

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS

CAMPUS SERTÃO

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

VIVIAN STEFANNY RODRIGUES DA SILVA

ANÁLISE DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NO RESERVATÓRIO DA
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA - ETA DO MUNICÍPIO DE OLHO D'ÁGUA
DO CASADO (AL)

DELMIRO GOUVEIA

2023

VIVIAN STEFANNY RODRIGUES DA SILVA

**ANÁLISE DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NO RESERVATÓRIO
DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA - ETA DO MUNICÍPIO DE
OLHO D'ÁGUA DO CASADO (AL)**

**Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de
Engenharia Civil da Universidade
Federal de Alagoas – UFAL,
Campus Sertão, como requisito
parcial à obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.**

**Orientadora: profa. Me. Jéssica
Beatriz da Silva**

**Coorientador: prof. Me.
Alexandre Nascimento de Lima**

DELMIRO GOUVEIA – AL

2023

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca do Campus Sertão
Sede Delmiro Gouveia

Bibliotecária responsável: Renata Oliveira de Souza CRB-4 2209

S586a Silva, Vivian Stefanny Rodrigues da

Análise de manifestações patológicas no reservatório da Estação de Tratamento de Água – ETA, do município de Olho D'Água do Casado (AL) / Vivian Stefanny Rodrigues da Silva. - 2023.

77 f. : il.

Orientação: Jéssica Beatriz da Silva.

Coorientação: Alexandre Nascimento de Lima.

Monografia (Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas. Curso de Engenharia Civil. Delmiro Gouveia, 2023.

1. Engenharia Civil. 2. Estação de Tratamento de água – ETA. 3. Manifestações patológicas. 4. Reservatório. 5. Concreto armado. 6. Olho D'Água do Casado – Alagoas. I. Silva, Jéssica Beatriz da. II. Lima, Alexandre Nascimento de. II. Título.

CDU: 628.012.81

Folha de Aprovação

VIVIAN STEFANNY RODRIGUES DA SILVA

ANÁLISE DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NO RESERVATÓRIO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA - ETA DO MUNICÍPIO DE OLHO D'ÁGUA DO CASADO (AL)

Trabalho de Conclusão de
Curso submetido à banca
examinadora do curso de
Engenharia Civil da
Universidade Federal de
Alagoas – Campus Sertão e
aprovada em 29 de julho de
2023.

Documento assinado digitalmente



JESSICA BEATRIZ DA SILVA
Data: 03/08/2023 11:18:41-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Documento assinado digitalmente



ALEXANDRE NASCIMENTO DE LIMA
Data: 03/08/2023 11:35:13-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof.^a Me.^a Jessica Beatriz da Silva (Orientadora)

Prof.^o Me.^o Alexandre Nascimento de Lima (Coorientador)

Banca examinadora:

Documento assinado digitalmente



LUCAS DA SILVA TEIXEIRA
Data: 07/08/2023 10:20:05-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Engenheiro Lucas da Silva Teixeira (Examinador Externo)

Documento assinado digitalmente



ODAIR BARBOSA DE MORAES
Data: 08/08/2023 14:59:08-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof.^o Dr.^o Odair Barbosa de Moraes (Examinador Interno)

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, a **Deus**, que permitiu que meus objetivos fossem alcançados, durante todos os meus anos de estudos. Que me fez forte quando desde o início do curso enfrentei todas as dificuldades da gestação e da maternidade assimilados com a realização deste sonho. Obrigada pai celestial, por ser sempre o meu alicerce, por me conceder bênção inimagináveis. Tua graça e teu amor preenchem meu coração de gratidão por essa conquista.

Em segundo lugar ao meu filho **Artur**, que desde o meu ventre foi e é a minha motivação diária, que me ensinou a ser forte e persistente. Nos dias difíceis sempre pensei na vida dele e o quanto precisaríamos alcançar esse objetivo. Desde a sua chegada a realização desse sonho não era mais somente por mim, mas principalmente por você, meu filho amado. Espero que quando você crescer possa se orgulhar dessa mãe que lutou incansavelmente para estudar e poder te proporcionar sempre o melhor com humildade e dignidade.

