peças de suporte	<ul style="list-style-type: none"> - Perpendiculares à direção da reação de apoio das peças apoiadas indiretamente. 	
Punção	Lajes, sapatas, paredes com carga perpendicular a seu plano.	<ul style="list-style-type: none"> - Fissuras em formato de “teias de aranha” visto em planta. 	

Fonte: Adaptado de Ambrósio (2004)

2.3.1.2 Contração plástica do concreto

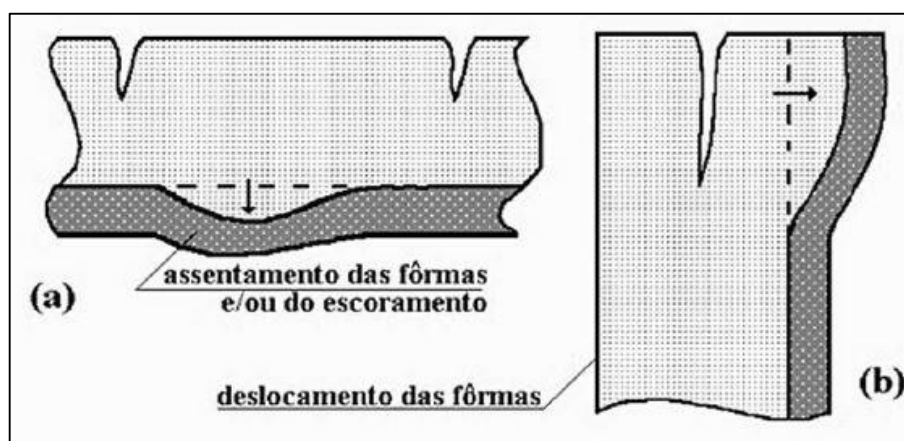
Ocorre ainda antes da pega do concreto, devido a evaporação do excesso da água utilizada na mistura, antes mesmo do início da pega, fazendo com que o concreto retraia de uma maneira irreversível. Esse movimento pode ocorrer dez minutos após o lançamento do concreto na estrutura (SOUZA; RIPPER, 1998).

Ainda segundo os autores, esse processo é mais comum em superfícies extensas como lajes e paredes, formando fissuras geralmente paralelas entre si, que formam ângulos de 45° com os cantos da estrutura. Na maioria das vezes são fissuras superficiais.

2.3.1.4 Movimentação de escoramentos e/ou formas

As formas são aquelas que darão o formato às estruturas de concreto, garante o perfeito prumo, o nível e mantém a geometria dos elementos da estrutura (vigas, pilares, lajes e outros). Esse elemento pode sofrer com deslocamentos que são causados por diversos fatores tais como mau travamento das escoras, volume de concreto grande demais para a forma e que acabam causando rompimento da forma (mais comum em formas de madeira). A Figura 9 apresenta tipos de problemas causados pela movimentação de formas.

Figura 9 – Movimentação de formas



Fonte: Souza e Ripper (1998, p. 63)

Marcelli (2007) descreve que uma forma má executada pode trazer a obra danos difíceis e caros para ser resolvido e que a estrutura nunca ficará perfeita quanto

se fosse bem feita num primeiro momento. O autor cita algumas situações que são mais recorrentes na execução de formas.

- a) Aberturas de formas em vigas: ocorre quando as bordas superiores da forma não estão bem travadas. No caso de vigas altas, o travamento superior nem sempre é suficiente para evitar deformações, para esse caso seria indicado o uso de tirantes intermediários para evitar o “embarrigamento” da peça;
- b) Abertura de formas em pilares: na construção das formas de pilares, deve-se prever uma janela de inspeção e limpeza, e nessa janela é onde se concentra a maior pressão de empuxo do concreto;
- c) Deformação vertical do escoramento: ocorre geralmente quando a base do escoramento fica apoiada em solo compressível, sobre estruturas e lajes deformáveis, ou quando as escoras são executadas sem contraventamento nas duas direções, podendo ocorrer flambagem nas escoras e, com isso, deformação na peça concretada;
- d) Retirada incorreta do escoramento: a retirada das escoras deve ser programada em função do cálculo estrutural, do tipo de cimento e do tipo de cura. Em lajes que foram retiradas as escoras antes do concreto atingir a resistência houve um surgimento de flecha excessiva;
- e) Perda da calda do cimento: deve-se executar formas com certo nível de estanqueidade para impedir que a calda de cimento escoe entre as aberturas durante a vibração do concreto. Caso isso ocorra, haverá a incidência de bicheiras pela perda de água, cimento e areia da mistura, prejudicando a resistência final da peça. Outra patologia que pode ocorrer é a segregação devido à altura de lançamento do concreto.

2.3.1.5 Retração

A retração é uma manifestação natural do concreto, que ocorre devido o concreto perder sua água de amassamento e com isso diminui seu volume. Souza e Ripper (1998) descrevem que as fissuras vão ocorrer por causa dos obstáculos internos (armaduras) e externos (vinculação a outras peças estruturais).

O processo de perda da água de amassamento gera tensão internamente, provocando a retração que resulta em esforços de tração no concreto que, por sua vez, não resiste e acaba formando fissuras em forma de “mapeamento” sem uma direção definida (MARCELLI, 2007). A Figura 10 mostra como fica uma estrutura após a retração do concreto.

Figura 10 – Retração do concreto



Fonte: TCP Engenharia Civil (não datado)

Esse tipo de retração por perda de água de amassamento pode ser conhecida como retração plástica (que ocorre com o concreto no estado fresco) ou por secagem (ou hidráulica, que seria da mesma maneira que a plástica, mas o concreto está no estado endurecido). Além dos dois tipos citados, existem outros fenômenos no concreto que também provocam outros tipos de retração (AMARAL, 2011), que são:

- a) Retração autógena (química): a redução de volume inicia-se junto com a hidratação. Pode ser desconsiderada em concretos de baixo a moderada resistência à compressão e deve ser considerada em concretos de alta resistência (com consumo de água/cimento menor que 0,40);
- b) Retração por carbonatação: diminuição do volume pela reação do hidróxido de cálcio $[Ca(OH)_2]$, presente na matriz do cimento, com o dióxido de carbono (CO_2) da atmosfera;

- c) Retração térmica: é provocada pelo calor liberado na reação de hidratação, o calor liberado expande o concreto e ao se resfriar, ocorre a redução de volume. Deve ser considerada em elementos com elevada espessura, pois há grande aumento de temperatura e menor dissipação de calor.

2.3.1.6 Reação expansiva

A mais conhecida reação expansiva no concreto é a reação álcali-agregado (RAA).

A reação álcali-agregado (RAA) pode ser definida como um termo geral utilizado para descrever a reação química que ocorre internamente em uma estrutura de concreto, envolvendo os hidróxidos alcalinos provenientes principalmente do cimento e alguns minerais reativos presentes no agregado utilizado (HASPARYK; 2005, p. 35).

Essa reação provoca, já no início, a fissuração da superfície do concreto, dando um aspecto de “mosaico” na peça. Após isso, vem a desagregar a estrutura, criando crateras profundas com aspecto cônico por onde escorre um gel de sílica. Essa reação se desenvolve lentamente, podendo levar anos para surgir (SOUZA; RIPPER, 1998).

Souza e Ripper (1998) enfatizam que o concreto depois de fissurado (interna e externamente) e deteriorado poderá perder sua durabilidade rapidamente, dependendo do ambiente em que se encontra a estrutura, da exposição a esse ambiente, da ação de águas agressivas (que penetram na estrutura pelas fissuras) e o contato das armaduras com o ar.

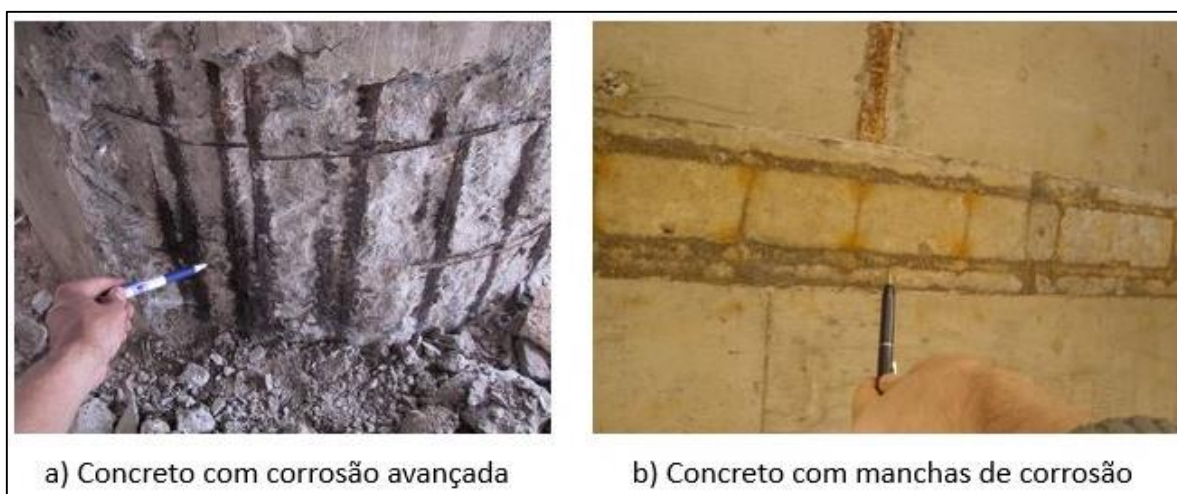
Ademais, é importante destacar que a reação álcali-agregado é favorecida pelo maior grau de umidade do ambiente, pelo elevado fator água/cimento e pelas altas temperaturas (SOUZA; RIPPER; 1998).

2.3.1.7 Corrosão das armaduras

O aço contido dentro do concreto está protegido por uma camada passivadora, formada e mantida por causa do elevado pH encontrado na massa de concreto (SANTOS, 2015). Devido ao meio aquoso alcalino na qual o aço se encontra, forma-se uma película passiva que nada mais é que o resultado da reação da água de amassamento e os sais minerais que compõem o concreto. Quando o nível de pH estiver igual ou superior a 9, estará garantida a formação da película pelo contato da ferrugem superficial das barras com a água (SOUZA; RIPPER, 1998).

A corrosão então será a destruição dessa película passiva, ocorrendo, assim, a despassivação da película que envolve a armadura. O mecanismo de corrosão do aço é eletroquímico, geralmente causado na presença de água ou de um ambiente úmido. Na Figura 11 estão ilustrados os problemas devido à corrosão na estrutura.

Figura 11 – Corrosão em estruturas de concreto armado



Fonte: Revista AECweb [1] (não datado)

Segundo Helene (1986), a corrosão forma óxido/hidróxidos de ferro, um produto avermelhado, pulverulento e poroso chamado de ferrugem. Para a formação de ferrugem, algumas condições são necessárias, quais sejam:

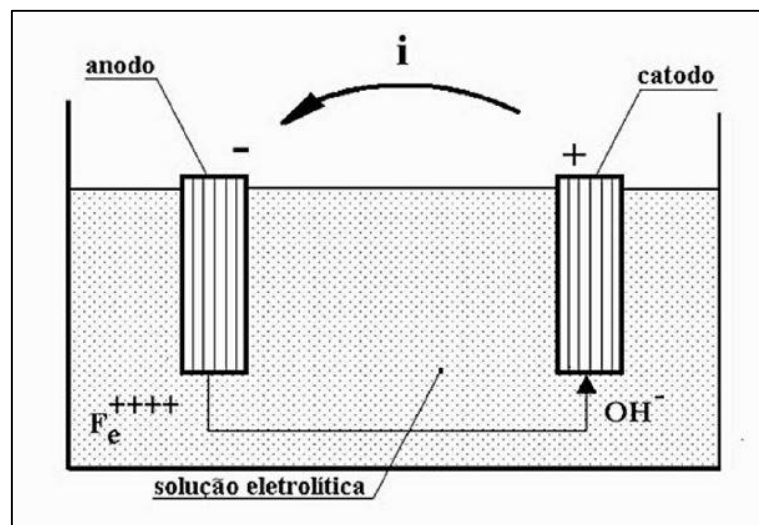
- a) deve existir um eletrólito;
- b) deve existir uma diferença de potência;
- c) deve existir oxigênio;

d) pode existir agentes agressivos no ambiente.

O eletrólito seria a solução aquosa presente no concreto, onde será gerado um potencial elétrico. Esse potencial elétrico é gerado quando se submerge o aço na solução aquosa, transformando parte dos átomos de ferro em cátions de ferro (Fe^{++}), de carga positiva, e deixando a armadura com a carga negativa, criando assim uma diferença de potência (HELENE, 1986).

Essa diferença de potencial causa o chamado “efeito de pilha”, que segundo Souza e Ripper (1998, p. 67) “instala-se pela geração de uma corrente elétrica dirigida do anodo para o catodo, através da água, e do catodo para o anodo, através da diferença de potencial”. Na Figura 12 mostra-se como o efeito de pilha funciona no concreto armado.

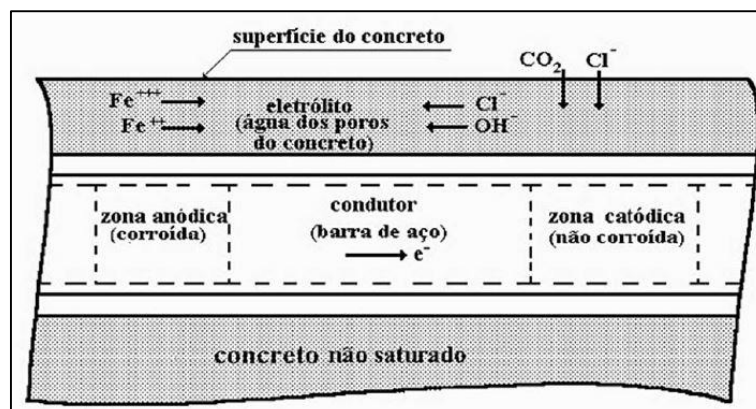
Figura 12 - Formação do “efeito de pilha” no concreto armado



Fonte: Souza e Ripper (1998, p. 67)

Esse efeito de pilha forma então uma célula de corrosão, onde as regiões de menor concentração de O_2 são as anódicas (zona já corroída). E então a ferrugem surge da combinação do cátion Fe^{++} com o OH^- , como mostrado na Figura 13.

Figura 13 – Célula de corrosão no concreto armado



Fonte: Souza e Ripper (1998, p. 67)

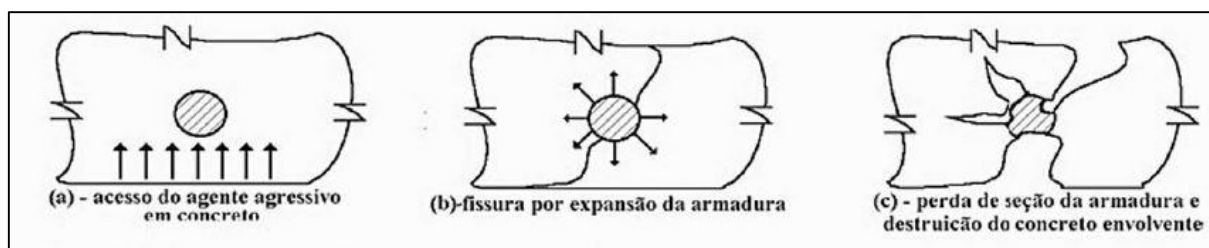
Além disso, podem-se ter agentes agressivos no ambiente (como gás sulfídrico, dióxido de carbono, óxido de enxofre, cloretos, entre outros) que também colaboram com a degradação da armadura por corrosão, pois se sabe que o concreto é um elemento poroso e que qualquer substância ácida (fluidos e sólidos) pode penetrar os seus vazios e contribuir com a despassivação da película (MARCELLI, 2007).

Como o processo de corrosão ocorre da parte externa para a parte interna, deve-se tomar alguns cuidados, como o estudo do revestimento correto de cada elemento dependendo do tipo de obra, o tipo de concreto e materiais utilizados e o ambiente na qual essa estrutura se encontra.

Quando uns dos cuidados citados não são levados em consideração, a estrutura estará sujeita a possíveis danos. Marcelli (2007) cita que o primeiro dano que aparecerá na estrutura será o surgimento de trincas e manchas marrom-avermelhadas, estas serão causadas pela formação de oxi-hidróxidos de ferro, aumentando o volume e acabam causando pressões no interior da estrutura e acaba ocorrendo assim a fissuração do concreto.

Com o auxílio dessas fissuras, ocorrerá lascamentos na estrutura, o que favorece a penetração de agentes agressivos presentes no ambiente, acelerando ainda mais a corrosão das armaduras. Na Figura 14 demonstra-se como se dá o processo de corrosão causado pela entrada de agentes agressivos no concreto.

Figura 14 – Fase da instalação do processo de corrosão das armaduras



Fonte: Souza e Ripper (1998, p. 68)

2.3.1.8 Variação de temperatura

A variação de temperatura provoca uma alteração nas dimensões da estrutura assim como acontece na variação de umidade. Essa alternância de temperatura cria diferentes estados de tensões numa mesma estrutura.

Thomaz (2002) expõe que as variações de temperatura repercutem nas variações dos materiais, causando dilatação ou contração, e esses movimentos serão restringidos pelos diversos vínculos que compõem a estrutura. Essas restrições causarão tensões que virão a provocar o aparecimento de fissuras.

As movimentações térmicas estão ligadas às propriedades do material, não são dependentes da perda ou absorção higroscópica do concreto. Está mais relacionada ao coeficiente de dilatação térmica do concreto (na ordem de $1,0 \times 10^{-5} \text{ m/m}^\circ\text{C}$) e da intensidade da variação da temperatura (MARCELLI, 2007).

Nesse contexto, Marcelli (2007) lembra que cada material possui seu próprio coeficiente de dilatação térmica, e quando se trabalha com diferentes materiais e elementos, se está criando uma situação de tensão na junção dos mesmos, já que eles tendem a deformar de maneira diferente. Para que esse tipo de trinca não ocorra, o engenheiro deve levar em conta que a construção usará materiais diferentes e já prever na concepção do projeto esse tipo de problema.

Essa movimentação térmica causada pela junção de materiais com diferentes coeficientes de dilatação é também conhecida como movimentação diferenciada. Além da comentada anteriormente, as movimentações diferenciadas ocorrem entre componentes de um elemento, entre elementos de um sistema e entre regiões distintas de um mesmo material, e Thomaz (2002) classifica como principais em função de:

- exposição de elementos a diferentes solicitações térmicas naturais (coberturas em relação a parede da edificação);
- gradiente de temperatura ao longo de um mesmo elemento (gradiente de uma face externa e face interna de uma laje de cobertura).

2.3.2 Desagregação do concreto

Esse tipo de patologia é muito recorrente em estruturas de concreto armado, podendo ser causado por diversos fatores. A desagregação do concreto, como explicam Souza e Ripper (1998), nada mais é do que a separação de placas ou fatias do concreto, e muitas vezes é a perda de entrosamento entre os agregados e da função aglomerante do cimento.

Como consequência disso, o concreto perde sua coesão, reduzindo assim a sua resistência mecânica. A desagregação do concreto tem vários causadores, sendo os principais: fissuração, movimentações de formas, corrosão do concreto, calcinação e ataques biológicos.

2.3.2.3 Calcinação

Segundo Valente (2014) a calcinação é a mudança do calcário (CaCO_3) presente na composição química do concreto em óxido de cálcio (CaO), causada pela ação do fogo na estrutura. Com isso, ocorre a perda de resistência do elemento e mudança de cor da estrutura (essa sendo permanente).

Souza e Ripper (1998) ressaltam que o concreto geralmente desagrega a partir dos 600°C , por ocorrência da expansão dos agregados, causando tensões internas que irão fraturar o concreto. Com o concreto fraturado, a armadura fica suscetível a agentes agressores do ambiente e exposta às chamas do fogo.

2.3.2.4 Ataque biológico

Um dos principais causadores de anomalias biológicas no concreto é o crescimento de vegetação na estrutura, causadas pela penetração das raízes através de falhas no concreto, fissuras ou nas juntas de dilatação.

Pode-se citar também como um dos principais ataques biológicos no concreto a proliferação de fungos (bolor), em geral, motivado pela umidade que infiltra na

estrutura de concreto (BORGES, 2008). Segundo Shirakawa et al. (1995), intitula-se como bolor o crescimento da colonização de fungos num substrato, causando manchas que se caracterizam por apresentar cores escuras (preto, verde ou marrom), e em alguns casos, cores claras (esbranquiçadas ou amarelas).

Shirakawa et al. (1995) também cita algumas causas extrínsecas ao material, esses acabam causando o aumento do teor de água que ajuda no desenvolvimento dos fungos:

- umidade ascendente por capilaridade;
- umidade de infiltração por fachadas e telhados;
- umidade acidental (vazamento de água);
- umidade relativa do ar em torno de 80% ou superior;
- umidade de condensação de vapores em ambientes fechados.

Outro causador seria o surgimento de organismos (como conchas) e de microrganismos. Souza e Ripper (1998) chamam a atenção quando a estrutura apresenta a presença de conchas, pois os crustáceos acumulam água em seu interior, modificando com isso a massa da estrutura, não modificando a rigidez da mesma, mas essa acumulação de água modifica a frequência natural da estrutura, alterando então o seu comportamento dinâmico.

Outros agentes biológicos que causam grandes danos a estrutura são formigas e cupins. Num primeiro momento eles atacam esquadrias, janelas e portas, após isso se instalam em paredes e lajes (nos conduítes de eletricidade), destroem os tijolos para a construção dos cupinzeiros. Nesse caso, para estruturas de alvenaria estrutural e pré-moldados, diminuem a resistência da estrutura e surgem trincas (SOUZA; RIPPER, 1998).