A minha mãe **Joelma**, que sempre foi um espelho de mulher forte e guerreira, que com os seus conselhos e afeto foi o meu refúgio durante essa trajetória. O seu amor me impulsionou a ser sempre uma pessoa melhor e ir atrás de tudo o que almejo.

Ao meu pai **Valentim**, por sempre acreditar que eu seria capaz, por ter sido sempre meu porto seguro e me ensinar, incentivar e encorajar a buscar horizontes cada vez mais distantes pela mulher corajosa que ele me ensinou a ser.

Ao meu irmão **Matheus**, que sempre cuidou tão bem de mim, por diversas vezes me falava uma palavra de conforto que me fazia seguir em frente. Obrigada por essa irmandade e por além de irmão ser meu amigo.

A vocês três, mainha, painho e Matheus, muito obrigada por terem cuidado e amado o nosso Artur durante a minha graduação, enquanto eu ficava ausente para estudar, sem esse apoio de vocês nada disso seria possível.

À minha família, por todo o apoio e oração, apesar da distância sempre estarem presentes, em especial à minha **avó Doralice**, por sempre acreditar na minha capacidade e por todo amor e carinho que sempre demonstrou por mim. A minha **tia Maria** e minhas primas **Edrise** e **Luana**, por estarem sempre vibrando por minhas

conquistas, pelas ligações de desabafos e pelos conselhos que sempre me fizeram ir mais longe.

Ao **Anderson**, homem que escolhi para viver, que outrora namorado e hoje marido, que faz parte dos meus dias, dos meus planos e sonhos, que enfrenta comigo as batalhas diárias e partilha comigo de uma vida de aprendizados, que me auxilia, me conforta e me dá o apoio necessário para crescer. Obrigada por todo seu companheirismo e amor.

Agradeço ao meu grupinho de amigas da faculdade que sei que será para a vida, **Cleyslanny, Rikelly, Nathalie, Isabelly e Vitória** que desde o início seguimos firmes, partilhando de momentos bons e ruins, vocês tornaram a trajetória mais leve e especial, obrigada por tanto durante esses anos. Aos meus amigos, **Giovanni, Micael, Josiclécio, Hildergard, Matheus, Edton, Helder e Pedro** que sempre me ajudaram e me impulsionaram a continuar nessa caminhada, obrigada pela amizade de vocês, pelos virotes de estudos e pelos momentos de curtidão, levarei vocês no meu coração sempre. Muito obrigada a todos vocês que dividiram esses anos comigo, não sei como teria sido sem vocês.

A família do meu marido que me acolheu e amou, em especial a minha sogra **Lucineide** e minha cunhada **Danielle**, que sempre me incentivaram a realizar esse sonho.

A minha professora e orientadora **Jéssica**, por ter topado enfrentar esse último desafio da graduação comigo, por ter sido paciente e atenciosa, por sempre me falar que diante das adversidades da minha rotina, eu iria conseguir. Com você pude aprender tanto de maneira acadêmica quanto como exemplo de profissional. Obrigada por todos os ensinamentos.

Ao meu coorientador **Alexandre**, por ter sido durante toda a produção deste trabalho, muito solícito, atencioso e prestativo, pela paciência em ter que me responder sempre nos horários que deveria estar descansando. Você externa o amor por sua profissão e é admirável de ver, obrigada por toda a sua contribuição e amizade.

Ao professor **Rogério** que virou além de um amigo, um pai de coração, obrigada por toda ajuda e companheirismo nesses anos. Por todas as palavras de conforto e por todos os puxões de orelha, não tenha dúvidas que tudo o que sempre fez por mim foi essencial para todas as conquistas até aqui. Saiba que não somente

como profissional, mas como pessoa, você foi peça fundamental para onde cheguei e chegarei. Meu muito obrigada!

A professora **Viviane**, que durante uma das fases mais delicadas da minha vida pessoal e acadêmica me acolheu e amparou, me deu carinho e me fez me sentir forte e incrível. Mulheres poderosas, empoderam outras mulheres... e assim você fez comigo. Obrigada!

Ao professor **Odair**, que chegou no campus conquistando um pedacinho do meu coração com sua bela personalidade, grande profissionalismo e alegria contagiante. Tornando os dias mais leves e produtivos.

Ao meu supervisor de estágio e agora amigo **Lucas**, pela linda amizade que cultivamos, por todos os aprendizados, momentos, irmandade e apoio durante esses anos. A nossa amizade foi enriquecedora para minha vida profissional e pessoal. Muito obrigada por ter sido tão importante nessa realização, seus conselhos foram todos essenciais.

Aos meus colegas de trabalho **Emerson, Alan, Mariana, Wesley, Jediael, Rafael, Arnaldo e Douglas** que compartilharam comigo dias corridos de trabalho e estudo, que sempre puderam contribuir para meu crescimento profissional, além de terem contribuído de forma significativa diretamente e indiretamente na conclusão desse trabalho. Muito obrigada!

A todos, a minha imensa gratidão, sozinha eu não teria chegado até aqui.

Muito obrigada!

“A persistência é o caminho do êxito”.

Charles Chaplin

RESUMO

O desenvolvimento de estudos sobre materiais construtivos permitiu observar que o concreto armado é umas das técnicas construtivas que mais trazem benefícios em relação ao tempo de usabilidade e resistência, sendo empregada em diversos tipos de edificação, no entanto, esse material é suscetível a variadas manifestações patológicas. O presente estudo analisa a existência de manifestações patológicas do concreto armado em um reservatório da Estação de Tratamento de água (ETA) no município de Olho D'Água do Casado (AL), o tema é de relevância devido ao uso com fim público do reservatório e a escolha do material construtivo em questão. Entretanto, como frequente em estruturas de concreto, o estudo observou que o reservatório em questão poderia apresentar diversas manifestações patológicas. A metodologia compreendeu a pesquisa mista: campo e bibliográfica. Para a aferição dos resultados do estudo, foram utilizadas técnicas de Ensaios Não Destrutivos (END), destacando-se a inspeção da ETA objeto do estudo, bem como ensaios de Esclerometria e termografia, as quais, apoiadas nos referenciais teóricos selecionados entre os estudos da área, permitiram elaborar o mapa de danos da edificação, bem como a tabela GUT (Gravidade x Urgência x Tendência) que permitirá possíveis intervenções, saneando as patologias identificadas. Na parte documental, foram investigados o histórico da edificação, que permitiu haver uma mensuração sobre os danos e a relação do tempo de existência e qualidade do material construtivo; elaborou-se também a revisão bibliográfica acerca da temática apresentada e os principais aspectos envolvendo as patologias do concreto. A pesquisa verificou presentes no reservatório uma quantidade importante de patologias, tais como corrosão da malha de aço, brechas e fissuras, o que, dada a sua frequência de uso e suas características, demandam intervenção imediata, uma vez que é possível que existam danos comprometedores em médio prazo, da vida útil do reservatório, comprometendo tanto o seu desempenho, quanto a qualidade da água fornecida à comunidade.

Palavras-chave: patologias; reservatórios; concreto armado; manutenção; diagnóstico.

ABSTRACT

The present study analyzes the existence of concrete pathologies in a reservoir of the Water Treatment Station (ETA) in the municipality of Olho D'Água do Casado (AL) the theme is of relevance due to the public use of the reservoir and the choice of the constructive material in question, the reinforced concrete. Over time and the development of studies on building materials, it was observed that reinforced concrete is one of the building forms that bring the most benefits in terms of usability and resistance. However, like all concrete structures, the study observed that the reservoir in question could present several known pathologies. The general objective, therefore, included the investigation of the reservoir, its general characteristics and the development of pathologies. As specific objectives, we sought to understand the dynamics of pathologies, their analysis process from an academic perspective, classification and proposition of solutions, according to what the specialized literature recommends, as well as the Brazilian Technical Standards (NBR). The methodology comprised the mixed research: field and bibliography. For the field research, technical visits to the reservoir in question (surveys) were interpolated with the use of equipment, in order to carry out non-destructive tests and photographic records. In the documentary part, the history of the building was investigated, which allowed for a measurement of the damage and the relationship between the time of existence and the quality of the construction material; A bibliographical review was also elaborated on the theme presented and the main aspects involving concrete pathologies. The research found a significant number of pathologies present in the reservoir, which, given its frequency of use and its characteristics, demand immediate intervention, since it is possible that there are damages in the medium term, compromising the useful life of the reservoir, compromising both its performance and the quality of the water supplied to the community.