2.3.3 Carbonatação do concreto

A concentração de gás carbônico, gerado por indústrias e pela queima de combustíveis fósseis, é muito elevada na atmosfera. Esse gás carbônico (CO₂) tem vários efeitos negativos, além de ser prejudicial à saúde do ser humano e do meio ambiente, esse gás também é altamente prejudicial as estruturas de concreto armado.

Barin (2008) explica que o gás carbônico presente na atmosfera terrestre, quando entra em contato com a umidade do ar, formará o ácido carbônico (H_2CO_3) e este ácido será o responsável pela fenômeno da carbonatação.

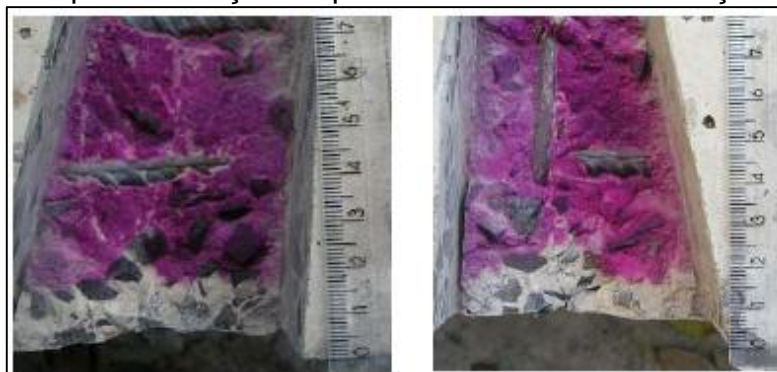
O gás carbônico do ambiente entrará na estrutura por meio de difusão pelos poros úmidos do concreto, e acaba criando uma reação com o hidróxido de cálcio contido na pasta de cimento, formando o carbonato de cálcio ($CaCO_3$). Com a formação do carbonato de cálcio, o pH do concreto baixa, com valores de 12,5 a 14 (BARIN, 2008).

Souza e Ripper (1998) explicam que quando o pH do concreto chega a valores menores que 9, ocorre então a carbonatação, e quanto maior a concentração de CO_2 , menor será o pH do concreto e, com isso, maior será a camada de concreto carbonatada.

Em outra perspectiva, os mesmos autores citam que se a carbonatação, se ficasse apenas restrita a uma camada de espessura inferior ao cobrimento das armaduras, ela seria até benéfica para a estrutura, pois ela aumentaria a resistências químicas e mecânicas dessa estrutura (SOUZA; RIPPER, 1998).

Mas como essa hipótese na prática é muito difícil de ocorrer, Souza e Ripper (1998, pg. 75) citam que “em função de concentração de CO_2 na atmosfera e da porosidade e nível de fissuração do concreto, a carbonatação pode atingir a armadura, quebrando o filme óxido que a protege, corroendo-a”. A Figura 15 mostra o ensaio realizado com fenolftaleína para a avaliação da profundidade da carbonatação do concreto armado.

Figura 15 – Ensaio para avaliação da profundidade de carbonatação



Fonte: Cimento Itambé (não datado)

2.3.4 Lixiviação e eflorescência

A lixiviação é um processo de dissolução e de transporte de cal hidratada (hidróxido de cálcio) que existe na massa de cimento Portland endurecido. É causada pelo ataque de águas puras ou com impurezas, e águas ácidas. A lixiviação é nociva as estruturas de concreto, pois o hidróxido de cálcio é um cristal, e esse sólido, quando removido, abre caminho para a entrada de fluidos agressivos às armaduras e ao concreto, penetração de água e oxigênio que causam a corrosão do aço (REVISTA TÉCNICA, 2009).

A eflorescência nada mais é que uma ocorrência do processo de lixiviação no concreto. A eflorescência é a formação de depósitos de sais (hidróxido de cálcio) na superfície da edificação, e segundo Store (não datado) esse tipo de anomalia ocorrerá quando três fatores agirem em conjunto: teor de sais solúveis, a presença de água e pressão hidrostática própria para a migração das soluções para a superfície.

A água, sendo o principal causador dessa patologia, vai percolando através de fissuras ou pelos poros do concreto. Essa água que infiltrou dissolve o hidróxido de cálcio existente no cimento, causando então o carreamento do hidróxido até a superfície, a água evapora e resulta na formação de depósitos de sais no exterior do concreto (MARTINS, 2016). A Figura 16 mostra os depósitos de sais presentes na edificação.

Figura 16 – Eflorescência no concreto



Fonte: Store (não datado)

2.4 Noções básicas de termografia

Estabelecidas as premissas básicas sobre as manifestações patológicas em estruturas de concreto armado, pode-se dizer que seus causadores são variados, passando por processos intrínsecos e extrínsecos, e desses processos resultam no processo físico de deterioração. Muitas das anomalias são causadas pelo mesmo agente ou processo degradante, fazendo com que o diagnóstico seja dificultado.

Como visto anteriormente no esquema mostrado na Figura 5, alguns passos devem ser tomados antes de se chegar a um diagnóstico definitivo para uma anomalia na construção. Cortizo (2007, p. 29) enfatiza que “o diagnóstico não é uma atividade somente técnica, mas também uma atividade de observação”.

Algumas patologias são parecidas, inicialmente, mas com o passar do tempo podem apresentar diferenças importantes. E são essas semelhanças que dificultam ainda mais os diagnósticos. É importante ressaltar que diagnósticos errados podem ser tão prejudiciais quanto às manifestações apresentadas na estrutura, pois intervenções erradas ou desnecessárias, que ao invés de melhorar a estrutura, causaram maiores problemas.

Quando uma manifestação patológica pode ser visualizada na superfície de uma estrutura, isso poderá ser um indicativo de uma ou mais falhas em uma ou mais fases da obra (projeto, execução ou uso). Para que se comprove que há uma anomalia na estrutura, alguns ensaios são realizados para certificar se existe ou não um problema na edificação. Há uma gama de ensaios, destrutivos e não destrutivos, que são usados para se descobrir com qual patologia se está lidando.

Os ensaios destrutivos, mesmo possuindo uma maior confiabilidade em relação aos ensaios não destrutíveis, podem acabar prejudicando ainda mais uma estrutura que contenha alguma anomalia. Já no caso dos ensaios não destrutivos, como não causam danos a estruturas, é preferível na avaliação de patologias, principalmente para a descoberta de anomalias ocultas na edificação.

Dentre os ensaios não destrutivos, a termografia infravermelha é um dos instrumentos de análises patológicas dentre os existentes, que ainda é pouco utilizado por ter poucos estudos ou por sua dificuldade de aplicação. Esse ensaio não destrutivo tem sido utilizado na construção civil para a detecção de vazamentos, inspeções

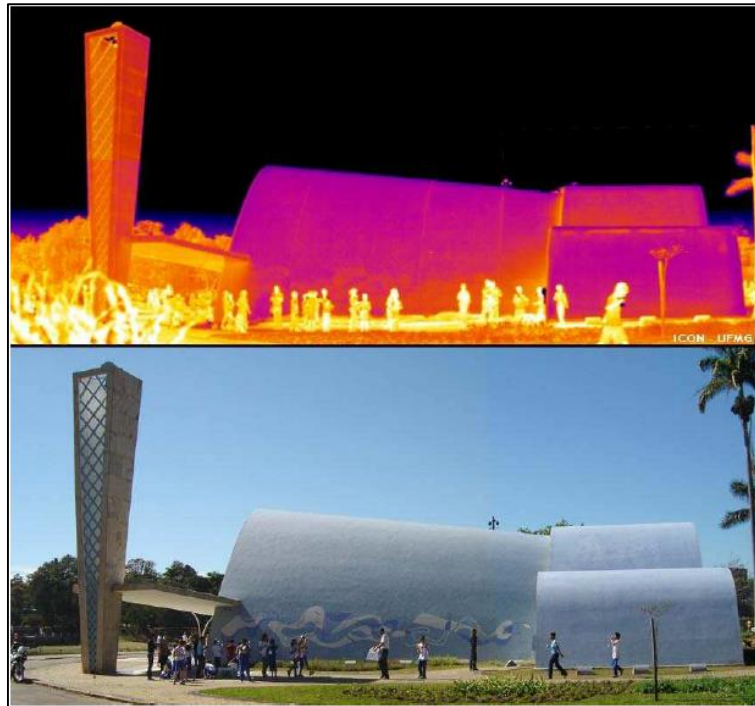
térmicas no entorno de novas obras e testes térmicos para a preservação do patrimônio histórico (CORTIZO, 2007).

Silva Junior, Sales e Pedra (2011, p. 5) descrevem a técnica da termografia infravermelha da seguinte maneira:

A termografia infravermelha é uma técnica de inspeção não destrutiva e não invasiva do campo da temperatura de uma superfície, através da imagem gerada pela radiação térmica no infravermelho emitido pela superfície de todos os tipos de materiais. O processo de captação da imagem termográfica é feita por meio de equipamentos dotados de detectores sensíveis ao infravermelho que captam a radiação térmica e a convertem em sinais elétricos. Estes sinais são transformados em imagens térmicas ou termogramas.

Os termogramas exibem as diferentes variações de temperatura na edificação, mostrando em diferentes gradientes de cores, como mostrado na Figura 17. Mas, como explica Bauer, Pavón e Hildenberg (2016), as análises ficam restritas a esses termogramas, onde só mostra a variação da temperatura, mas para a realização de uma identificação patológica mais precisa, deve-se conhecer os parâmetros que podem influenciar os valores de temperatura do termograma e pode-se determinar de forma quantitativa o efeito que irá produzir as variações dos mesmos.

Figura 17 – Imagem termográfica



Fonte: Cortizo (2007, p. 35)

Mendonça (2005) listou as vantagens do uso da técnica de termografia infravermelha, que são:

- não há destruição da estrutura durante o ensaio;
- redução do tempo de realização de trabalho;
- não há emissão de qualquer tipo de radiação;
- é uma técnica de teste de áreas, diferente de outros ensaios que só se pode ensaiar pontos localizados ou linhas.

O mesmo autor também aponta as limitações desse tipo de ensaio, listados a seguir:

- a profundidade e a espessura da anomalia que foram detectadas não podem ser determinadas;
- requer experiência para a análise dos resultados.

2.4.1 Transferência de calor

Para se entender como funciona a termografia, alguns conceitos de física devem ser abordados. Tais conceitos estão ligados à transferência de calor, e existem três mecanismos para a transferência de calor que são: condução, convecção e radiação.

- **condução:** A energia é transmitida de uma região com alta temperatura para uma região de temperatura menor dentro de um meio (SANTOS, 2006). Halliday, Resnick e Walker (2006) explicam que as partículas presentes na região com temperatura alta vibram intensamente, e essas vibrações e a energia associada a elas são transferidas por um meio (sólido, líquido ou gasoso) até a região de temperatura baixa através de colisões entre os átomos.
- **convecção:** É o processo da qual a transferência de energia se dá quando um fluido entra em contato com um objeto de temperatura maior que a do fluido. A temperatura do fluido que está em contato com o objeto quente acaba aumentando, fazendo com que o fluido se expanda e ficando menos denso. Ele será mais leve que o fluido que o cerca e a força de empuxo faz com que ele suba (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2006).
- **radiação:** É definida como um processo no qual “o calor é transferido de uma superfície de alta temperatura para uma superfície de temperatura mais baixa quando tais superfícies estão separadas no espaço” (SANTOS, 2006, p. 34).

Santos (2006) também comenta que a radiação é fundamental para que se possa medir a temperatura através da termografia infravermelha, pois ela detecta a radiação infravermelha. Sabe-se que todo e qualquer objeto, com temperatura acima do zero absoluto (0 K ou $-273,6^{\circ}\text{C}$), emite radiação térmica devido a agitação dos átomos e moléculas das quais ele é constituído.

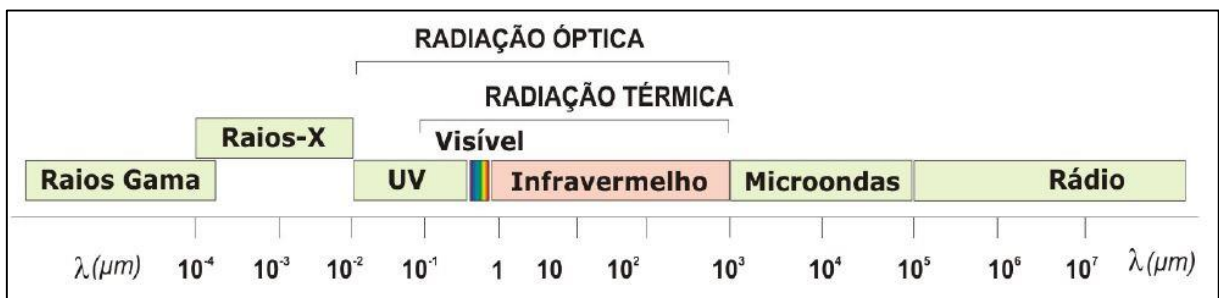
Essa radiação térmica é emitida nas faixas ultravioleta, visível, infravermelho e até na faixa que compreende as micro-ondas, sendo que a maioria é emitida na faixa da radiação infravermelha (SANTOS, 2006).

Oliveira (2013) explica, então, que a termografia infravermelha utiliza essa radiação térmica emitida pela superfície de um objeto (invisível ao olho humano) e

transforma essa radiação infravermelha em imagens com a distribuição das temperaturas.

A radiação infravermelha tem comprimento de onda maior do que os de luz visível a olho nu, e que só serão notados a partir da sua ação calórica. E dentro de um espectro eletromagnético, ela está localizada entre a região de radiação visível e da radiação de micro-ondas, como demonstrado na Figura 18 (SANTOS, 2006).

Figura 18 – Espectro eletromagnético



Fonte: SANTOS (2006, p. 35)

2.4.2 Emissividade

Antes de abordar o tema de emissividade, uma definição deve ser explicada para melhor entendimento do assunto, que seria o conceito de corpo negro. Corpo negro “é um objeto que absorve toda a energia que incide sobre ele, para qualquer comprimento de onda” (BARREIRA, 2004, p. 37).

Barreira (2004, p. 37) explica que existem duas maneiras de se criar um corpo negro: “estabelecendo uma cavidade praticamente fechada ou utilizando um revestimento absorvente perfeito”. Mas o autor fala que os corpos reais, de uma maneira geral, não são corpos negros, apesar deles se comportarem como tal. Após essa pequena introdução do assunto, pode-se ter uma melhor sobre a emissividade.

A emissividade, então, pode ser definida como a eficiência com que uma superfície emite radiação em comparação com um corpo negro sujeito à mesma temperatura e assume valores entre zero (refletor perfeito) e um (emissor perfeito – corpo negro) (SOUSA, 2010). Barreira (2004) fala que a emissividade de um corpo

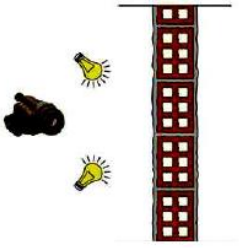
varia com a qualidade da superfície, com o formato do objeto, com o comprimento da onda, com a temperatura e ângulo de observação.

2.4.3 Técnicas de termografia digital

Os ensaios de termografia infravermelho são divididos, basicamente, em em duas técnicas: a temografia ativa e a termografia passiva. A termografia ativa, de acordo com Cortizo (2007), tem como principal característica a aplicação de um estímulo de energia sobre o corpo a ser estudado.

O mesmo autor cita que a energia a ser aplicada na superfície pode ser através de fontes de calor ou de fontes de frio, sendo que as fontes frias são mais utilizadas quando o objeto de estudo se apresenta com uma temperatura maior ou igual a temperatura do meio externo. No Quadro 4 estão expostas algumas das possibilidades dessa técnica.

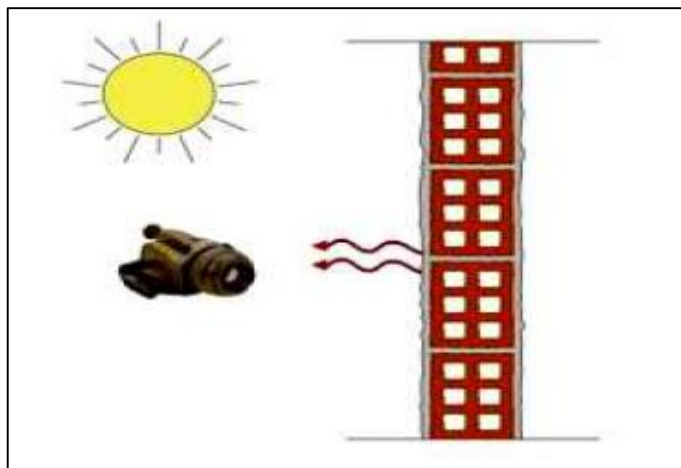
Quadro 4 – Possibilidades da técnica ativa

Posição relativa – câmera e fonte	Posicionamento da fonte
Mesmo sentido da câmera e da fonte	
Sentido oposto da câmera e fonte	

Fonte: Cortizo (2007, p. 42)

Já a termografia passiva é uma técnica que se caracteriza pela falta de ausência de um estímulo de energia superficial, e que o estímulo só ocorre por meio da carga solar ambiental que atua sobre o corpo (CORTIZO, 2007). A Figura 19 demonstra como funciona a técnica de temografia passiva.

Figura 19 – Técnica de termografia passiva



Fonte: Cortizo (2007, p. 41)

A técnica da termografia passiva tem um caráter qualitativo, pois apresenta indicadores das anomalias presentes, já a termografia ativa tem caráter quantitativo, pela possibilidade de medir e controlar os parâmetros como tempo, fonte, intensidade e distância (MENDONÇA, AMARAL, CATARINO, não datado).

2.4.4 Identificação de patologias com uso de termografia infravermelha

Como se trata de uma técnica não destrutiva de identificação para anomalias ocultas, e como explica Barreira (2004), a termografia é considerada uma ferramenta muito útil na inspeção de problemas em uma estrutura, mas sua utilização ainda é pouco difundida na área da construção civil.

Esse tipo de método pode ser aplicado em diversos tipos de estruturas, e como mostra a literatura, e é principalmente usado para avaliação de estruturas tombadas como patrimônio histórico. Essa técnica é amplamente utilizada na Europa para a análise de problemas nesse tipo de obra.

Barreira (2004, p. 77) salienta que:

“A utilização da termografia na construção é ainda muito reduzida, apesar de poder ser aplicada como ferramenta de diagnóstico para, por exemplo, localizar fissuras e outras áreas degradadas em diversas estruturas[...]. Nos edifícios, pode ser utilizada na manutenção e reabilitação, pois permite a identificação de defeitos e a realização de estudos do desempenho térmico de elementos construtivos ou do próprio edifício”

No manual técnico da FLIR [1] (não datado), apresenta alguns tipos de manifestações patológicas que a câmera detecta, como a danos por umidade, fungos, infiltração de ar, deficiência de isolamento.

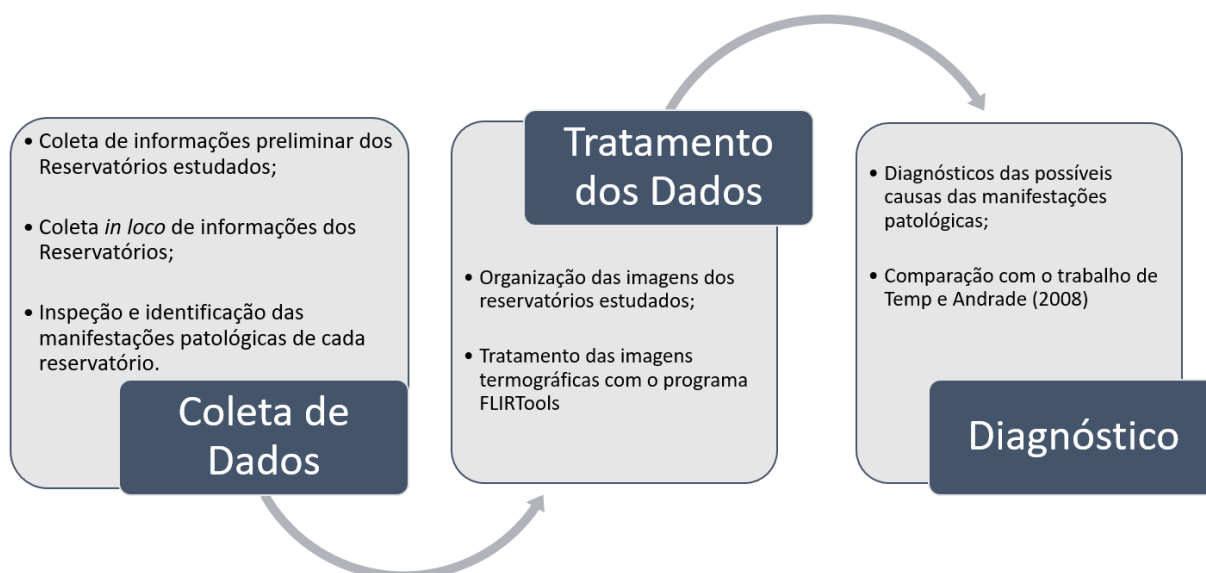
Além disso, também traz informações sobre cada uma das anomalias, como analisá-las e locais onde elas geralmente aparecem, mostrando exemplos práticos e observações sobre eles.

3 METODOLOGIA

Para se avaliar as condições em que se encontram os reservatórios a serem analisados, foram realizadas visitas *in loco* para a identificação visual das manifestações patológicas, bem como serão feitos levantamentos fotográficos. Além do uso de câmera fotográfica usual, foi utilizada a câmera de imagens termográficas, disponibilizada pela Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA).

Esta metodologia será uma adaptação da metodologia utilizada por Antunes (2010), que realizou uma avaliação de fachadas na cidade de Brasília. Segundo o próprio autor, essa metodologia é considerada muito versátil. A sequência utilizada fundamenta-se em três etapas distintas, mostradas na Figura 20.