Keywords: pathologies; reservoirs; reinforced concrete; maintenance; diagnosis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Causas dos problemas patológicos em estruturas de concreto no Brasil. .20	20
Figura 2: Resumo das causas do aparecimento da umidade nas construções civis.27	27
Figura 3: Trincas e fissuras em superfície de concreto28	28
Figura 4 - Diagrama de Pourbaix.29	29
Figura 5: Avanço do processo de carbonatação no concreto.....30	30
Figura 6: Indício de carbonatação em estrutura de concreto.....31	31
Figura 7: Indício de corrosão por cloreto em estrutura exposta à maresia.....32	32
Figura 8: Indício de eflorescência em concreto33	33
Figura 9: Classificação dos diferentes reservatórios segundo a NBR 1221734	34
Figura 17: Localização do objeto de estudo42	42
Figura 18: Reservatório apoiado analisado43	43
Figura 10: Esclerômetro45	45
Figura 11: Ábaco de conversão para resistência.....46	46
Figura 12: Termovisor.47	47
Figura 15: Fissura e rachadura presente da laje de cobertura do reservatório49	49
Figura 16: Rachadura e vazamento no reservatório analisado50	50
Figura 17: Umidade e infiltração na edificação analisada51	51
Figura 18: Infiltração e destacamento da pintura.....52	52
Figura 19: Manchas e eflorescência ao longo da edificação53	53
Figura 20: Manchas de oxidação na tubulação externa54	54
Figura 21: Brechas mais importantes observadas na edificação.....55	55
Figura 22: Zonas de corrosão ao longo da superfície do reservatório vistoriado.....56	56
Figura 23: Área do ensaio preparada através do uso do carborundum.....57	57
Figura 24: Pontos de impacto na parede 1.....57	57
Figura 25: Realização do ensaio na parede 158	58
Figura 26: Realização do ensaio na parede 259	59
Figura 27: Análise termográfica da parede com vazamento e comparação com imagem real.....64	64
Figura 28: Análise termográfica da parede com vazamento em comparação com a imagem real.....65	65
Figura 29: Comparação com imagem real da análise termográfica da parede com destacamento de pintura e infiltração.....65	65

Figura 30: Comparação com imagem real da análise termográfica da parede com manchas.....	66
Figura 31: Representação global do reservatório ETA alvo do estudo.....	67
Figura 32: Representação das principais patologias encontradas (corte lateral)	67
Figura 33: Representação das principais patologias encontradas (porção lateral traseira)	68
Figura 34: Representação dos principais danos encontrados (corte superior)	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Análise percentual das causas de problemas patológicos em estruturas de concreto	21
Tabela 2: Causas intrínsecas das manifestações patológicas.	23
Tabela 3: Causas extrínsecas das manifestações patológicas.	24
Tabela 4: Processos de deterioração e suas causas relacionadas.	25
Tabela 5: Classificação quanto ao tipo de abertura.....	28
Tabela 6: Ferramenta GUT.	39
Tabela 7: Resultado dos ensaios de esclerometria	60
Tabela 8: Tabela de referência ábaco	60
Tabela 9: Classe de Agressividade Ambiental.	61
Tabela 10: Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto	61
Tabela 11: Tabela GUT aplicada à edificação alvo do estudo.....	68

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ETA – Estação de Tratamento de Água

CBIC – Câmara Brasileira da Indústria da Construção

FCK – Festigkeitsklasse (resistência característica)