Figura 20 – Fluxograma de metodologia que será utilizada neste estudo



Fonte: Adaptado de Antunes (2010)

3.1 Coleta de dados

Para esta primeira etapa foi coletada o maior número possível de informações quanto aos reservatórios junto a empresa responsável pela distribuição de água, a CORSAN. Essas primeiras informações ajudaram no conhecimento da estrutura como a idade desta.

Após a coleta de dados junto à empresa, foram feitas visitas aos locais onde se encontram os reservatórios e, a partir daí, pode-se coletar as informações *in loco* da

estrutura. Essa coleta foi realizada através de registro fotográfico, utilizando uma câmera convencional, para registrar as manifestações patológicas visíveis no reservatório.

Também se fez registros de imagens a partir de uma câmera de termografia infravermelha, para a melhor visualização de anomalias que são ocultas ao observador. As imagens coletadas serviram como ferramenta para facilitar na hora de classificar o tipo de patologia decorrente na estrutura.

Coletadas as informações, registros fotográficos, e, também com a ajuda da bibliografia disponível, pode-se fazer a identificação dos problemas patológicos. Nessa fase, os reservatórios foram separados e a análise sendo segmentado para cada caso em particular.

3.2 Tratamentos dos dados

Nesta fase da metodologia, depois de concretizada a coleta de dados dos reservatórios estudados, as imagens foram organizadas de forma a ajudar no diagnóstico final do problema. Separaram-se as imagens por estrutura, por tipo de patologia.

3.3 Diagnóstico

A fase final das análises patológicas contará com os diagnósticos dos problemas encontrados, que segundo Lichtenstein (1986), o diagnóstico tem como objetivo entender os porquês e como acontecem as anomalias, a partir dos dados conhecidos.

A partir da interpretação das imagens obtidas pelos dois métodos utilizados (convencionais e termográficas), foram descritas as possíveis causas e origens das manifestações patológicas de cada um dos reservatórios analisados.

Após isso, será realizada uma analogia entre as manifestações patológicas encontradas nos reservatórios, para demonstrar quais tipos de problemas são mais recorrentes nas estruturas analisadas.

3.4 Descrições do equipamento

A câmera termográfica utilizada para as análises foi da marca FLIR T400. A faixa de temperatura que a câmera trabalha é de -20 a 150 °C, com precisão de $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ou $\pm 2\%$ de leitura. Antes de se extrair as imagens é necessário inserir o valor de emissividade do material (no caso o valor de emissividade do concreto). O Quadro 5 mostra os valores de emissividade para cada tipo de material, no caso deste trabalho foi utilizado o valor de 0,95 para o concreto.

Quadro 5 – Valores de emissividade para o concreto

Material	Especificação	Temperatura (°C)	Emissividade
Concreto	-	20	0,92
Concreto	Seco	36	0,95
Concreto	Áspero	17	0,97
Concreto	Passeio	5	0,974

Fonte: Adaptado de FLIR [2] (2007, pg. 231)

Nessa câmera pode-se escolher a escala de cores das imagens, além de tirar fotografias convencionais sem tratamento ao mesmo tempo em que as termográficas. As imagens foram tratadas no programa FLIR Tools, próprio da câmera termográfica.

3.5 Dados coletados

O município de Alegrete possui um total de dezoito reservatórios sob a responsabilidade da Companhia Riograndense de Saneamento - CORSAN, os mesmos estão distribuídos tanto na parte urbana quanto na parte rural do município. Destes reservatórios, dois estão desativados e um ainda não está operando.

Foram analisados cinco reservatórios do município, os demais são confeccionados de um material que não se enquadra nesta pesquisa, ou não estavam em operação até o término deste trabalho. Para este trabalho, usou-se da técnica de termografia passiva, como comentado no item 2.43 desse trabalho, essa técnica utiliza de estímulo de energia solar.

Na primeira etapa deste trabalho foram coletados os dados, junto a empresa CORSAN, das estruturas que serão estudadas. As informações foram organizadas no Quadro 6, mostrado a seguir.

Quadro 6 – Informações preliminares dos reservatórios a serem estudados

	TIPO	VOLUME (m ³)	LOCALIZAÇÃO	USO	MATERIAL
1	Enterrado	200	ETA	Em uso	Concreto armado
2	Enterrado	1200	ETA	Em uso	Concreto e pedra
3	Semienterrado	2000	ETA	Em uso	Concreto armado
4	Enterrado	30	ETA	Desativado	Concreto armado
5	Elevado	500	ETA	Em uso	Concreto armado
6	Elevado	1200	Bairro Cidade Alta	Não armazena	Concreto armado
7	Elevado	250	Bairro Ibirapuitã	Em uso	Concreto armado
8	Elevado	50	Bairro Capão do Angico	Em uso	Concreto armado
9	Elevado	500	Bairro Nova Brasília	Em uso	Concreto armado
10	Elevado	50	Bairro N. S ^a . da Conceição	Em uso	Metálico
11	Elevado	10	-	Desativado	-
12	Semienterrado	30	Passo Novo	Em uso	Metálico
13	Elevado	30	Passo Novo	Em uso	Metálico
14	Semienterrado	60	Bairro Santos Dumont	Em uso	Concreto Armado
15	Elevado	150	Bairro Santos Dumont	Em uso	Concreto Armado
16	Elevado	30	Balneário Caverá	Em uso	Metálico
17	Elevado	30	Balneário Caverá	Em uso	Metálico
18	Elevado	-	Bairro Centro	Não operando	Concreto armado

Fonte: Adaptado de CORSAN (2017)

Para este trabalho, foram analisados os seguintes reservatórios, e como foram nomeados para melhor entendimento.

- Dois reservatórios localizados na Estação de Tratamento de Água, o semienterrado (3) e o elevado (5);
- O reservatório localizado no Bairro Ibirapuitã (7);
- O reservatório localizado no Bairro Capão do Angico (8);

- O reservatório localizado no Bairro Nova Brasília (9).

Depois de feita a coleta de informações quanto à descrição dos reservatórios junto a CORSAN e o ano da construção das estruturas estudadas (mostradas no Quadro 7), foram feitas as coletas das imagens dos reservatórios com o auxílio da câmera convencional e da câmera termográfica.

Quadro 7 - Idade dos reservatórios analisados

Reservatório	Ano de construção
Reservatório 3	1996
Reservatório 5	1950
Reservatório 7	1965
Reservatório 8	1965
Reservatório 9	1996

Fonte: CORSAN (2017)

Quanto ao histórico de construção e manutenção, métodos construtivos entre outros dados, não foram disponibilizados pela CORSAN para que se pudesse fazer uma melhor análise da estrutura.

As imagens foram capturadas em um dia claro, com poucas nuvens, com temperatura média de 21°C e umidade relativa do ar em torno de 64%. A Figura 22 mostra uma vista geral da estrutura do reservatório R01.

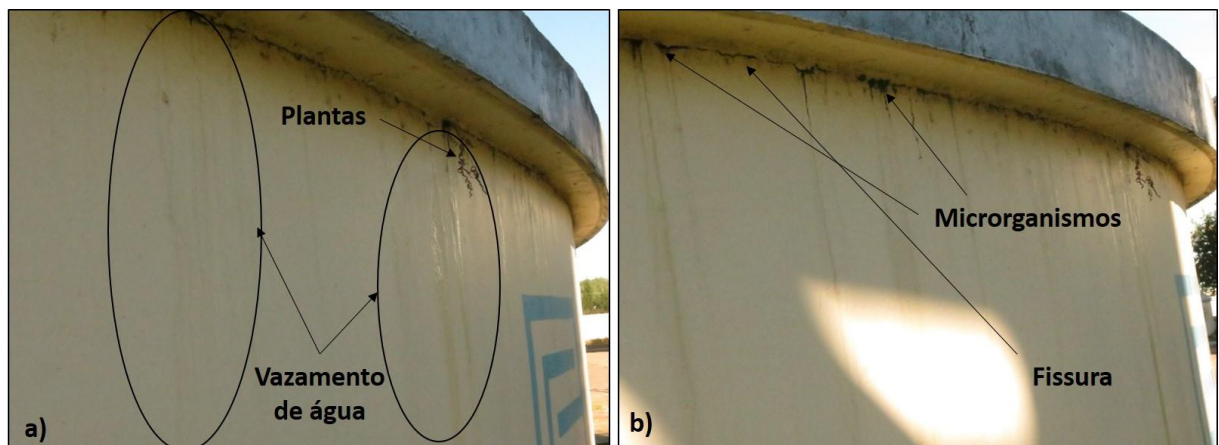
Figura 22 - Reservatório R01



Fonte: Acervo do Autor

Para este trabalho, fez-se uma divisão da estrutura em três faces estudadas, sendo numerados como face oeste, face norte e face sudeste. Como é visto na Figura 22, já pode-se ver que a anomalia mais visível na estrutura são as manchas escuras na tampa da estrutura. Na Figura 23 visualizam-se as imagens executados com a câmera convencional, para a primeira análise visual da face oeste.

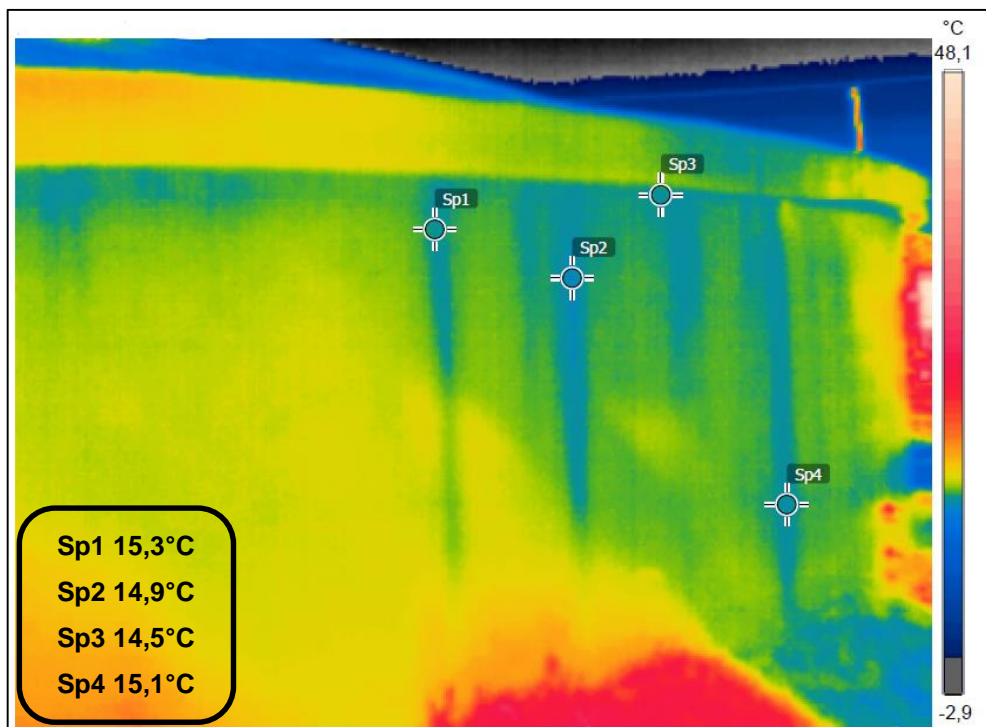
Figura 23 – Manifestações patológicas na face oeste do reservatório R01



Fonte: Acervo do Autor (2017)

Na Figura 23 são mostradas as manifestações patológicas mais evidentes da face oeste do reservatório. É notável a existência de uma fissura logo abaixo do prolongamento da laje (que serve para o fechamento da estrutura, e esta contorna a estrutura). Outra coisa que fica bem evidenciada é que dessa fissura há um vazamento de água, e isso é visto em todo o entorno da estrutura. Na Figura 24 observa-se a imagem termográfica dessa primeira face do reservatório R01.

Figura 24 – Imagem termográfica da face oeste estudada.



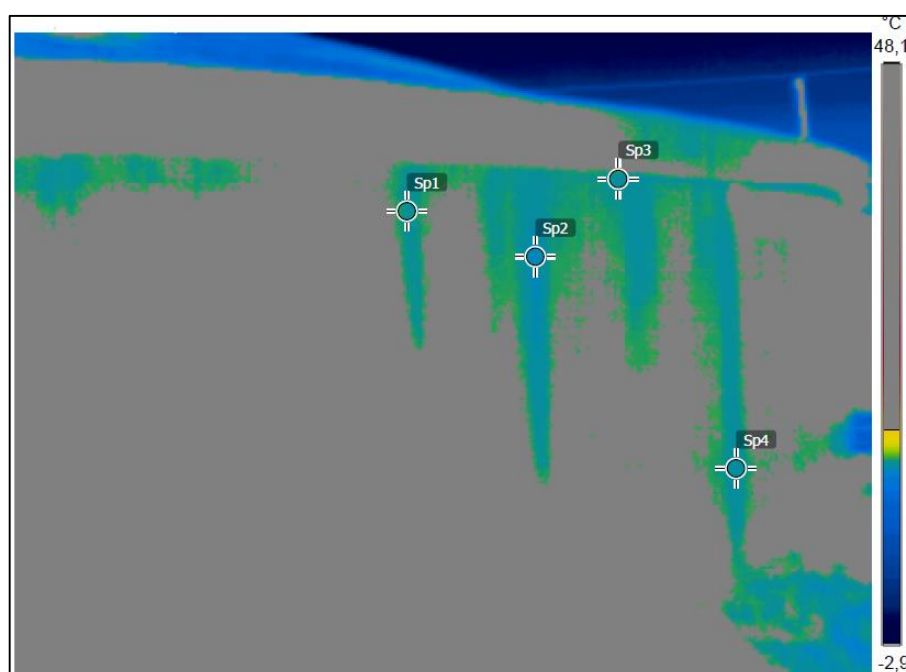
Fonte: Acervo do Autor

A escala de cores, mostrada no canto direito da Figura 24, é um gradiente de cores criada pela própria câmera que associa as cores à temperatura emitida pelo objeto. A escala vai da menor temperatura registrada (cores geladas, na base da escala) às maiores temperaturas (mostradas nas cores quentes, chegando ao branco) que a câmera capturou. E ainda na Figura 24, são marcados alguns pontos, mostrados com nomenclatura de Sp1 a Sp4, que são marcações feitas com o auxílio do programa da própria câmera termográfica, o FLIR Tools.

Essa face do reservatório R01 se encontra numa temperatura próxima aos 18°C. Já os pontos demarcados encontram-se numa temperatura menor, pois são os pontos onde a água que vaza do reservatório escorre pela superfície da estrutura.

Utilizando a mesma imagem e com o auxílio do programa FLIR Tools, muda-se o tratamento da imagem e coloca-se um limite de temperatura de 16°C, onde só aparecerão as temperaturas abaixo desse limite, e pode-se retirar outras informações, que são mostradas na Figura 25.

Figura 25 – Tratamento da imagem termográfica do reservatório R01



Fonte: Acervo do Autor

Quando se limita a temperatura, apenas as menores temperaturas ficam coloridas, e com isso, pode-se visualizar melhor os locais onde se encontram uma maior concentração de umidade, principalmente vistos abaixo da viga. Já na Figura 26, será mostrado outro ângulo do reservatório R01 que está com a face norte, que está voltada para a Rua Euclides Lisboa.

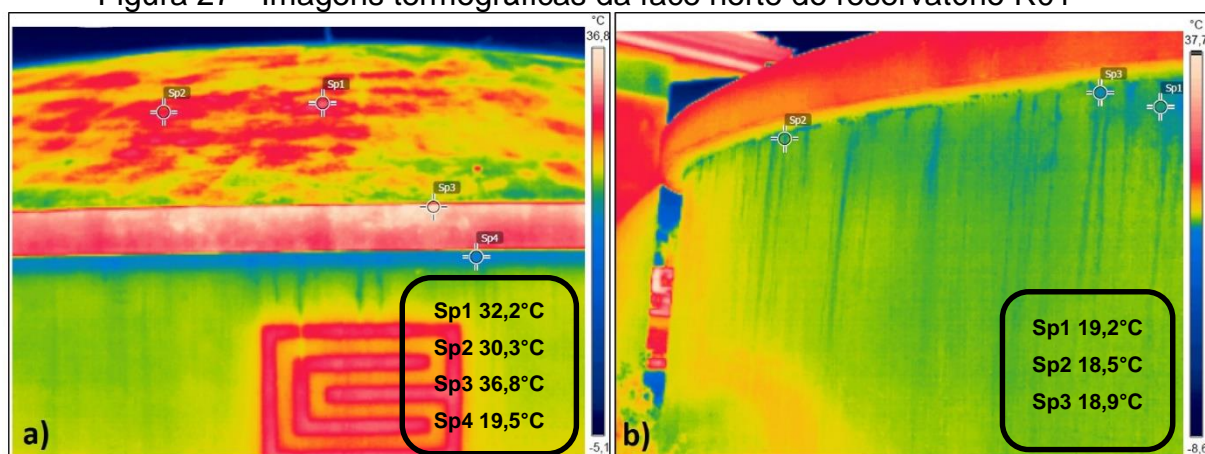
Figura 26 - Manifestações patológicas na face norte do reservatório R01



Fonte: Acervo do Autor

Nessa face, apresentada na Figura 26(a), pode ser observado os mesmos problemas patológicos da face oeste, também problemas de vazamentos ainda estão bem presentes, como mostrada na imagem mais aproximada da Figura 26 (b). Na Figura 27, são mostradas as imagens termográficas dessa face, para uma melhor análise dos problemas encontrados.

Figura 27 - Imagens termográficas da face norte do reservatório R01

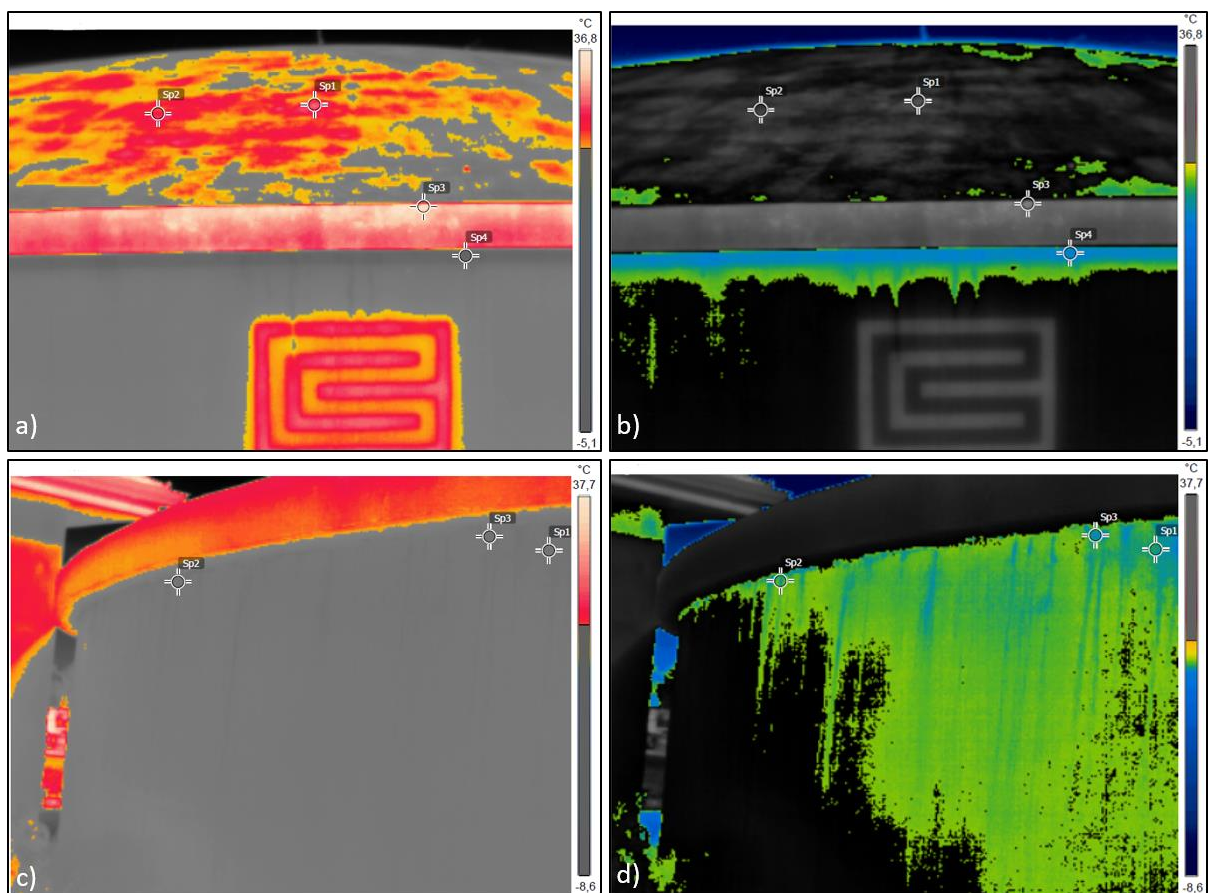


Fonte: Acervo do Autor

Já nas imagens termográficas da face norte (Figura 27), se comparada com a Figura 24, a superfície é muito mais quente (com temperatura na faixa dos 26°C), pois essa face tem incidência direta dos raios solares, já na face anterior, havia sombra do reservatório R02. Na Figura 27(a), é visível que na tampa encontra-se a pontos mais quentes que na câmara de água. Mas o ponto mais quente encontra-se no prolongamento da tampa (Sp3) com temperatura de 36,8°C, é possível que haja alguma anomalia nesse local, e alguns pontos manchados.

E tanto na Figura 27(a) e Figura 27(b), os pontos de menor temperatura (temperatura média de 19°C) são os locais onde a água do reservatório escorre, juntamente com a fissura. Usando um tratamento diferente foram feitas as imagens da Figura 28.

Figura 28 - Tratamento das imagens termográficas



Fonte: Acervo do Autor

Com as imagens da Figura 27, podem-se utilizar dois tipos de tratamento, onde nas Figuras 28(a) e 28(c) limitou-se a temperaturas inferiores a 24°C e 20°C, respectivamente, para a melhor visualização dos locais mais úmidos (com menor temperatura). Na Figura 28(b) e Figura 28(d), limitou-se a temperaturas superiores a 26°C e 22°C, respectivamente, mostrando os locais onde a uma maior concentração de calor. Na Figura 29 é visto outra face estudada (face sudeste) do reservatório R01.

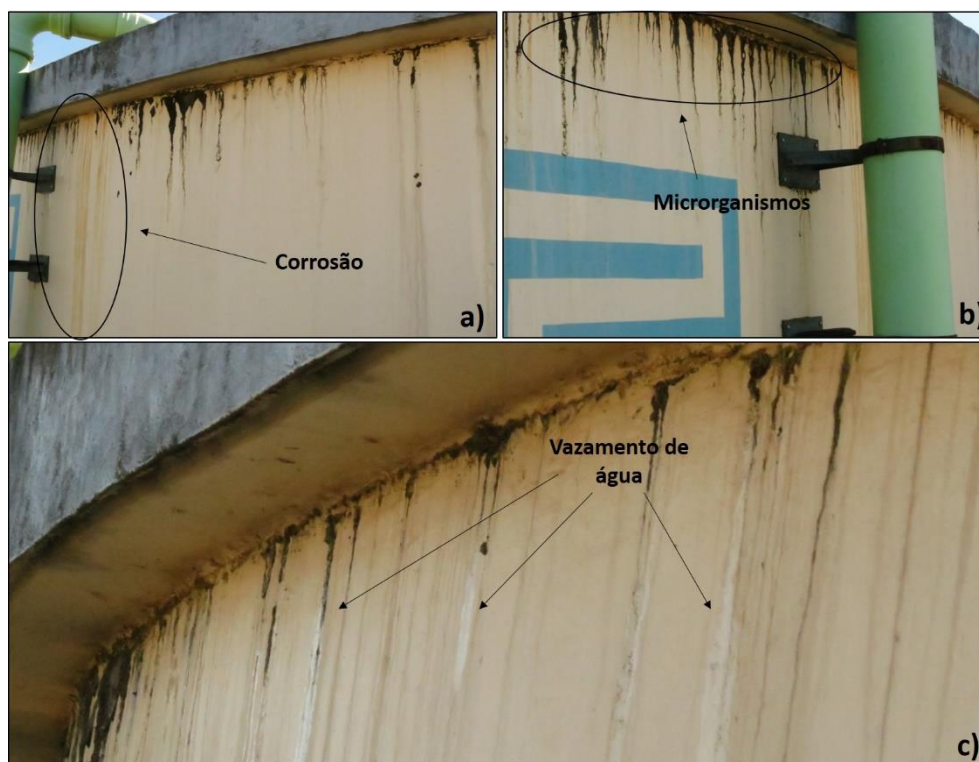
Figura 29 – Face sudeste do reservatório R01



Fonte: Acervo do Autor

Para uma melhor análise, fizeram-se algumas imagens mais aproximadas das manifestações patológicas encontradas nesse lado do reservatório, que são mostradas na Figura 30.

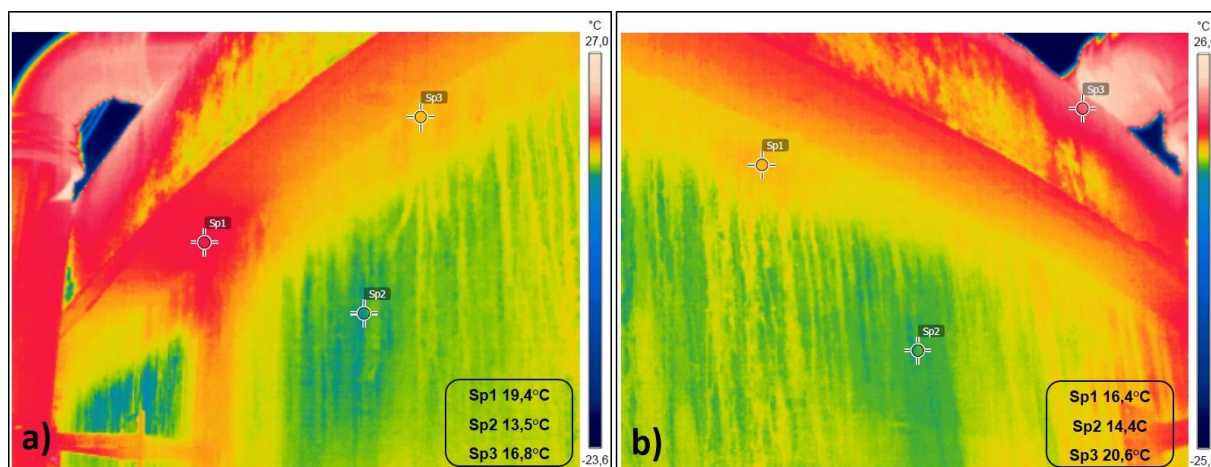
Figura 30 – Manifestações patológicas do reservatório R01



Fonte: Acervo do Autor

Nas imagens acima (Figura 30), notamos basicamente os mesmos tipos de patologias vistos anteriormente, como é o caso da fissura, o diferencial é uma quantidade maior de microrganismos na parte inferior da viga e manchas provenientes da corrosão das armaduras estão mais evidentes. A imagem termográfica dessa face está apresentada na Figura 31.

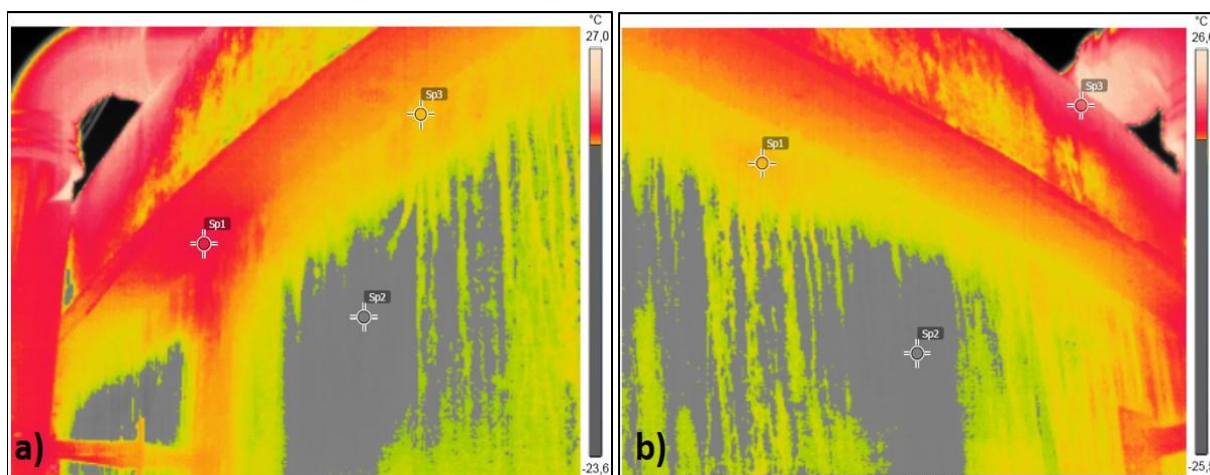
Figura 31 - Imagem termográfica do reservatório R01



Fonte: Acervo do Autor

Se compararmos a Figura 31(a) com a Figura 30(a) nota-se que o ponto Sp1 é onde se observa a mancha de corrosão, e que esse local é onde marca a maior temperatura na parte da câmara de água. E diferente do visto nas outras imagens analisadas, onde há acúmulo de microrganismos, também a temperatura é maior que da superfície (que está em torno de 14°C). Já nos locais onde estão os microrganismos se encontram numa temperatura de $\pm 16^\circ\text{C}$ (Figura 31). Para uma melhor visualização das temperaturas, impuseram-se alguns limites na temperatura das imagens. As imagens geradas pelo programa são mostradas na Figura 32.

Figura 32 – Tratamento das imagens termográficas



Fonte: Acervo do Autor

Como mostra a Figura 32, se limitar a temperaturas acima de 15°C , os locais onde a acumulação de microrganismos fica evidente, principalmente onde fica a mancha de corrosão, no ponto Sp1 da Figura 32(a). Depois de feitas as análises iniciais das imagens, e utilizando a bibliografia já citada neste trabalho, pode-se chegar aos seguintes diagnósticos.

- **Umidade:** a umidade é uma patologia que não é, muitas vezes, vista a olho nu, mas com o auxílio da câmera termográfica esse tipo de manifestação fica mais fácil de ser visualizada. A presença de água na estrutura pode alterar a condutividade térmica (capacidade de condução de calor) e a massa térmica (capacidade de armazenar calor) do material (FLIR, 2010). Nas Figuras 24 e 27 é visto que em algumas partes na câmara de água há locais com temperatura mais baixas que a temperatura média da câmara de água, que na

escala de cores apresenta tons de azul. Castro *et al.* (2016) fala que essa redução da temperatura é motivado pela alta condutividade térmica da água, que dissipa o calor da estrutura e reforça o processo de arrefecimento. Nesses locais são vistos que a temperatura é menor onde a água escorre, pois é possível ver as impressões deixadas pela água;

- **Manchas:** Segundo Pereira (2010) esse é o tipo de patologia tem causas muito semelhante a outros tipos de estruturas de concreto armado. As manchas que aparecem no reservatório são vistas principalmente na parte superior da estrutura (tampa). Esse tipo de patologia é bastante recorrente, pois esse tipo de estrutura tem uma grande exposição às intempéries. Essas manchas são indício de um problema com o bolor e mofo, que como descreve Shirakawa et al. (1995), para o aparecimento de bolor numa superfície, deve-se ter umidade suficiente para que os esporos dos fungos que ali existem possam geminar e temperatura. A umidade que permanece na superfície, em geral, está presente em fissuras, na má regularização da superfície (causando o acúmulo de água), entre outras causas;
- **Fissuras:** existe uma fissura que é encontrada no entorno do reservatório, abaixo do prolongamento da tampa que liga a tampa a câmara de água, e pode ser considerada como uma fissura por movimentação térmica possivelmente causada pela diferença de temperatura entre a câmara de água e a tampa. Segundo Thomaz (2002), as variações de temperatura (sazonais e diárias) repercutem em toda a estrutura, causando movimentação de dilatação e/ou contração entre os elementos da estrutura. A diferença de temperatura entre a parte interna e externa também pode contribuir na ocorrência de fissuras térmicas. Não foi visualizada outros tipos de fissuras, sendo esse a única mais evidente;
- **Corrosão:** Na Figura 30(a), logo abaixo da viga, pode-se notar uma grande mancha de corrosão das armaduras. A provável causa é pela entrada de água por poros ou pela fissura do entorno do reservatório, essa água percolou até chegar às armaduras. Souza e Ripper (1998) dizem que onde há ferrugem, há uma diminuição da capacidade resistente da armadura, pois a área de aço perde seção, saindo à ferrugem. Por ser uma mancha considerada grande, é

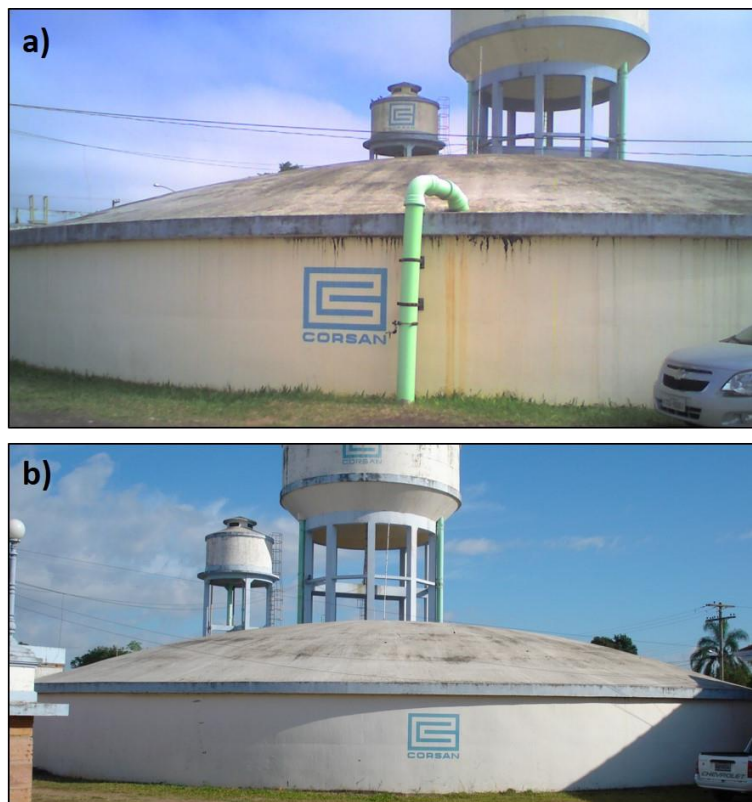
provável que a armadura dessa área esteja com sua resistência comprometida, podendo causar problemas graves no futuro;

- **Microrganismos:** na Figura 30 pode-se ver que existe um acúmulo de microrganismos, e que nessa região, a temperatura é maior que a da superfície da câmara de água (Figura 31). Isso é causada pela grande quantidade de água que ali permanece, e com a temperatura certa, o local fica propício para o aparecimento desses organismos;
- **Vegetação:** já na Figura 23 pode-se ver que na fissura floresceu algum tipo de planta, e em outras regiões do reservatório R01. As raízes de plantas penetram na estrutura através de falhas, ou como nesse caso, pela fissura.

Feita as análises desse reservatório, pode-se fazer um comparativo com o trabalho realizado por Temp e Andrade (2008), onde esses autores fizeram um trabalho com o intuito de levantar as manifestações patológicas dos reservatórios da cidade de Alegrete. As imagens foram feitas no ano de 2008.

Comparando as imagens feitas para esse trabalho, com o trabalho realizado em 2008, fez-se a Figura 33.

Figura 33 - Antes e depois do reservatório R01



Fonte: (a) Acervo do Autor e (b) Temp e Andrade (2008)

Com a Figura 33, pode-se ver que a estrutura passou por uma pintura e que em 2008 a sua tampa não estava com tantas manchas como nos dias atuais. Outra coisa que se pode destacar é que, como visto no trabalho de Temp e Andrade (2008), não havia tanta evidencia de fungos/microrganismos na estrutura. Isso pode significar que a abertura da fissura deu-se no período entre 2008 e 2017.

4.3.2 Reservatório R02

O reservatório R02 também se localiza na própria Estação de Tratamento de Água (ETA) do município, e é classificado como um reservatório elevado e possui um volume de 500 m³, o término de sua construção foi no ano de 1950.

Assim como o reservatório R01, essa estrutura tem orientação solar da seguinte forma: o sol nasce para o lado da fachada que está voltada para a rua Euclides Lisboa e se põe para a fachada que está voltada para a rua Antônio José de Vargas. A disposição do reservatório R02 é mostrada na Figura 34.

Figura 34 – Localização e posição do reservatório R02



Fonte: Prefeitura Municipal de Alegrete (2017)

As imagens foram capturadas em um dia claro, com poucas nuvens, com temperatura média de 21°C e umidade relativa do ar em torno de 64%. A Figura 35 mostra a estrutura do reservatório R02 por inteiro.

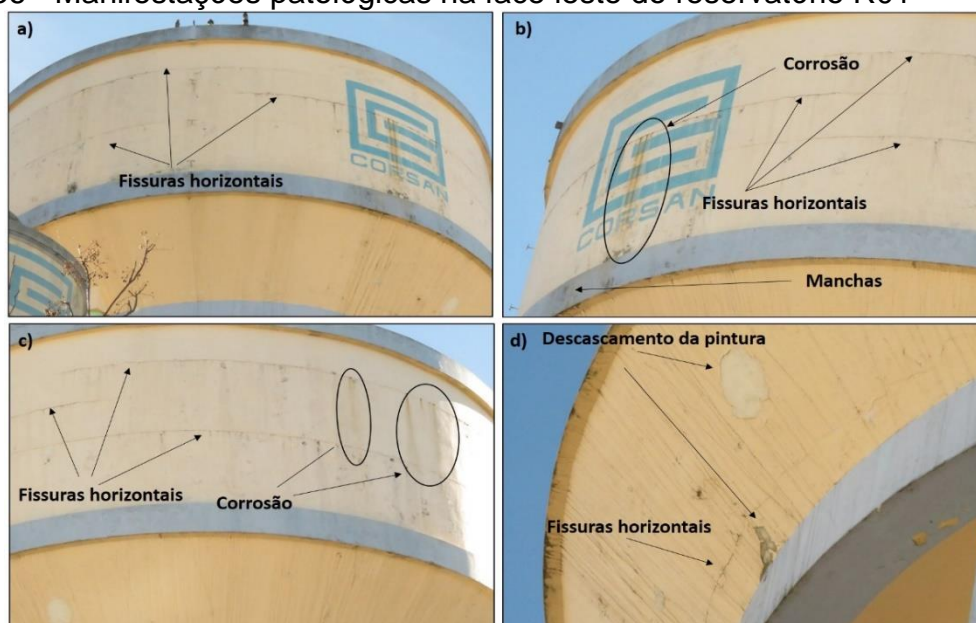
Figura 35 – Vista geral do reservatório R02



Fonte: Acervo do Autor

Assim como foi feito no reservatório R01, as análises foram feitas em duas faces distintas, chamadas de face leste e face oeste. Na Figura 36 são mostradas, de maneira mais detalhada, as manifestações patológicas que foram vistas na face leste do reservatório R02.

Figura 36 - Manifestações patológicas na face leste do reservatório R01

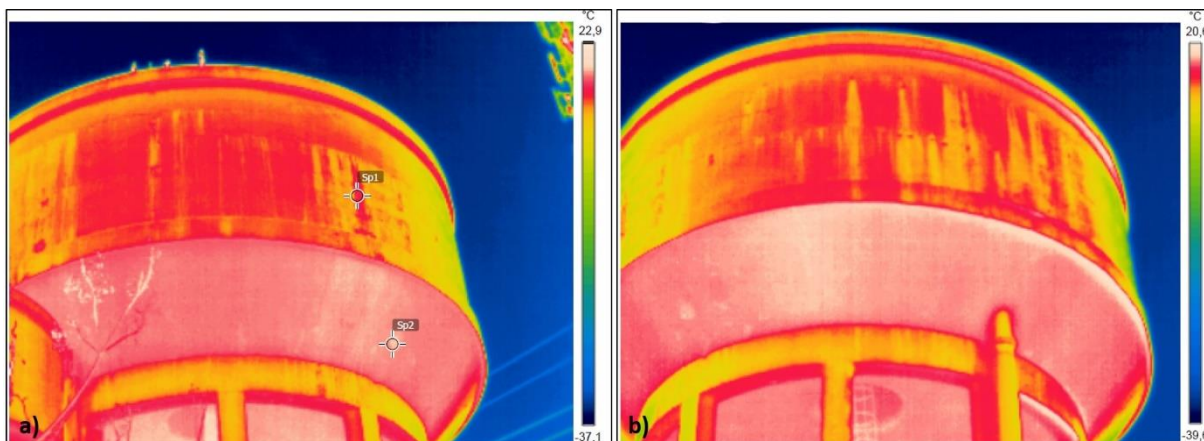


Fonte: Acervo do Autor

Na Figura 36(a) é mostrado uma visão geral dessa face do reservatório R02. Nas imagens da Figura 36(b) e Figura 36(c) são observadas algumas fissuras horizontais de tamanho considerável, e também, além de manchas escuras, a existência de manchas providas da corrosão das armaduras da estrutura. Já na Figura 36(d) é possível identificar outra fissura horizontal, só que localizada na parte afunilada da estrutura e também há grandes falhas da pintura.

Depois de feita essa primeira análise, fez uma imagem termográfica da face leste do reservatório R02, que é mostrada na Figura 37.

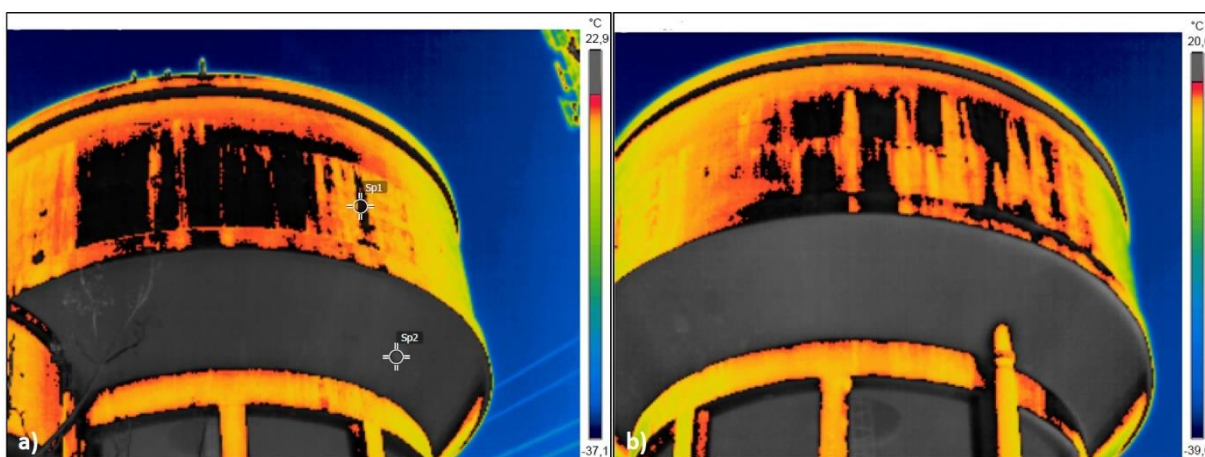
Figura 37 – Imagens termográficas do reservatório R02



Fonte: Acervo do Autor

Nas imagens da Figura 37, podem-se ver claramente os pontos de onde a corrosão sai das fissuras horizontais na câmara de água. Esse local encontra-se com temperatura um pouco menor que o restante da superfície, segundo a escala de cores ao lado. Comparando a Figura 37(a) com a Figura 36(a), pode-se notar que existe um ponto diferenciado (ponto Sp1) que é onde se encontra a marca de corrosão em cima da logomarca da empresa. Tratando essas fotos, fez-se a Figura 38. A seguir, será mostrada a Figura 38 com as imagens termográficas tratadas com o programa FLIR Tools.