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

NBR – Normas Brasileiras

END – Ensaio Não Destrutivo

GUT – Gravidade, Urgência e Tendência

ABENDI – Associação Brasileira de Ensaio Não Destrutivo

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 Justificativa	17
1.2 Objetivo Geral.....	18
1.3 Objetivos específicos	18
2 REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1 Manifestações patológicas.....	19
2.1.1 Causas e origens das Manifestações Patológicas.....	22
2.2 Tipos de Manifestações Patológicas.....	26
2.2.1 Danos por umidade	26
2.2.2 Trincas e fissuras.....	27
2.2.3 Corrosão da armadura do concreto	29
2.2.4 Eflorescência	32
2.3 Reservatórios de água.....	33
2.3.2 Tipos de reservatório	34
2.3.3 Reservatórios de concreto armado.....	34
2.4 Ensaaios Não Destrutivos (END)	35
2.4.1 Termografia	35
2.4.2 Esclerometria.....	36
2.4.3 Ultrassom	37
2.6 Ferramenta GUT	38
2.7 Mapa de Danos.....	40
3 METODOLOGIA.....	41
3.1 Caracterização do objeto de estudo.....	41
3.2 Coleta de dados.....	43
3.3 Inspeção do objeto de estudo.....	44
1.2.1 Ensaio de esclerometria	44

1.2.2 Ensaio de termografia.....	46
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	48
4.1 Resultados das vistorias	48
4.1.1 Fissuras e rachaduras	48
4.1.2 Rachadura e vazamento.....	49
4.1.3 Umidade e infiltração	50
4.1.4 Infiltração e destacamento da pintura.....	51
4.1.5 Manchas e eflorescência.	52
4.1.6 Manchas de oxidação nas tubulações externas.	53
4.1.7 Brechas.	54
4.1.8 Corrosão	55
3.4 Ensaio de esclerometria	56
3.5 Ensaio de termografia.....	63
3.6 Mapa de Danos.....	66
3.7 Tabela GUT	69
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	70
5 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	72
REFERÊNCIAS	73

1 INTRODUÇÃO

Este estudo busca abordar em um estudo de caso, patologias comuns do concreto armado, as quais podem acometer estruturas destinadas à reserva de água, como as Estações de Tratamento (ETA) e outras classes de reservatórios. Santos (2019) menciona Souza e Ripper, para destrinchar o conceito de patologia, classificando-o como sendo o ramo da Engenharia cuja intervenção tem como endereço, as origens, manifestações e formas, assim como consequências e mecanismos que, com a presença dos mencionados agentes, são capazes de promover a degradação das estruturas (SANTOS, 2019). O autor (2019) ainda cita Borges (2008) para explicar que as patologias das edificações são problemas que são erradicáveis, uma vez identificadas as causas e as dinâmicas.

Uma análise sobre a temática permite observar que as patologias estruturais passam a ser algo mais observável, e na academia, especialmente após a popularização das estruturas de concreto no século XX, se tem trabalhado a orientação de que os problemas associados às patologias estruturais podem ser altamente nocivos e de que é de grande importância a sua compreensão dinâmica para a proposição de medidas de saneamento, uma vez que, cada vez mais, grandes estruturas são construídas em concreto armado (e em alvenaria de um modo geral) o que faz com que os inconvenientes e os riscos a que são expostas as pessoas que têm contato com tais estruturas passem a ser uma realidade cada vez mais palpável.

Neste sentido, considerando a origem humana e ambiental das manifestações patológicas do concreto, uma classe de estruturas que tem uma propensão mais sensível a uma gama ampla de patologias são os reservatórios e, como no caso em estudo, uma Estação de Tratamento de Água (ETA) tanto pelo seu porte em geral, quanto pela alta exposição a líquidos e umidade.

Neste trabalho, o objeto de estudo será uma ETA, situada no município alagoano de Olho D'Água do Casado, responsável por parte do abastecimento da população local. A estrutura é executada em concreto armado, e possui aproximadamente 23 anos de existência, sendo edificada no ano de 2000.