Figura 38 - Tratamento das imagens termográficas da face leste do reservatório R02

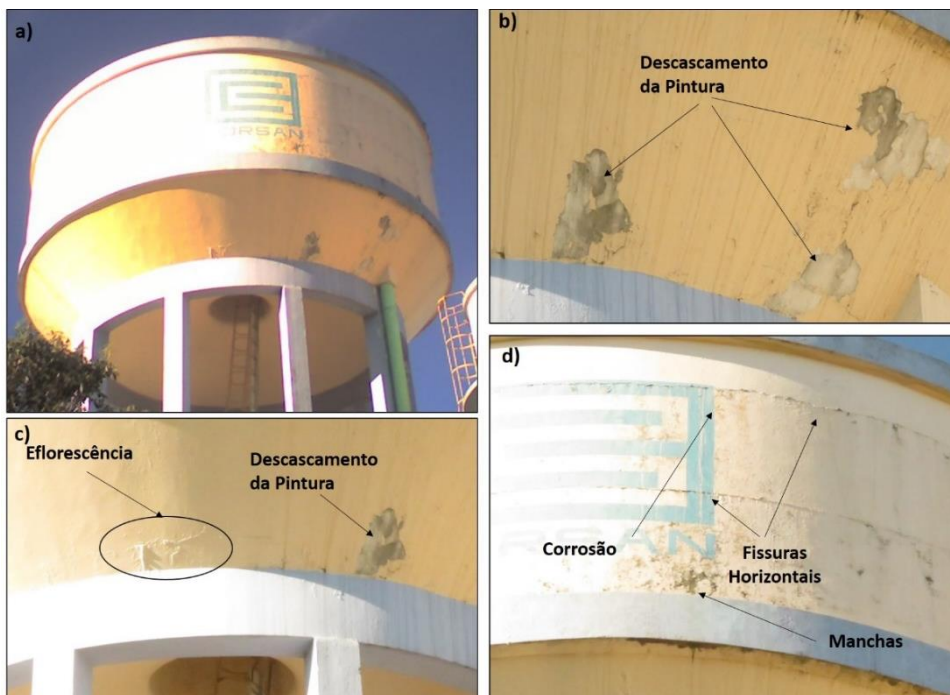


Fonte: Acervo do Autor

Para as imagens da Figura 38, limitou-se a temperaturas até 16°C, para que ficasse melhor a visualização das patologias nessa face (face leste). Vê-se que a Figura 38(a) e imagem não ficou tão boa quanto a imagem da Figura 38(b), onde ficou evidente os locais onde há as marcas da corrosão.

Na imagem a seguir, Figura 39, é possível ver outra face (face oeste) do reservatório R02 e as manifestações patológicas vistas de maneira mais aproximada, para uma melhor observação das manifestações patológicas.

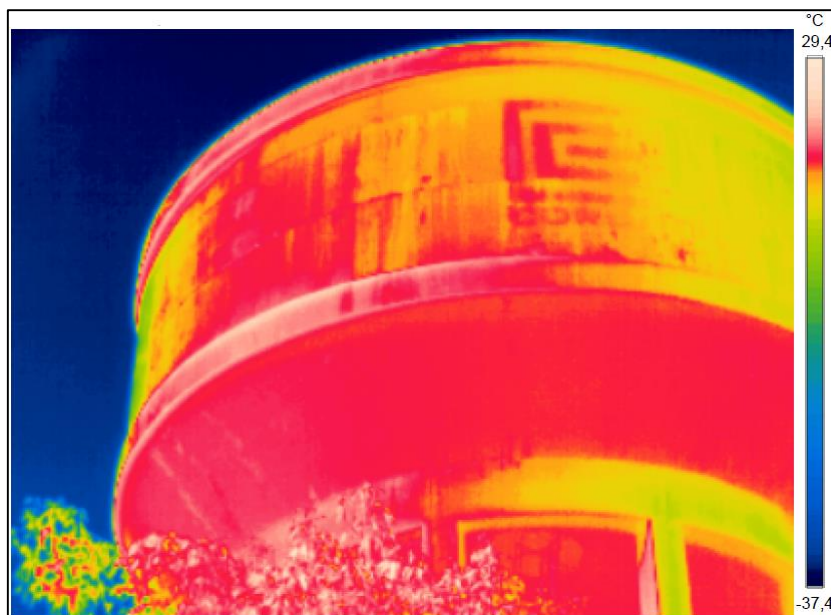
Figura 39 – Manifestações patológicas na face oeste do reservatório R02



Fonte: Acervo do Autor

Na face oeste, mostrada na Figura 39, ainda é grande o número de fissuras horizontais na estrutura. Também há uma maior incidência de descascamento da pintura desse lado, como visto na Figura 39(b), se comparado à face anterior. A Figura 39(b) também mostra que está escorrendo água da parte de baixo da viga intermediária. As manchas de corrosão estão em menor número desse lado, como mostra a Figura 39(d). Diferente da outra face (face leste), houve o aparecimento de eflorescências, que é mostrado na Figura 39(c). Após isso, fez-se a imagem termográfica, mostrada na Figura 40.

Figura 40 – Imagem termográfica do reservatório R02



Fonte: Acervo do Autor

Nesse lado a imagem termográfica, vista na Figura 40, não está tão clara quanto às demais já vistas nesse trabalho, isso pode ser explicado pela alta incidência de sol nessa posição, pois qualquer mudança de ângulo da câmera já influenciava os resultados.

Mesmo assim, é possível distinguir as fissuras horizontais na superfície do reservatório R02, e a água que escorre, sendo de cor mais amarelada que a superfície, que a cor é um pouco mais avermelhada. Para essa estrutura, optou-se por não se fazer o tratamento feito anteriormente.

Logo após as primeiras análises do que se viu nas imagens, pode-se fazer um diagnóstico com o auxílio da bibliografia existente.

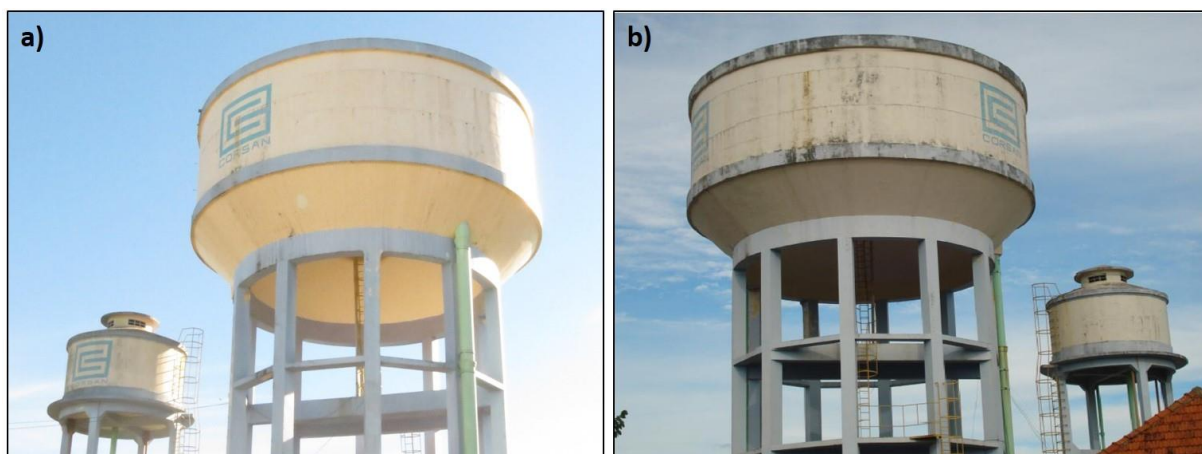
- **Manchas:** as manchas escuras, nesse reservatório, são em menor quantidade se comparar com o reservatório R01. Existem algumas manchas escuras principalmente na parte superior do reservatório e em alguns pontos das vigas;
- **Fissuras:** as fissuras encontradas no entorno do reservatório são localizadas no sentido dos anéis de concretagem, que segundo Rachid e Londero (2013), esse tipo de fissura surge já na hora da execução da concretagem, pois o anel anterior ao que está sendo executado já se encontra em processo de cura e

enquanto se realiza a concretagem do próximo, o que prejudica a aderência do concreto;

- **Corrosão:** algumas manchas de corrosão das armaduras são vistas onde existem as fissuras nos anéis de concretagem. Essas fissuras permitiram que a água percolasse até a armadura, fazendo com que houvesse a formação de ferrugem. E essa ferrugem acaba saindo da estrutura pelas fissuras já abertas, ou muitas vezes, acabam aumentando a abertura das mesmas.
- **Eflorescências:** nada mais é do que depósitos de sais na superfície, em decorrência da lixiviação. É provável que haja uma fissura no local, em que a água que penetrou na estrutura e dissolveu o hidróxido de cálcio do concreto (MARTINS, 2016), formando os cristais que são vistos na Figura 39(c).
- **Descascamento da pintura:** Assim como no caso das manchas, esse é um dos tipos de patologias que tem a mesma causas como as demais estruturas de concreto (PEREIRA, 2010). A anomalia está bastante presente na face mostrada na Figura 39 e mesmo não sendo uma patologia diretamente ligada ao concreto, seu aparecimento pode causar acúmulo de água na superfície. A provável causa pode ser a má execução da limpeza na superfície, fazendo com que a tinta se solte da parede (REVISTA AECweb [2], não datado)
- **Vazamento de água:** é visto em todo em alguns pontos no entorno da estrutura, mas em maior quantidade na Figura 39(b). Provavelmente causado pela movimentação térmica das diferentes peças (ligação entre a câmara de água/viga/seção afunilada, fazendo com que ocorra abertura de fissuras por onde a água sai. Também pode ser causado por alguma deficiência de projeto, que acabou não garantindo a estanqueidade necessária nessa estrutura ou problemas com a vedação da estrutura.

Depois de feitas as análises, pode-se fazer um comparativo com o levantamento feito por Temp e Andrade, onde se pode ter uma noção do antes e depois dessa estrutura. Na Figura 41 é possível ver as diferenças da estrutura.

Figura 41 – Antes e depois do reservatório R02



Fonte: (a) Acervo do Autor e (b) Temp e Andrade (2008)

Comparando as imagens da Figura 41, pode-se notar que a estrutura passou por uma pintura nesse intervalo de tempo, mas as fissuras horizontais ainda estão presentes. Observa-se também que o problema com as manchas de corrosão não mudaram, pois ainda é evidente em todo entorno da estrutura. A única patologia que diminuiu visivelmente foi a incidência das manchas escuras (bolor) em toda a estrutura, principalmente nas vigas.

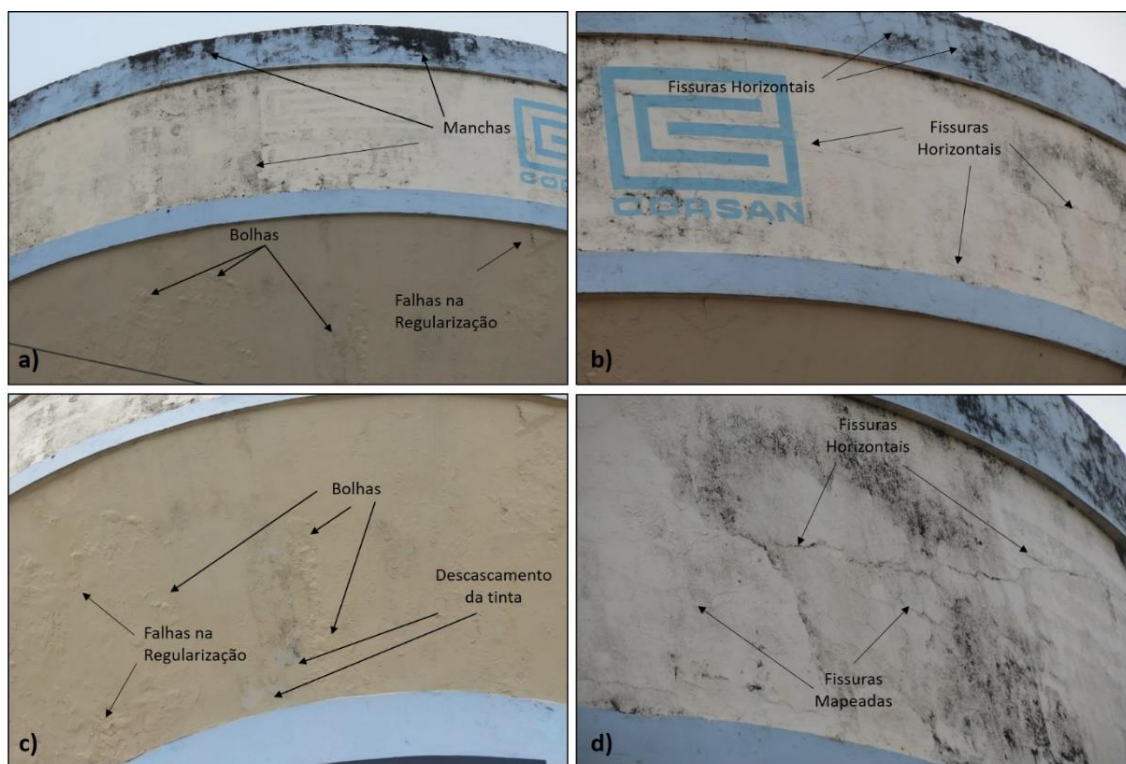
4.3.3 Reservatório R03

A seguir será mostrado o reservatório localizado no Bairro Ibirapuitã. Esse reservatório encontra-se entre as ruas São Francisco e a Rua João de Deus B. Peres. Quanto a orientação solar, o sol nasce para a face voltada para a Rua São Francisco, e se põe na face voltada para a Rua João de Deus B. Peres, sendo então o lado que recebe a carga solar maior (parte da tarde). A Figura 42 mostra a localização do reservatório no mapa da cidade.

Assim como feito nos reservatórios anteriores, analisaram-se duas faces do reservatório R03, nomeadas de face leste e face oeste. A Figura 43 foi extraída na face leste, que está direcionada para a Rua São Francisco, e o sol, pelo horário, estava posicionado na face contrária da estrutura (Rua João de Deus B. Peres).

Na Figura 43 pode-se notar que as patologias mais presentes são as manchas. Também verifica-se que há ocorrência de bolhas na pintura, assim como falhas na regularização da superfície. Aproximando a imagem, pode-se ver mais das patologias, que estão expostas na Figura 44.

Figura 44 - Imagens aproximadas da face leste do reservatório R03

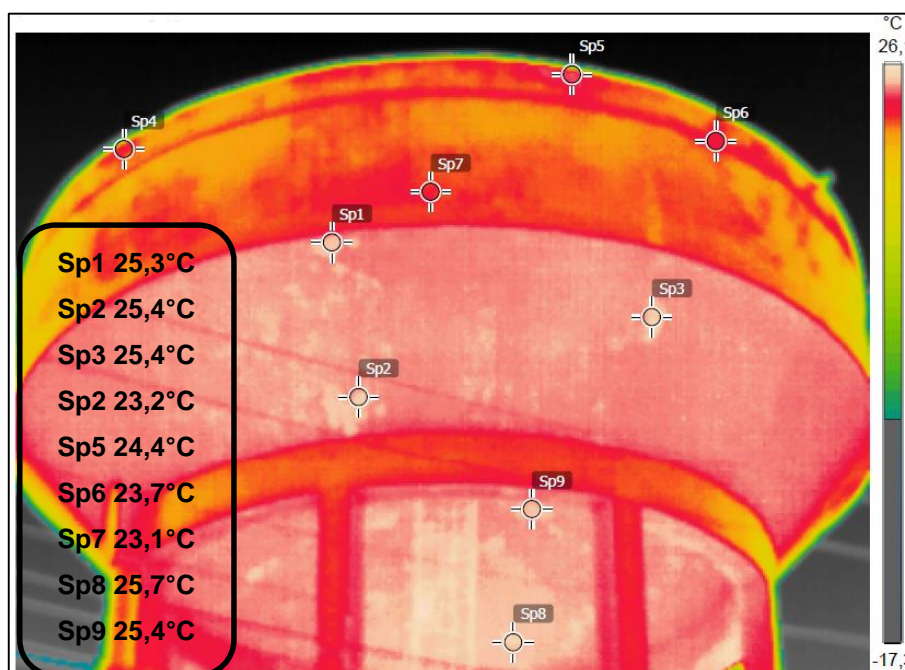


Fonte: Acervo do Autor

Na Figura 44, é possível visualizar quatro ângulos diferentes da face leste, que é vista da Rua São Francisco. Na Figura 44(a) é visto que há muitas manchas escuras, principalmente na viga superior. Já na Figura 44(c) são vistas as bolhas da pintura com maior nitidez. Nas imagens da Figura 44(b) e Figura 44(d), também é visto uma grande variedade de fissuras, principalmente horizontais e estas se localizam principalmente na câmara de água.

Agora utilizando a câmera termográfica, para essa mesma face do reservatório R03, podem-se visualizar as temperaturas da estrutura, mostradas na Figura 45.

Figura 45 - Imagem Termográfica na face leste do reservatório R03



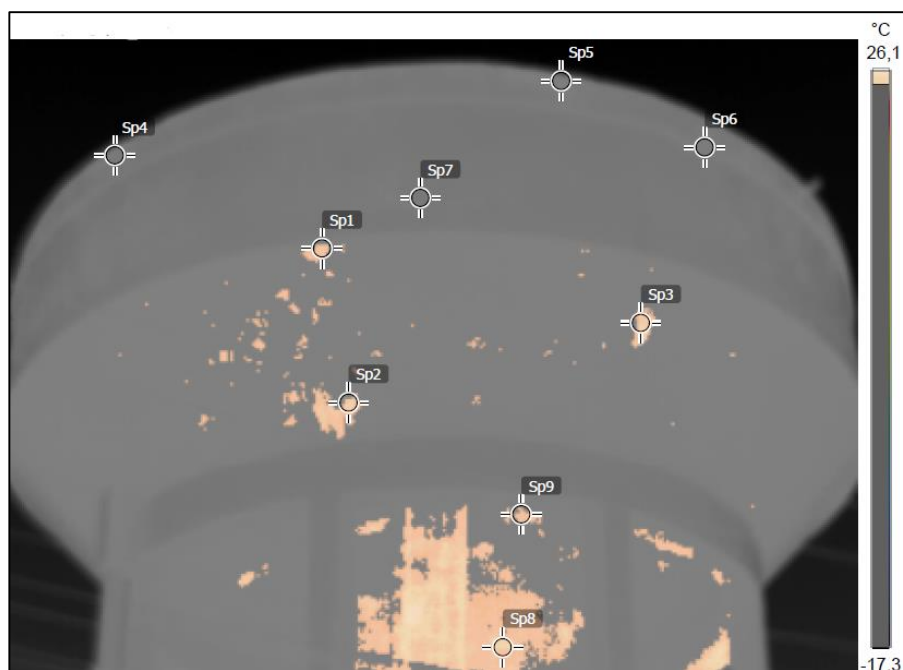
Fonte: Acervo do Autor

Nos locais demarcados na imagem termográfica (Figura 45), são onde se encontram as maiores temperaturas, sendo o ponto Sp8 o local onde se encontra a maior temperatura (parte inferior da câmara de água).

Nos pontos Sp1, Sp2 e Sp3, que estão localizados na parte inclinada da estrutura, entre a viga intermediária e a viga superior, é possível ver que é onde se encontram maiores temperaturas na superfície externa do reservatório. E se for comparado imagens das Figuras 43 e 45, pode-se notar que é onde se encontram as maiores falhas de regularização da superfície, que são mostradas em uma melhor resolução na Figura 44(a) e Figura 44(c).

Utilizando outro tratamento de imagem, pode se impor um limite de 25°C na imagem, e deixar aparente apenas os locais onde tem uma temperatura igual ou maior intensidade àquela temperatura imposta. Na Figura 46 podem-se ver os locais onde se apresenta essa temperatura.

Figura 46 – Imagem termográfica após limitação de temperatura



Fonte: Acervo do Autor

Quando se fixa esse limite, pode-se visualizar melhor na Figura 46 que os pontos com maior temperatura se encontram concentrados na parte inferior da estrutura, mesmo o restante da estrutura esteja exposta a mais intempéries que essa parte.

Como se nota na Figura 46, os locais onde estão fissurados ou com manchas escuras são os que concentram as maiores temperaturas na viga superior e câmara de água. A próxima imagem, mostrada na Figura 47, pertencem a face oeste do reservatório vista da rua João de Deus B. Peres.

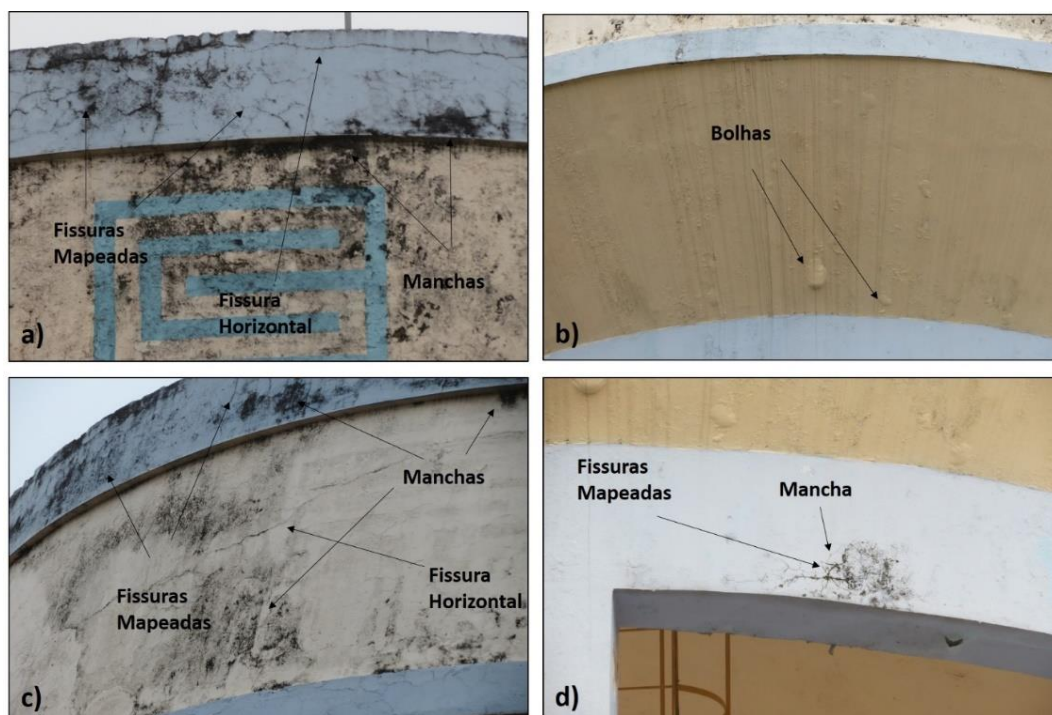
Figura 47 – Vista da face oeste do reservatório R03



Fonte: Acervo do Autor.

Na imagem dessa face pode se verificar basicamente as mesmas patologias encontradas no lado oposto da estrutura (manchas de umidade, algumas bolhas na pintura e falhas na regularização da superfície). Com imagens mais aproximadas dessa face (face oeste), mostrada na Figura 48, as patologias ficam em evidência.

Figura 48 – Manifestações patológicas na face oeste do reservatório R03

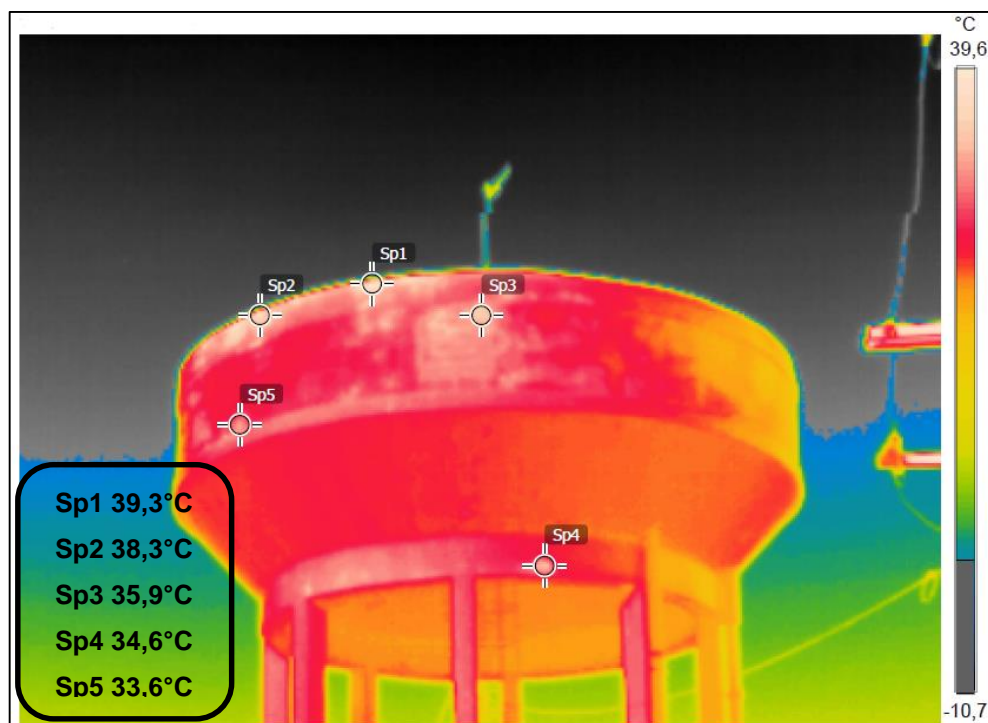


Fonte: Acervo do Autor

Este lado apresenta grande quantidade de fissuras tanto na viga superior quanto na câmara de água, como mostrada nas imagens da Figura 48(a) e Figura 48(c). Nota-se também que as manchas são mais perceptíveis que as vistas na face leste, que está virada para a Rua São Francisco.

A fissura horizontal vista na Figura 48(c) é a mesma vista na Figura 44(d), com isso, pode-se dizer que é uma fissura bem extensa, pois é vista em ambas as faces. A Figura 49 demonstra essa mesma face (face oeste) agora com a imagem realizada pela câmera termográfica.

Figura 49 - Imagem termográfica na face oeste do reservatório R03

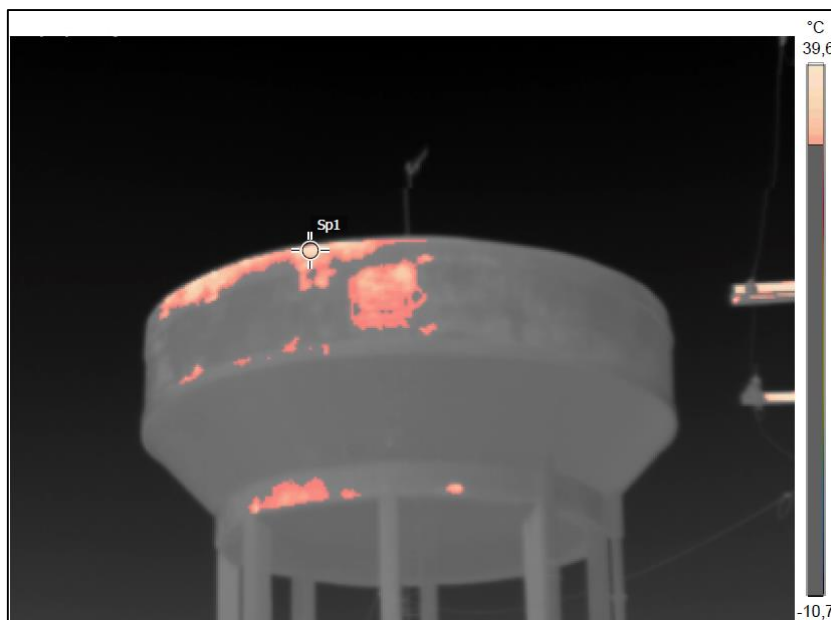


Fonte: Acervo do Autor

Na imagem termográfica mostrada na Figura 49, nos locais demarcados, a concentração de pontos quentes é grande principalmente na parte onde se encontra fissurado (ponto Sp1). Dos pontos marcados, o ponto Sp1 registra a maior temperatura dessa face, e se for posto em paralelo com a Figura 47, é possível notar que nesse ponto onde se localiza a fissura horizontal da Figura 48(a).

E dessa fissura horizontal que surgem as outras fissuras menores, em formato mapeado. Fazendo o tratamento na imagem termográfica e limitando-se a temperatura da mesma, fez-se a Figura 50.

Figura 50 – Imagem termográfica após limitação da temperatura



Fonte: Acervo do Autor

Na imagem vista na Figura 50 acima, fixou-se um limite de até 32°C para que os locais com temperatura igual ou superior ficassem coloridas. Colocando essa faixa de temperatura, ficam mais visíveis os locais onde as temperaturas estão elevadas nesse lado do reservatório.

Uma questão interessante vista na Figura 50 é um ponto com uma grande concentração de temperatura na viga inferior. Se compararmos com a Figura 47, não é visto nenhuma manifestação patológica aparente, então é provável que haja um acúmulo de água ou algum deslocamento do reboco nessa região, e somente com a câmera termográfica foi possível captar essa anomalia.

Após as primeiras observações feitas a partir das imagens capturadas, termográficas e convencionais, foi possível chegar aos seguintes diagnósticos.

- **Acúmulo de água:** nem sempre a umidade aparecerá com temperaturas menores que a estrutura, como no caso do reservatório R01. Nos casos em

que a superfície possui anomalias patológicas, como fissuras e manchas escuras, o material que é afetado pelo acúmulo de água irá possuir uma massa térmica mais elevada que o restante, com isso sua temperatura diminuirá mais lentamente que o restante da estrutura (FLIR, 2010), como é visto no caso da Figura 50. Isso quer dizer que nos locais onde se localiza as manifestações patológicas é onde há um acúmulo de água na superfície, e como se sabe, a água esquenta mais rapidamente que o concreto, e com isso, nas imagens termográficas ele fica mais quente que o restante da superfície da estrutura;

- **Manchas:** assim como nos reservatórios anteriores, as manchas escuras são principalmente causadas pelas intempéries e fungos. As manchas são vistas em todas as suas faces e na tampa. Figura 49, no ponto Sp1 (onde está a fissura horizontal) pode notar que é o local com a maior temperatura da estrutura e pelo fato de poder ter água acumulada ali, a proliferação de fungos é favorecida. O bolor além de estar bastante presente no entorno da viga superior, onde se encontra uma grande concentração de fissuras, também está presente na câmara de água (entre a viga superior e a viga intermediária) onde a superfície tem uma péssima regularização e isso ajuda na acumulação de água, causando o aparecimento de fungos no reservatório;
- **Bolhas:** é possível que essa estrutura tenha passado por algum tipo de manutenção, no caso limpeza da superfície e pintura da mesma, e após essa limpeza, ainda tenha restado sujeiras ou mesmo umidade na estrutura. Com isso, quando se aplica a pintura, esses fatores podem atrapalhar na aderência da tinta com a superfície, causando assim as bolhas (mostradas nas Figura 44(a) e Figura 48(b)). Essas bolhas acabam permitindo que se crie pontos de acumulação de água na superfície;
- **Fissuras:** em ambas as faces onde foram fotografadas, na viga superior a uma fissura horizontal e várias fissuras mapeadas que saem dessa horizontal. A fissura horizontal é provavelmente provinda da exposição dos elementos a diferentes temperaturas, principalmente na parte superior que é onde recebem as maiores influências das intempéries. Já as fissuras mapeadas, devem ter surgido da própria retração do concreto e está pode ser caracterizada como retração térmica. Segundo Amaral (2011) essa retração térmica é provocada pelo calor liberado na reação de hidratação, o calor liberado expande o

concreto e ao se resfriar, ocorre a redução de volume, e como o mesmo autor cita, esse tipo de retração deve ser considerada em elementos com elevada espessura (como no caso dos reservatórios), pois há grande aumento de temperatura e menor dissipação de calor.

- **Descascamento da pintura:** no caso do descascamento da pintura, mesmo não sendo uma patologia diretamente ligada ao concreto, seu aparecimento pode causar acúmulo de água na superfície. A provável causa pode ser a má execução da limpeza na superfície, fazendo com que a tinta se solte da parede (REVISTA AECweb [2], não datado).

Com as imagens do trabalho de Temp e Andrade (2008), pode-se observar se essa estrutura passou por alguma manutenção e se essa manutenção teve o resultado esperado, se as anomalias vistas são as mesmas ou se surgiram novas, entre outras questões. Na Figura 43 são mostradas as imagens do antes e depois do reservatório R03.

Figura 51 – Antes (2008) e depois (2017)



Fonte: (1) Adaptado de Temp e Andrade (2008); (2) Acervo do autor (2017).

Comparando as imagens, vê-se que o reservatório R03 passou por alguma manutenção com o passar dos anos, como uma nova pintura e alguns pontos foram rebocados novamente. Se compararmos a Figura 51 (a) com a Figura 51 (b), é visto que a estrutura não está mais tão manchada, mas na Figura 51(c) e Figura 51(d), é visto que as manchas escuras ainda estão em maior concentração nos pontos fissurados e que a fissura vista na viga superior ainda é a mesma, não tendo sido consertada na manutenção que foi feita.

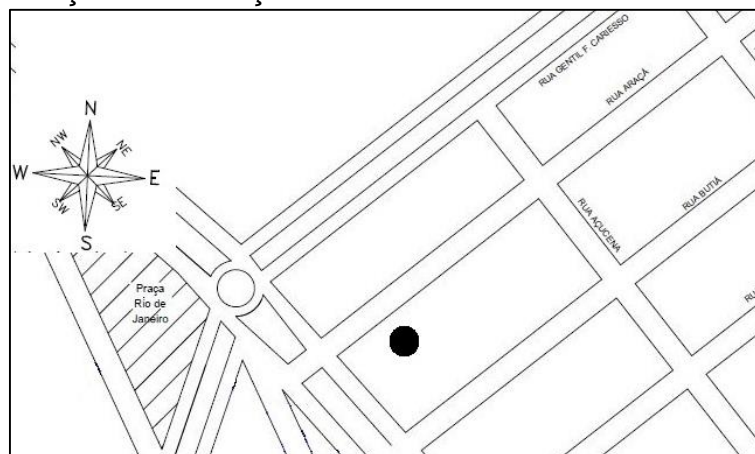
Já na Figura 51(e) é visto um deslocamento do reboco na parte entre a viga intermediária e a viga inferior, e na Figura 51(f) é visto que houve uma correção da superfície, mas essa correção não foi corretamente executada, podendo ter ficado alguma partícula solta que não deixou fixar direito a pintura na superfície, fazendo com que ocorresse o aparecimento de bolhas na pintura.

4.3.4 Reservatório R04

O reservatório 04 está localizado na Rua Araçá, 72, no Bairro Capão do Angico. Ele é caracterizado como um reservatório do tipo elevado, e possui um volume de 50 m³, construído em 1965.

A orientação solar dessa estrutura é demonstrada na Figura 52, e é descrita da seguinte forma: o sol nasce para o lado da fachada que está voltada para a rua Butiá (face sudeste) e se põe para a fachada que está voltada para a rua Araçá (face noroeste).

Figura 52 - Localização e orientação do reservatório R04



Fonte: Prefeitura Municipal de Alegrete (2017)

As imagens foram capturadas num horário do dia com algumas nuvens, mas antes disso, o dia estava ensolarado e sem nuvens. A temperatura estava numa média de 21°C e umidade relativa do ar em torno de 61%. A Figura 53 mostra a estrutura do reservatório R04.

Figura 53 – Reservatório R04

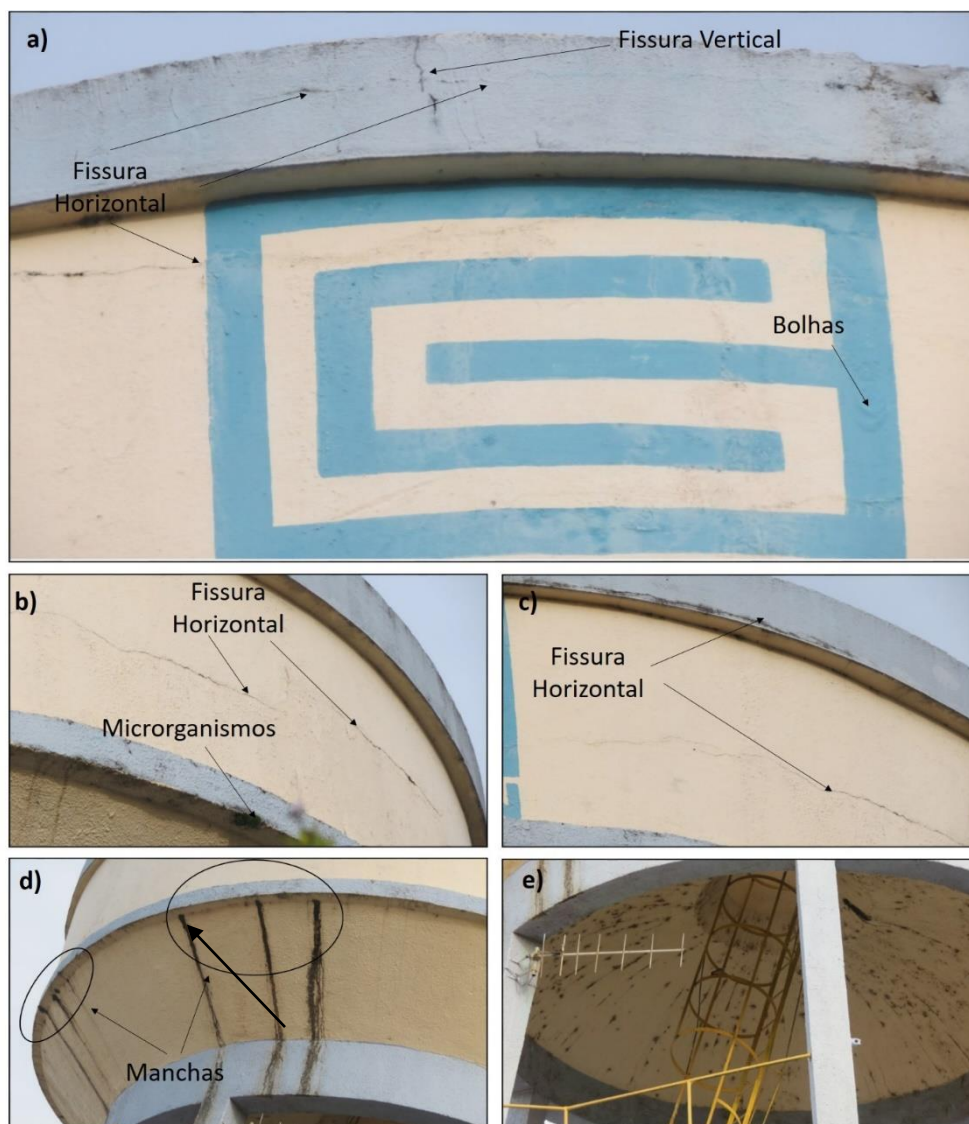


Fonte: Acervo do Autor

Diferente das outras análises, essa estrutura só pode ser vista da Rua Araçá, pois não se pode entrar no terreno desse reservatório. A face a ser analisada encontra-se voltada para o noroeste, a mesma mostrada na Figura 53. Com isso pode-se fazer uma primeira análise das patologias que foram observadas nessa estrutura.

Analisando a Figura 53, a patologia mais evidente são as manchas, mas quando se aproxima a imagem são observadas algumas outras manifestações patológicas, menos visíveis que as manchas escuras, e que só são visualizada com o auxílio de uma câmera fotográfica com boa resolução. A Figura 54 mostra alguma das patologias mais de perto.

Figura 54 – Manifestações patológicas encontradas no reservatório R04



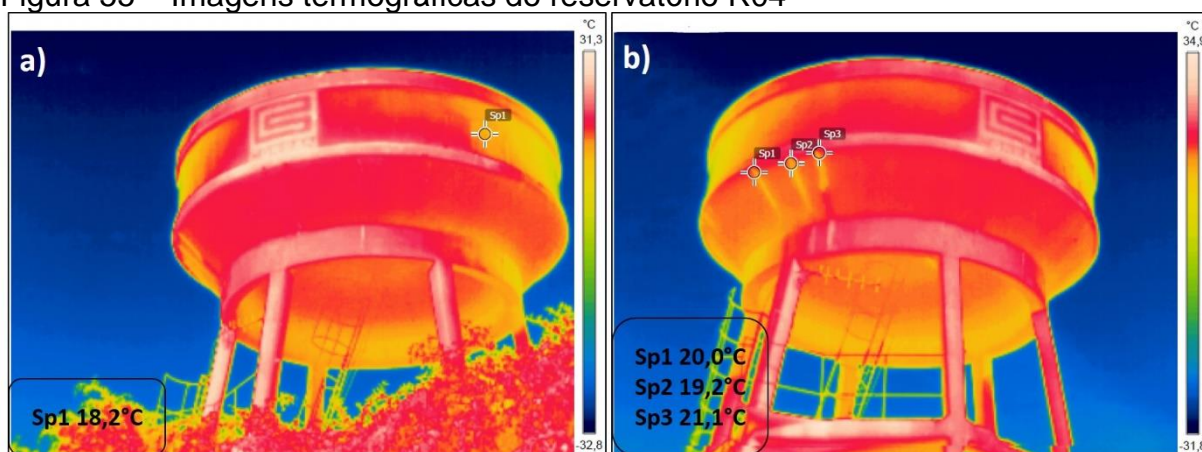
Fonte: Acervo do Autor

Com as imagens da Figura 54 detalhando as patologias encontradas, pode-se observar mais as patologias que não estavam sendo notadas. Na imagem da Figura 54(a) é possível ver algumas fissuras horizontais e verticais na viga superior e perto do logo da CORSAN, também são visíveis algumas bolhas na pintura da superfície. Na Figura 54(b) e Figura 54(c) visualiza-se algumas fissuras horizontais, tanto na câmara de água quanto na viga superior, sendo que uma dessas fissuras horizontais se estende até o símbolo CORSAN.

Já na Figura 54(e) pode-se observar a parte inferior do reservatório, como é uma região com pouca iluminação, ela fica mais propensa a manchas por causa da umidade, principalmente vinda da abertura no meio do reservatório.

Após essa análise inicial, fez-se as imagens termográficas para analisar o que essas patologias influenciam termicamente esse reservatório, com a Figura 55 pode-se fazer essa análise.