Na execução deste trabalho, a estrutura passará por vistoria, que será de importância para que se observe desde a manifestação de patologias estruturais aparentes a patologias que dependem de instrumentação específica para mensurar o potencial dos danos apresentados e, quando possível, sugerir possíveis intervenções nos danos relatados.

A escolha do objeto de estudo teve como critérios favorecedores, a relevância para a comunidade na qual a ETA se encontra, dado que a população depende da sua adequada conservação para o acesso à água potável; o aspecto geral demonstrado pelo reservatório, o qual já era de conhecimento da pesquisadora desde os semestres iniciais da sua formação, bem como a importância de visualizar, na prática, os efeitos das patologias do concreto em grandes estruturas, já que, na região da pesquisadora, esta é uma das maiores estruturas em concreto armado disponíveis para estudo.

1.1 Justificativa

O uso de reservatórios, especialmente em comunidades como Olho D'Água do Casado, no qual o abastecimento de água é realizado por meio de captação via adutora, são parte importante da manutenção da qualidade de vida local, já que nos reservatórios é possível tratar e distribuir a água à população de maneira mais econômica e segura.

Todavia, os reservatórios, por se destinarem ao contato constante com o meio líquido representam um desafio à Engenharia, dado que o ambiente aquoso é favorável ao desenvolvimento de diversas patologias químicas, em especial aquelas que se desenvolvem a partir da interação com os sais componentes do concreto. Conhecer e intervir sobre estas patologias, é um passo necessário para que haja o prolongamento de sua vida útil (TORRES et al., 2016).

Nesta perspectiva, dois aspectos são fundamentais e devem ser visualizados pelo responsável pela execução da estrutura: a sua estanqueidade e impermeabilização, garantindo assim que as já presentes condições do meio aquoso interno não comprometam a usabilidade do reservatório.

A análise da produção acadêmica sobre o tema permite observar que o tema das ocorrências patológicas em reservatórios e ETAs é algo que merece atenção, os estudos de Tinoco e Moraes (2013 apud SANTOS, 2019) mostraram que em um universo grande de reservatórios inspecionados, cerca de 99% possuíam fissuras, um problema que, embora pareça pequeno e sem importância é capaz de comprometer a vida útil deste tipo de edificação.

Isto posto, fica evidente como a abordagem ao tema das patologias estruturais em reservatórios de concreto é uma matéria de importância, dado que poderá este trabalho dar espaço para que novas pesquisas possam ser conduzidas sobre a

temática e, desta forma, se possa contemplar formas de terapias sobre tais patologias, permitindo assim uma maior qualidade deste tipo de edificação.

Outro fator importante abordado neste trabalho é que o reservatório em discussão é a única fonte de água potável no município, e que a suspensão do seu uso decorrente de reformas ou mesmo de consertos na estrutura, tanto causam enormes contratempos à população, quanto ainda oneram empresas e pessoas envolvidos na necessidade da renovação da estrutura para seu uso em atividades fins.

1.2 Objetivo Geral

Identificar e classificar as manifestações patológicas encontradas no reservatório ETA executado em concreto armado no município de Olho D'Água do Casado (AL) recomendando possíveis medidas de saneamento das patologias identificadas.

1.3 Objetivos específicos

- Traçar breve análise sobre achados em matéria de patologias em concreto;
- Verificar índice de patologias visualizadas e abordar possíveis causas/efeitos destas através da elaboração do Mapa de Danos da estrutura;
- Sugerir, dentro da terapêutica possível, soluções às patologias apresentadas, definindo prioridade através da Tabela GUT.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Manifestações patológicas