Figura 55 – Imagens termográficas do reservatório R04

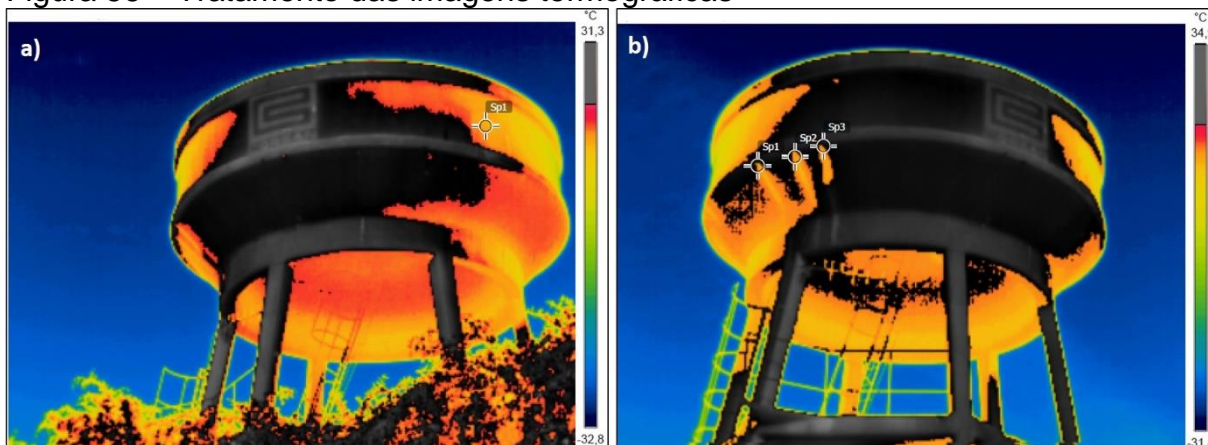


Fonte: Acervo do Autor

Nas imagens termográficas vistas na Figura 55, nota-se que não a grandes variações de temperatura na sua superfície. Mas se compararmos a Figura 55(a) com a Figura 53, o ponto Sp1 é onde se localiza a fissura horizontal, mesmo com a imagem mais aproximada (Figura 54(c)) não é visível à ocorrência de vazamentos e na imagem termográfica também não foi possível verificar se havia vazamento de água no local.

Já no lado mostrado na Figura 55(b), é possível visualizar claramente onde a água vaza da estrutura. Essa manifestação patológica, diferentemente da vista na Figura 55(a), não é uma patologia oculta, pois a superfície apresenta manchas de bolor nesse local. Nas próximas imagens (Figura 56), vê-se o tratamento que foi feito nas imagens termográficas.

Figura 56 – Tratamento das imagens termográficas



Fonte: Acervo do Autor

Diferente das outras imagens que foram tratadas com o programa FLIR Tools, as imagens da Figura 56 tiveram muita influência do reflexo solar na superfície. Na Figura 56(a), colocando-se um limite de temperatura de até 21°C, pode-se ver que a imagem não fica tão clara quanto as tratadas anteriormente. Mas no caso da Figura 56(b) é possível ver um pouco melhor os locais das manchas escuras, mostrado que as temperatura encontram-se maiores que o limite imposto. Se comparado com imagens termográficas tratadas anteriormente, o resultado obtido não foi muito significativos, pois as imagens termográfica não apresentaram um resultado

Após realizada as primeiras análises das imagens, pode-se fazer uma comparação mais profunda das manifestações patológicas encontradas nesse reservatório. Chegou-se aos seguintes diagnósticos:

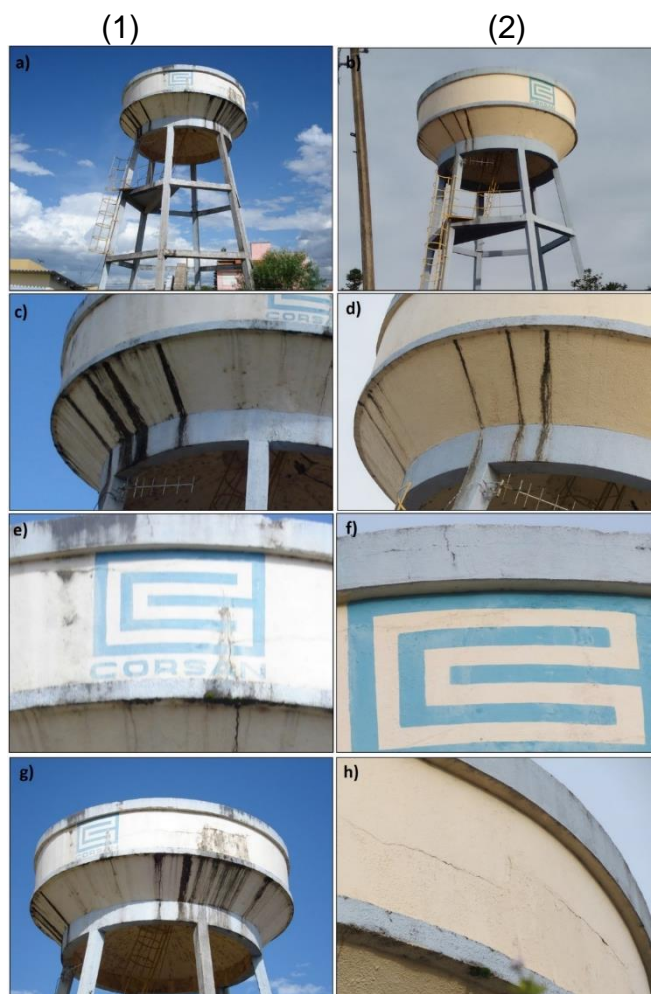
- **Fissuras:** essa estrutura, assim como o reservatório R02, apresenta mais fissuras horizontais do que outros tipos de fissuras. As fissuras horizontais, como descreve Thomaz (2002), como nas estruturas anteriores, tem como provável causa a grande variação térmica que essa estrutura passa. Também há alguns locais com fissuras verticais na viga superior. Essas fissuras podem ter sido provocada pela retração natural do concreto, e após fissurar, a umidade que penetrou acaba causando a expansão dos materiais que constituem a peça (movimentação higroscópica);
- **Manchas:** nota-se nesse reservatório que a incidência de manchas no entorno da superfície é menor que nos reservatórios anteriores, mas há manchas de

água que escorrem abaixo da viga inferior, na Figura 53 vê-se que a água que dali escorre não vem de precipitações, e sim de dentro da própria estrutura. Provavelmente há uma deformação excessiva, que causou uma fissura para cada mancha, que ocorrem nas extremidades dos elementos de concreto. Essa fissura deve vir da diferença de temperatura entre a câmara de água (que recebe uma incidência de sol maior) e a parte abaixo que fica entre a viga intermediária e a inferior, e esse acréscimo de temperatura acaba dilatando as paredes e assim ocorre a fissura. E onde a água percolou de dentro da estrutura, e com o acúmulo de umidade foi possível acontecer a proliferação de bolor;

- **Bolhas:** é provinda da má limpeza da superfície da estrutura antes da pintura. Na Figura 54(a), pode-se notar que houve alguma manutenção na superfície, e é possível que com essa manutenção, a superfície ficou com sujeira, tornando possível o aparecimento das bolhas;
- **Microrganismos:** assim como nos outros casos, o aparecimento de microrganismos nos mostra que o ambiente é propício para isso. A umidade junto com elevadas temperaturas (por causa da grande incidência solar), ajudam na proliferação dos fungos. Nos locais onde ocorrem esse tipo de patologia não foi possível identificar com as imagens termográficas;
- **Vazamento de água:** assim como visto no reservatório R02, existe a ocorrência de vazamento de água da estrutura, visto na Figura 54(d), pois as manchas escuras mostradas são provindas da água que sai e ajuda na proliferação de bolor. É provável que haja alguma fissura que permita que essa água saia de dentro do reservatório, mas não é possível saber qual é a causa dessa fissura, podendo ter sido gerada por movimentação térmica dos elementos construtivos, algum tipo de deficiência na hora da concretagem ou problemas de vedação dessa região.

Contrapondo as imagens feitas para esse trabalho com o levantamento feito por Temp e Andrade (2008), é possível distinguir as diferenças dessa estrutura com o passar dos anos. Essa comparação é mostrada na Figura 57.

Figura 57 – Antes e depois do reservatório R04



Fonte: (1) Adaptado de Temp e Andrade (2008); (2) Acervo do autor.

Com as imagens mostradas na Figura 57, é visível que o reservatório passou por alguma manutenção durante os anos. Comparando a Figura 57(a) com a Figura 57(b), é observado que o reservatório passou por uma nova pintura, e que a incidência de anomalias patológicas diminuiu visivelmente.

Mas mesmo com as intervenções que podem ter sido executadas, na Figura 57(d) é verificado que abaixo da viga intermediária, ainda há ocorrência de vazamento de água no local. Na Figura 57(e) é mostrado que havia um escoamento de água, bem no logotipo da empresa, e que na Figura 57(f) pode-se notar que deve ter sido feito uma possível intervenção nessa área, já que a fissura não é mais vista, nem água escorre mais dali.

E na Figura 57(g) é notório que na fissura há uma grande quantidade de água vazando da estrutura, mas na Figura 57(h) é possível ver que a fissura ainda

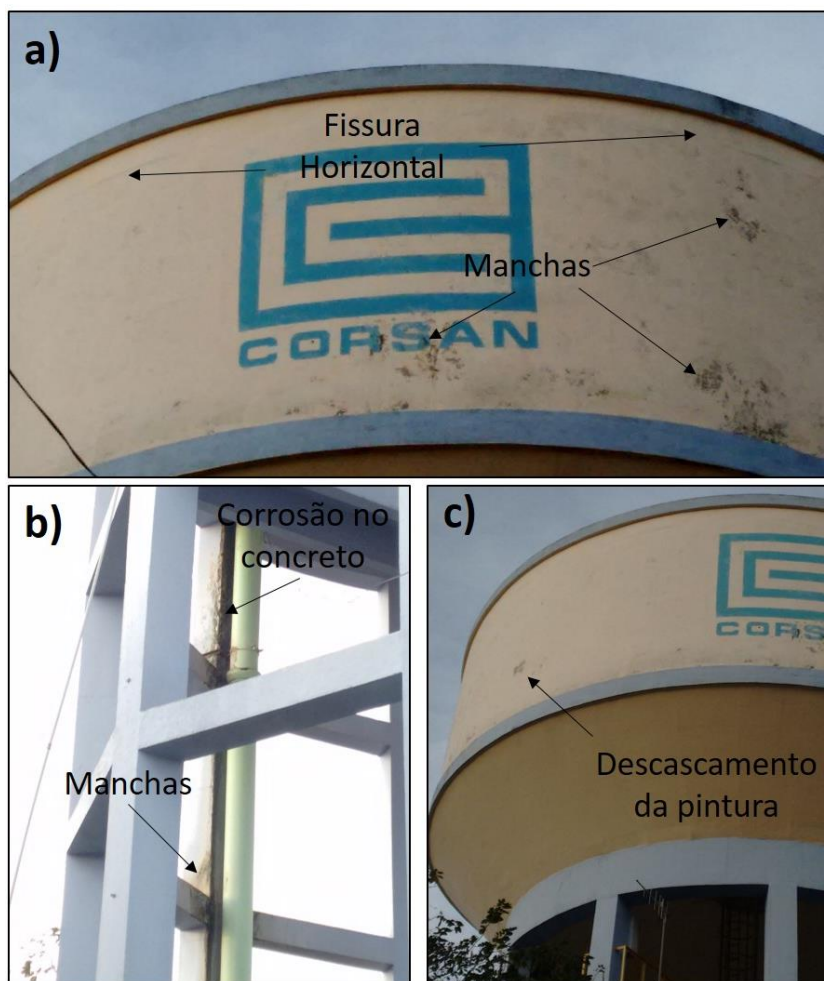
Figura 59 – Reservatório R05



Fonte: Acervo do Autor

Como feito anteriormente, foram feitas análises de duas faces desse reservatório. A primeira face (face sudoeste), que está voltada para a rua Izabel Garaialde Péres, não apresenta grandes patologias, pelo menos superficialmente, em seu entorno. A Figura 60 mostra com melhores detalhes essas manchas.

Figura 60 – Manifestações patológicas na face sudoeste do reservatório R05

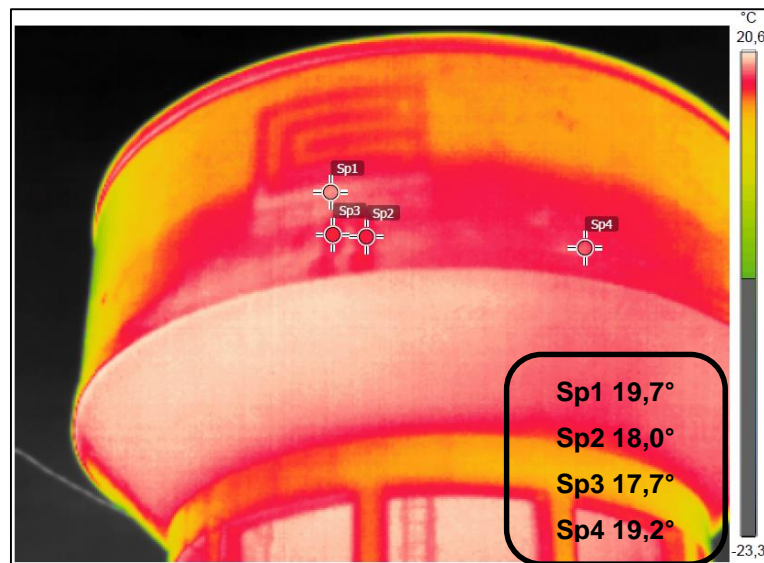


Fonte: Acervo do Autor

Algumas manchas são visíveis nessa parte da estrutura, principalmente próximas ao logo da empresa, como visto na Figura 60(a). Outra patologia bem visível nessa estrutura são algumas manchas e parte do pilar de sustentação apresenta corrosão no concreto, e que é causada por um vazamento na tubulação metálica, mostrado na Figura 60(b). Já na Figura 60(c), há apenas uma parte onde a tinta do reservatório está descascando.

Para a face sudoeste do reservatório R05, vista da Rua Izabel Garaialde Péres, foi feita imagem termográfica mostrada na Figura 61, e com ela pode-se fazer algumas considerações.

Figura 611 – Imagem termográfica na face sudoeste do reservatório R05



Fonte: Acervo do Autor (2017)

Vendo a Figura 61, pode-se notar que os pontos Sp2 e Sp3 estão mais frios que o ponto Sp1 (ponto mais quente registrado na parte externa da estrutura). É provável que nessa região exista uma concentração de umidade, por isso a temperatura se difere do restante da estrutura. Também é notado uma diferença de temperatura na câmara de água, na parte superior está com menor temperatura que a parte inferior. A hipótese levantada é de que a câmera tenha captado o nível da água dentro dessa estrutura, mostrando as diferenças entre os locais com água e onde estaria vazio.

Agora vendo o reservatório R05 ainda da Rua Izabel Garaialde Péres, mas de outro ângulo da face sudoeste, pode-se ver as seguintes anomalias, que são apresentadas na Figura 62.

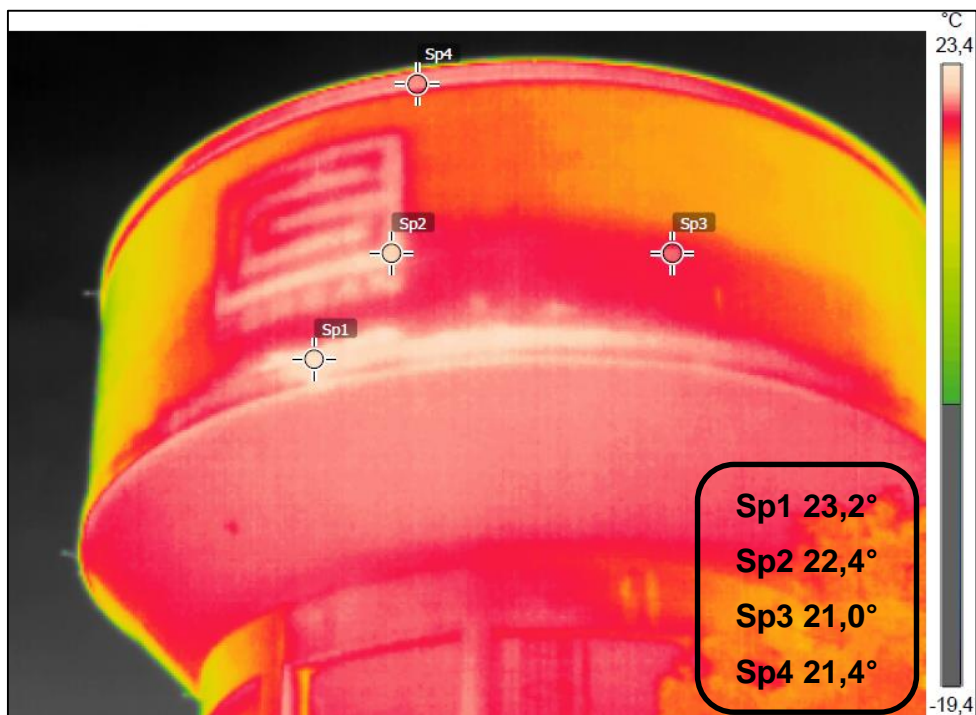
Figura 62 – Manifestações patológicas na face sudoeste do reservatório R05



Fonte: Acervo do Autor

Nessa face, assim como na anterior (Figura 62), vê-se basicamente as mesmas manifestações patológicas. Há apenas uma mancha na parte de cima da viga intermediária e alguns pontos em que a tinta está descascando. Na Figura 63 é possível visualizar a imagem termográfica dessa face.

Figura 63 – Imagem termográfica da face sudoeste do reservatório R05



Fonte: Acervo do Autor

Na Figura 63, é perceptível que o ponto o Sp2, localizado no logotipo da empresa, tem uma temperatura superior comparado à temperatura do restante da estrutura, possivelmente causado pela tinta que deve absorver uma quantia de calor maior que a tinta mais clara. O ponto Sp1 é onde se registra a maior temperatura da estrutura, e se conferir com a Figura 62, é possível notar que é onde se encontra a mancha.

Já a face sudeste, vista da Rua José Lucio Zacaro Farraco, é demonstrada na Figura 64 a seguir.

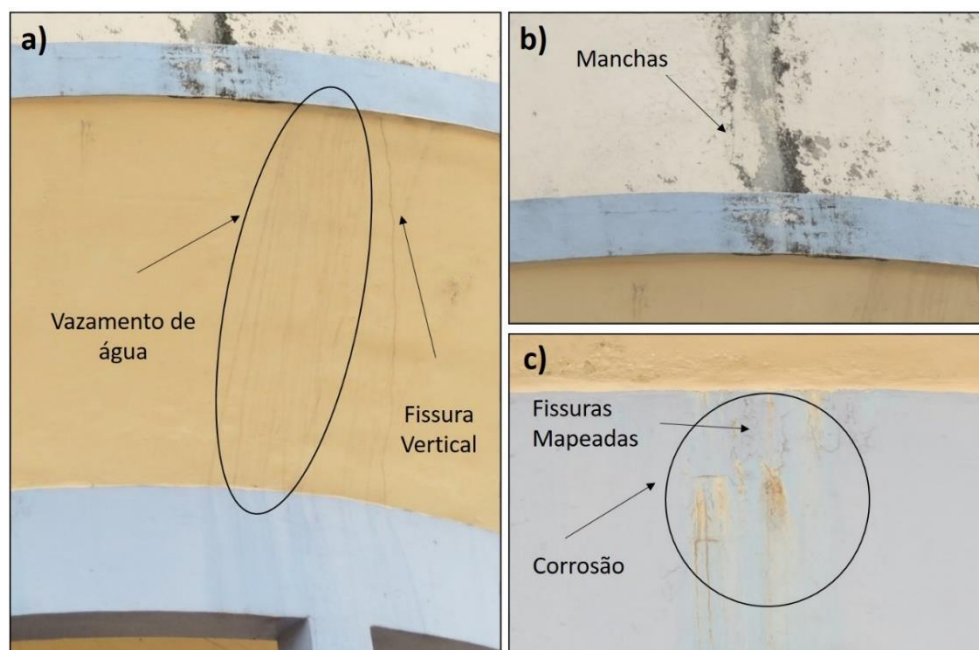
Figura 64 – Vista geral da face sudeste do reservatório R05



Fonte: Acervo do Autor

Na face sudeste foram vistas as seguintes manifestações patológicas, mostradas a seguir na Figura 65.

Figura 65 – Imagens das manifestações patológicas na face sudeste do reservatório R05

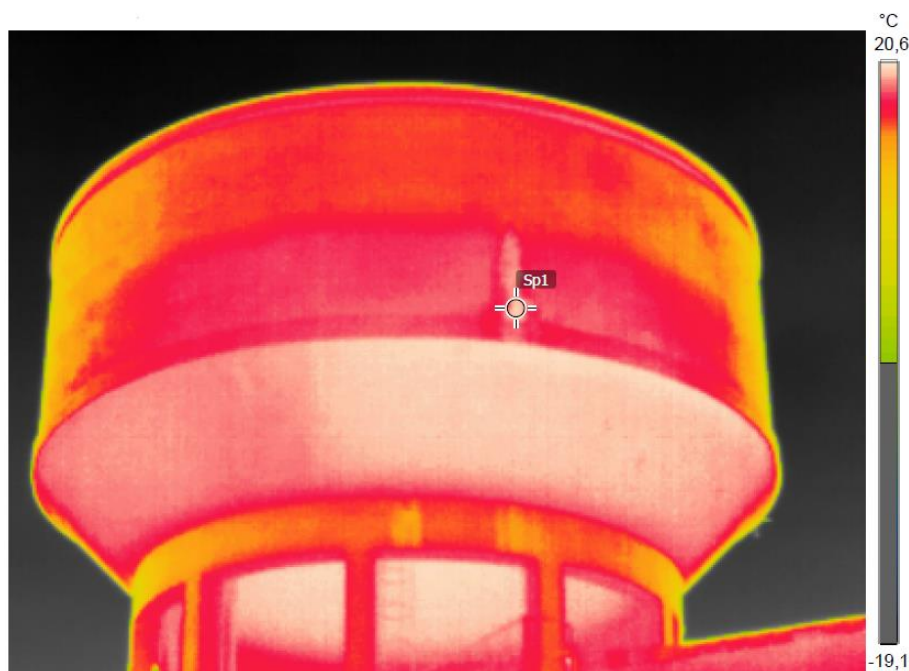


Fonte: Acervo do Autor

Com a melhor visualização das anomalias patológicas dessa face, na Figura 65, pode-se ver que também não há muitas manchas nessa área, apenas uma mancha grande, vista na Figura 65(b). Mas diferente da face anterior (Figura 60) a face sudeste apresenta um vazamento de água, logo abaixo da viga intermediária, vista na Figura 65(a). Já a Figura 65(c) mostra algumas fissuras mapeadas e delas saem manchas provindas da corrosão das armaduras.

Após isso, fizeram-se as imagens termográficas dessa face do reservatório R05, que está exposta na Figura 66.

Figura 66 – Imagem termográfica na face sudeste do reservatório R05



Fonte: Acervo do Autor

Assim como dito anteriormente, as maiores temperaturas encontram-se na seção afunilada da estrutura, não sendo possível identificar a provável causa disso, foi desconsiderado da análise.

Na Figura 66 fica bem notável o local onde se encontra a mancha escura (bolor) mostrada na Figura 65(b), e sabe-se que esse local está mais quente que a superfície do reservatório, motivado pela grande absorção de energia solar do bolor.

Feita as análises dos reservatórios, pode-se fazer os seguintes diagnósticos dos casos encontrados:

- **Manchas:** diferente dos outros reservatórios analisados, essa estrutura não possui uma grande quantidade de manchas em suas faces. As manchas são vistas principalmente onde há fissuras mapeadas. Nessas fissuras, há um acúmulo de água, e com isso, a proliferação de bolor é propícia, causando essas manchas escuras. Na Figura 64 é visto uma mancha escura na superfície, e na imagem termográfica da Figura 66 é possível ver que esse local está mais quente que a superfície da estrutura, é provável que haja um pequeno vazamento de água no local, assim a água que ali acumula esquenta

mais rapidamente que o restante da estrutura, com isso acaba se tornando um local favorável ao aparecimento de bolor;

- **Fissuras:** Nas faces analisadas notou-se o aparecimento de algumas fissuras mapeadas, mas a fissura vertical localizada na face sudeste voltada para a vista da Rua José Lucio Zacaro Farraco, que se destaca na Figura 65(a). Ela é provavelmente causada pela movimentação higroscópica abaixo da viga intermediária, isso é motivado pela água que está vazando naquele local, e essa água causa a expansão do material, abrindo assim essa fissura (THOMAZ, 2002);
- **Descascamento da pintura:** como aconteceu em outros casos, o descascamento da pintura mesmo não sendo uma patologia diretamente ligada ao concreto, seu aparecimento poderá acumular água na superfície. A provável causa pode ser a má execução da limpeza na superfície, fazendo com que a tinta se solte da parede;
- **Corrosão das armaduras:** em um ponto da viga inferior, vista da face voltada para a Rua José Lucio Zacaro Farraco (Figura 65(c)) é possível ver que há incidência de ferrugem saída de uma corrosão das armaduras da estrutura. Essa corrosão deve ter ocorrido pelas fissuras mapeadas ali encontradas, a fissura deixa que a água externa percole pela estrutura e acaba chegando à armadura. A água destrói a película despassivadora que protege as barras da armadura (SOUZA; RIPPER; 1998). Já na Figura 60(b) é percebido que deve haver um vazamento perto de um dos pilares de sustentação (próximo da tubulação metálica) e que ali algumas partes do concreto se desprenderam da estrutura. Provavelmente a água que ali escorria penetrou no pilar e chegou nas armaduras, e com isso surgiu a corrosão da armadura, e como se sabe o ferro possui um volume específico maior que o concreto, e esse volume a mais causa tensões que resulta na fissuração do concreto (SOUZA; RIPPER, 1998);
- **Vazamento de água:** Como acontece nos casos dos reservatórios R02 e R04, o vazamento de água acontece logo abaixo da viga intermediária, que é mostrado na Figura 65(a). Provavelmente há uma fissura nesse local, fazendo com que a água de dentro do reservatório saia. Essa fissura pode ter sido causada pela diferença de temperatura entre a viga intermediária e a superfície

abaixo dela, ou pela má vedação entre os elementos que formam essa estrutura.

Para melhor entender as manifestações patológicas, utilizou-se do estudo de Temp e Andrade (2008) para fins de comparação entre o levantamento feito e o trabalho feito anteriormente, a Figura 67 mostra as diferenças encontradas.

Figura 67 – Antes e depois do reservatório R05



Fonte: (1) Adaptado de Temp e Andrade (2008); (2) Acervo do autor.

Analisando as imagens da Figura 67, pode-se notar que o reservatório não teve uma grande mudança quando se fala em manifestações patológicas. Pelo trabalho de Temp e Andrade (2008), é notado que a estrutura passou por uma pintura, pois está sem as marcas de água que escorreu na parte de baixo da estrutura.

Mas com a comparação, consegue-se notar que com a pintura nova, houve mais descascamento da pintura do que nas imagens mais antigas. Também há mais manchas de bolor do que havia antes da pintura. A única face que não pode ser comparada é a voltada para a Rua José Lucio Zacaro Farraco (Figura 59), que é onde se encontra o vazamento de água, para saber se o problema é antigo ou apareceu recentemente.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Quando se faz análises apenas visuais dos reservatórios é possível ver uma gama de manifestações patológicas nesse tipo de estrutura. Mas muitas vezes apenas é visto o problema superficialmente, não sendo possível descrever a gravidade desse problema.

As análises são realizadas com o auxílio da termografia digital, com isso pode-se visualizar o quanto os problemas podem estar influenciando a estrutura, além de ser possível ver outros problemas ocultos, como a umidade. E mesmo sendo de grande ajuda, a termografia digital ainda é pouco utilizada como auxílio na identificação de manifestações patológicas, principalmente em reservatórios de concreto armado, os trabalhos nessa área geralmente são para fachadas e instalações elétricas.

Através das imagens termográficas, foi possível observar pontos ocultos de umidade nas estruturas, que são os pontos mais frios na superfície. Esses pontos tem uma temperatura menor devido à quantidade de água não ser suficiente para esquentar mais que a superfície, e acaba perdendo calor mais rapidamente que o concreto

Outro benefício da termografia é que se pode distinguir onde há locais com fissura, pois é onde geralmente encontram-se as maiores temperaturas. Nesses locais, além das fissuras também é visto a ocorrência de manchas escuras. É provável que as maiores temperaturas se devem por causa do acúmulo de água nessas áreas, fazendo que os pontos fissurados fiquem mais quentes que o restante da estrutura, e com isso, acaba sendo propício a proliferação de fungos e bolores, causando as manchas escuras na superfície.

Apesar de ser uma ferramenta de grande ajuda, a termografia digital ainda tem algumas desvantagens, principalmente para o diagnóstico das manifestações patológicas encontradas. E como não foi encontrado nenhum trabalho acadêmico realizado em reservatórios de concreto armado utilizando esse ferramenta, as análises podem ter sido prejudicadas.

Dos problemas patológicos vistos, as fissuras são as que mais apareceram nos reservatórios, principalmente as horizontais e verticais. Como dito anteriormente, as fissuras horizontais geralmente se dão pelo fato desse tipo de estrutura passar por

grandes variações de temperatura, e esse acréscimo de temperatura acaba dilatando os materiais, abrindo assim as fissuras.

Além das fissuras, é possível dizer que a manifestação patológica mais recorrente em todos os reservatórios são as manchas escuras, que aparecem principalmente na tampa da estrutura. Outro problema visto em alguma das estruturas analisadas são manchas provenientes da corrosão das armaduras. Esse tipo de anomalia é um aviso que a água que penetrou na estrutura chegou na armadura, podendo comprometer estruturalmente esse reservatório. Quando é possível ver essa anomalia patológica é sinal de que deve haver uma intervenção urgente na estrutura, pois logo ela pode estar comprometida.

Neste trabalho também foram recolhidas algumas informações das estruturas que foram analisadas, como a idade da estrutura, o volume, a localização, mas não foi possível saber quando elas passaram por uma manutenção. Através das comparações feitas com o levantamento feito por Temp e Andrade (2008), foram possíveis saber se houve algum tipo de intervenção nos reservatórios, mas não se pode saber ao certo quais e quando foram feitos.

Com esse trabalho, foi possível deduzir que esse tipo de reservatório, feito em concreto armado, não é a melhor alternativa para regiões onde existe uma grande variabilidade térmica, como é no caso do município de Alegrete. Como se sabe, os materiais que compõe o concreto, em altas temperaturas, se dilatam e em baixas temperaturas eles acabam contraindo, causando assim, vários tipos de fissurações, o que causa grandes problemas nesse tipo de estrutura.

Também foi possível concluir que o reservatório R02 é o que se encontra em pior estado de conservação. Esse reservatório pode estar comprometido, notado principalmente pela grande quantia de manchas de corrosão no seu entorno, que significa que agentes agressivos estão agindo na armadura, afetando seu desempenho e podendo causar graves danos a estrutura.

5.1 Resumo dos problemas encontrados

Para uma melhor compreensão dos problemas encontrados nesse estudo, fez-se um quadro resumo das manifestações patológicas encontradas e das suas prováveis causas. Esse quadro está apresentado a seguir, no Quadro 8.

Quadro 8 – Quadro resumo das manifestações patológicas encontradas

Manifestações Patológicas	Provável Causa	Encontrado em
Umidade	Acúmulo de água na superfície, saída das fissuras	R01
Manchas escuras	Escuras, provindas da proliferação de bolor na superfície da estrutura	R01, R02, R03, R04 e R05
Fissuras horizontais	Causada pela movimentação térmica dos elementos que compõe a estrutura	R01, R02, R03, R04
Fissuras verticais	Causada pelo alto teor de umidade na superfície, ocorrendo então a expansão dos materiais (movimentação higroscópica)	R05
Fissuras mapeadas	Causada pela retração do concreto.	R03, R05
Corrosão	Água chegou na armadura, causando a destruição da película despassivadora da armadura	R01, R02, R05
Microrganismos	Proliferação de microrganismos nos locais com acúmulo de umidade	R01, R04
Vegetação	Sementes que brotaram nos locais fissurados e com umidade	R01
Descascamento da tinta	Aplicação de pintura sobre superfícies sujas, parte soltas na superfície (bolhas), pintura nova sobre pintura velha.	R02, R03, R05
Eflorescência	Formação de depósitos de sais na superfície da edificação. Esse tipo de anomalia ocorrerá por três fatores: teor de sais solúveis, a presença de água e pressão hidrostática própria para a migração das soluções para a superfície.	R02
Vazamento de água	Água do interior da estrutura vaza pelas fissuras encontradas na superfície	R01, R02, R04, R05
Bolhas	Umidade, sujeira na superfície, reboco fraco,	R03, R04

Fonte: Elaboração própria

5.2 Sugestões para trabalhos futuros

- Comparar as imagens termográficas em diferentes estações do ano;
- Coletar e estudar as imagens termográficas em reservatórios em diferentes horários;
- Influência do ângulo em que a imagem é feita;
- Utilização de algoritmos para criação de histogramas.

REFERÊNCIAS

AMARAL, J. C. **Tensões originadas pela retração em elementos de concreto com deformação restringida considerando-se o efeito da fluência.** 2011. 113f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2011.

AMBROSIO, T. S. **Patologia, tratamento e reforço em estruturas de concreto no metrô de São Paulo.** 128f. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Anhembi Morumbi. São Paulo, 2004.

ANTUNES, G. R. **Estudo de manifestações patológicas em revestimentos de fachada em Brasília – Sistematização da incidência de casos.** 199f. Dissertação (Mestrado). Universidade de Brasília. Goiás, 2010.

ARIVABENE, A. C. **Patologia em estruturas de concreto armado: estudo de caso.** Revista Especialize On-line IPOG. Edição nº 10. Vol. 01/2015. Goiânia, dezembro/2015.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118:** Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

____. **NBR 12217:** Projeto de reservatório de distribuição de água para abastecimento público. Rio de Janeiro, 1994.

____. **NBR 15575-1:** Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.

____. **NBR 15575-2:** Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos para os sistemas estruturais. Rio de Janeiro, 2013.

BARIN, D. S. **Carbonatação e absorção capilar em concretos de cimento Portland branco com altos teores de adição de escória de alto forno e ativador químico.**

171f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Santa Maria, 2008.

BARREIRA, E. S. B. M. **Aplicação da termografia ao estudo do comportamento higrotérmico dos edifícios**. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Universidade do Porto. Porto – Portugal, 2004.

BAUER, L. A. F. **Materiais de construção**. 5ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 1994.

BAUER, E. PAVÓN, E. HILDENBERG, A. **Erros na utilização de parâmetros termigráficos da argamassa e da cerâmica na detecção de anomalias em revestimentos**. Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Porto Alegre, Abril 2016. 12p.

BISSA, R. C. R. **Sistemas de impermeabilização e proteção de estruturas de concreto armado de reservatórios de água tratada atacados por cloretos**. 2008. Monografia (Especialização) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. Minas Gerais, 2008.

BORGES, M. G. **Manifestações patológicas incidentes em reservatórios de água elevados executados em concreto armado**. 111f. Monografia. Universidade Federal de Feira de Santana. Feira de Santana, Bahia, 2008.

CASTRO, J. L. S., FINKLER, A., MILKE, T. F. **Uso da termografia em manutenção preditiva de redes de distribuição**. In: SALÃO DO CONHECIMENTO – UNIJUI, Ijuí, 2016. Anais.

Cimento Itambé. **Carbonatação do Concreto**. Disponível em: <<http://www.cimentoitambe.com.br/carbonatacao-do-concreto/>>. Acesso em 20 de outubro 2016.

CORSAN (1). **Galeria de imagens.** Disponível em: <<http://www.corsan.com.br/galeria-de-imagens-2>>. Acesso em 05 de setembro de 2016.

CORSAN (2). **Informações sobre reservatórios,** Alegrete, 2017. Documento interno.

CORTIZO, E.C. **Avaliação da técnica de termografia infravermelha para identificação de estruturas ocultas e diagnóstico de anomalias em edificações: ênfase em edificações do patrimônio histórico.** Tese (Doutorado). 178f. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2007.

FERREIRA, L. S. **Critérios para cálculo e detalhamento de reservatórios de concreto armado.** 146f. 2015. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2015.

FILHO, C. F. M. **Notas de Aula Saneamento Básico.** Disponível em: <<http://www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/Reserv01.html>>. Acesso em 5 de setembro de 2016.

FLIR [1]. Manual do utilizador. Novembro de 2010. Disponível em: <https://www.eletopecas.com/_uploads/ProdutoDownload/produto_6419.pdf>. Acesso em 10 de maio de 2017.

FLIR [2]. Reference manual. Agosto de 2007. Disponível em: <https://www.instrumart.com/assets/thermacam_manual.pdf>. Acesso em 01 de junho de 2017.

FERNANDES, C. **Reservatórios de água:** capítulo IX. Notas de aula. UFCG. Disponível em: <<http://www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/Reserv01.html>>. Acesso em 08 de março de 2017.

HALLIDAY, D; RESNICK, R.; WALKER, J. **Física I. v. 2: gravitação, ondas e termodinâmica**, 8ª Ed., Rio de Janeiro: LTC, 2006.

HASPARYK, N. P. **Investigação de concretos afetados pela reação álcali-agregado e caracterização avançada do gel exsudado**. 2005. 326f. Tese (doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre, 2005.

HELENE, P. R. L. **Corrosão em armaduras para concreto armado**. 1 ed. São Paulo: Ed. Pini, 1986

KUEHN, A. **Comparação entre métodos de análise estrutural pra reservatórios retangulares de concreto armado**. 221f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis/SC, 2002.

LAPA, J. S. **Patologia, recuperação e reparo das estruturas de concreto**. 2008. 56f. Monografia (Especialização em Construção Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

LICHTENSTEIN, N. B. Patologias das construções: procedimento para diagnóstico e recuperação. **Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP**, São Paulo, BT 06/86, 1986

MARCELLI, M. **Sinistros na construção civil – causas e soluções para danos e prejuízos em obras**. Ed. 1. São Paulo: PINI, 2007.

MENDONÇA, L. V. **Termografia por infravermelhos: inspeção de betão**. Revista Engenharia e Vida. Nº 16. Setembro 2005, pg. 53-57.

MENDONÇA. L.V. AMARAL, M. M. CATARINO, P. S. **A termografia por infravermelhos como ferramenta para auxílio à inspeção e manutenção de edifícios**. SPY Building. Encontrado em:

<<http://www.spybuilding.com/private/admin/ficheiros/uploads/6b0dca6c9e15cc51dc73bde0562a31d5.pdf>>. Acesso em 15 de outubro 2016.

OLIVEIRA, G. F. P. **Potencialidades da termografia para o diagnóstico de patologias associadas à humidade**. 194f. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Porto. Porto, 2013.

PEREIRA, E. **Patologias em reservatórios de água potável**. Dissertação (Mestrado). Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2010.

PREFEITURA MUNICIPAL DE ALEGRETE. **Mapa da Cidade de Alegrete**, Alegrete, 2017.

RACHID, L. E. F., LONDERO, C. **Levantamento de patologias em reservatórios de concreto armado no município de Cascavél – PR**. Revista Técnico-Científico do CREA-PR. Edição 1. Outubro 2013. P. 1 – 17.

RAMOS, J.M.G. **Análise e dimensionamento de reservatórios semi-enterrados circulares de betão armado pré-esforçado**. 2010. 193f. Dissertação (Mestrado – Especialização em Estruturas) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Portugal, 2010.

Revista Construção Mercado [on-line]. **Reservatórios d'água de concreto**. Edição 114, Rio de Janeiro, janeiro 2011. Disponível em: <<http://construcaomercado.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/114/artigo299448-1.aspx>>. Acesso em 07 de setembro.

Revista Digital AECWeb[1]. [S.l.]. **Corrosão do concreto é causada por umidade e gases nocivos**. Disponível em: <http://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/corrosao-do-concreto-e-causada-por-umidade-e-gases-nocivos_6412_0_1>. Acesso em 03 de outubro 2016.

Revista Digital AECWeb[2]. [S.I.] **Patologias da pintura**. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/patologias-da-pintura-saiba-evitalas_6272_0_0>. Acesso em 02 de junho 2017.

Revista Digital AECWeb[3]. [S.I.] **Patologias do concreto**. Disponível em: <http://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/patologias-do-concreto_6160_10_0>. Acesso em 05 de outubro 2016.

Revista Infraestrutura Urbana – projetos, custos e construção. [S.I.] **Saneamento: soluções técnicas**. Edição 36. Março 2014. Disponível em: <<http://infraestruturaurbana.pini.com.br/solucoes-tecnicas/36/artigo307650-1.aspx>>. Acesso em 6 de setembro de 2016

Revista Técnica. [S.I.] **Lixiviação x carbonatação**. Edição 151. Outubro 2009. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/151/ipt-responde-lixiviacao-x-carbonatacao-285779-1.aspx>>. Acesso em 04 de outubro 2016.

SANTOS, A. V. B. **Corrosão de armadura em estruturas de concreto armado devido a carbonatação**. Revista Especialize on-line IPOG. Edição n10, vol. 01/2015. Goiânia. Dezembro de 2015.

SANTOS, L. **Termografia infravermelha em subestações de alta tensão desabrigadas**. 129f. Dissertação (Mestrado). Programa da Pós-Graduação em Engenharia Energia. Universidade Federal de Itajubá. Itajubá/MG, 2006.

SOUSA, L. F. R. **Aplicação de termografia no estudo do isolamento térmico de edifícios**. 128f. Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia Mecânica. Universidade de Aveiro, Portugal. 2010.

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

STORE, M. **Manifestações patológicas na impermeabilização de estruturas de concreto em saneamento**. Instituto Brasileiro de Desenvolvimento da Arquitetura – Fórum da Construção. Disponível em: <<http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=20&Cod=703>>. Acesso em 10 de outubro de 2016.

SHIRAKAWA, Márcia Aiko et al. Identificação de fungos em revestimentos de argamassa com bolor evidente. In: I SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, Goiânia, 1995. **Anais**. P.402-10.

TCP - Engenharia Civil. **Novos materiais que tornarão prédios mais tecnológicos**. Disponível em: <<http://tcpengenhariacivil.com.br/2014/09/novos-materiais-que-tornarao-predios-mais-tecnologicos/>>. Acesso em 20 de novembro de 2016.

TEMP, A. L., ANDRADE, E. NETO, A. B. S. S., LIMA, R. C. A. Levantamento de patologias em reservatórios de concreto armado na região oeste do Rio Grande do Sul. In: 50º CONGRESSO BRASILEIRO DE CONCRETO – IBRACON, Salvador, 2008. **Anais**. P. 10.

THOMAZ, E. **Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação**. 1ª Ed., São Paulo: PINI, 2002.

VALENTE, L. S. [S.I.] **Patologias estruturais causadas por efeitos de sismo, explosão e exposição a o fogo**. *Engenharia Estudo e Pesquisa*. ABPE, Rio de Janeiro, v. 14, n. 2, jun./dez. 2014. Disponível em: <http://www.revistaeeep.com/imagens/volume14_02/cap02.pdf>. Acesso em 07 de março de 2017.