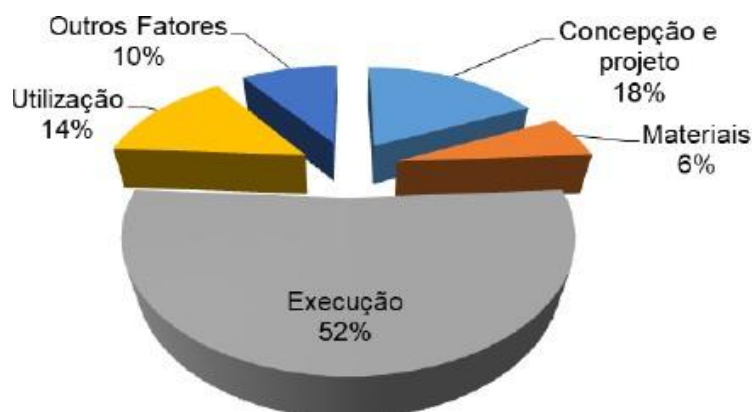
O termo Patologia, de origem grega (*páthos*, doença, e *lógos*, estudo), é amplamente utilizado nas diversas áreas da ciência, com denominações do objeto de estudo que variam de acordo com o ramo da atividade (Silva, 2011). A patologia pode ser definida como o estudo que avalia as anomalias da edificação e a suas alterações funcionais. Os problemas que uma edificação pode apresentar em sua estrutura podem, em geral, ser evitados ou até mesmo corrigidos através da identificação, prevenção ou correção da patologia identificada.

As manifestações patológicas são potencializadas através de falhas humanas, essas falhas surgem na má produção do projeto, em sua execução e posteriormente no mau uso da edificação. Grande parte das manifestações patológicas poderiam ser evitadas se houvesse um melhor detalhamento de projeto, escolha apropriada dos materiais e correta execução da construção, assim como uma maior preocupação com a realização das intervenções de manutenção nos elementos que compõem as edificações (KLIMPEL e SANTOS, 2010).

Diversos são os fatores que ocasionam o surgimento das patologias, conseqüentemente, múltiplas são as formas estudadas para sanar esses problemas. Saliente-se que o tratamento das patologias das estruturas encontra justificativa, sobretudo, nos custos e na demanda de financiamentos que tais estruturas apresentam quando são concebidas, sobretudo quando o custeio de tais edificações é de natureza pública, como no caso em análise.

A Figura 1 apresenta uma análise das afirmativas citadas anteriormente. Essa pesquisa permite deduzir que o ponto nevrálgico, quando se busca identificar os eventos que levam ao surgimento de patologias em edificações, é a execução seguida da utilização da estrutura e sua concepção e projeto, isto é, partes da elaboração e execução que envolvem, basicamente, o material humano na sua administração.

Figura 1: Causas dos problemas patológicos em estruturas de concreto no Brasil.



Fonte: RIPPER, 2002 apud CARVALHO JUNIOR, 2015.

A Tabela 1 apresenta um estudo de SOUZA e RIPPER (1998) contendo a distribuição das patologias nas estruturas de concreto em diversos estudos realizado pelo mundo.

Tabela 1: Análise percentual das causas de problemas patológicos em estruturas de concreto.

CAUSAS DOS PROBLEMAS PATOLÓGICOS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO				
FONTE DE PESQUISA	Concepção e projeto	Materiais	Execução	Utilização e outras
Edward Grunau Paulo Helene (1992)	44	18	28	10
D. E. Allen (Canadá) (1979)	55	49		
C. S. T. C.(Bélgica) Verçoza (1991)	46	15	22	17
CEB Boletim 157 (1982)	50	40		10
Faculdade de Engenharia da Fundação Armando Álvares Penteado Verçoza (1991)	18	6	52	24
B.R.E.A.S (Reino Unido) (1972)	58	12	35	11
Bereau Securitas (1972)	88			12
E.N.R. (USA) (1968 – 1978)	9	6	75	10
S.I.A (Suíça) (1979)	46		44	10
Dov Kaminetzky (1991)	51	40		16
Jean Blévot (França) (1974)	35		65	
LEMIT (Venezuela) (1965 – 1975)	19	5	57	19

Fonte: SOUZA; RIPPER, 1998, p. 23.

Nela se pode analisar que um fator que diferencia as causas dos problemas patológicos é a localização geográfica do estudo, as causas variam em função da localidade, aspecto que pode ser derivado de elementos como qualidade dos materiais, composição química de solos, bem como clima predominante. Além disso, podemos ver que a tríade composta pelos aspectos: concepção e projeto, materiais e execução, figura entre as variáveis com a maior porcentagem da causa de surgimento de patologias estruturais.

2.1.1 Causas e origens das Manifestações Patológicas

As manifestações patológicas na construção civil estarão presentes na maioria das edificações, sejam em maior ou menor grau, e depende do período de sua aparição e a forma como se manifesta (FERREIRA et. al., 2018).

A seguir discutiremos as causas e origens das patologias, que foram divididas e detalhadas em três grupos. O primeiro é o grupo das causas intrínsecas, o segundo o de causas extrínsecas, e o terceiro que trata do processo de deterioração do concreto armado. Cada um desses grupos possui suas particularidades e as origens das patologias advêm de diversas origens, desde falha humana, tanto no projeto como na execução, problemas com a estrutura química dos componentes dos materiais, ou ainda, ataques de agentes agressivos ao material concreto e às armaduras (SILVA, 2011).

2.1.1.1 Causas intrínsecas

Souza e Ripper (1998) classificam causas intrínsecas como aquelas em que os processos de deterioração das estruturas são inerentes a elas mesmas, ou seja, as que se originam dos materiais e das peças estruturais, durante as fases de execução ou utilização, por falhas humanas, por questões próprias ao material concreto e por ações externas, inclusive acidentes.

A Tabela 2 apresenta as principais causas intrínsecas das manifestações patológicas.

Tabela 2: Causas intrínsecas das manifestações patológicas.

Falhas humanas durante a construção	Deficiências de concretagem	• Transporte • Lançamento • Juntas de concretagem • Adensamento • Cura
	Inadequação de escoramentos e fôrmas	
	Deficiências nas armaduras	• Má interpretação dos projetos • Insuficiência de armaduras • Mau posicionamento das armaduras • Cobrimento de concreto insuficiente • Dobramento inadequado das barras • Deficiência nas ancoragens
	Utilização incorreta dos materiais de construção	• FCK inferior ao especificado • Aço diferente do especificado • Utilização inadequada de aditivos
Inexistência de controle de qualidade		
Falhas humanas durante a utilização (ausência de manutenção)		
Causas naturais	Causas próprias à estrutura porosa do concreto	
	Causas químicas	• Reações internas ao concreto • Presença de cloretos • Elevação da temperatura interna do concreto
	Causas físicas	• Variação de temperatura • Insolação • Vento • Água
	Causas biológicas	

Adaptado de: SOUZA; RIPPER, 1998.

Fica claro, então, que profissionais capacitados são capazes de prever e promover a prevenção às patologias de causas intrínsecas, uma vez que seguindo as normas bem como o uso de materiais e planejamento adequados o acometimento dessas patologias poderá ser evitado. Além disso, a correta orientação dos proprietários para realizar a manutenção das construções também será de extrema importância.

2.1.1.2 Causas extrínsecas

De acordo com Souza e Ripper (1988) as causas extrínsecas são aquelas que ocorrem independentemente da estrutura em si, assim como da composição dos materiais como concreto e aço e de erros de execução. De maneira geral podem ser entendidas como os fatores que atacam a estrutura de fora para dentro durante a concepção e vida útil da estrutura.

Tabela 3: Causas extrínsecas das manifestações patológicas.

Falhas humanas durante o projeto	• Má avaliação de cargas • Inadequação ao ambiente • Incorreção não relação Solo-Estrutura • Incorreção na consideração de juntas de dilatação
Falhas humanas durante a utilização	• Sobrecargas exageradas • Alteração das condições do terreno de fundação
Ações mecânicas	• Choques de veículos • Recalque de fundações • Acidentes (ações imprevisíveis)
Ações físicas	• Variação de temperatura • Insolação • Atuação da água
Ações químicas	
Ações biológicas	

Adaptado de: SOUZA; RIPPER, 1998.

Portanto, de acordo com a Tabela 3, podemos ver que diferentes fatores extrínsecos associados às patologias são até mesmo imprevisíveis, como os acidentes, logo, são fatores que tornam o processo de prever o surgimento das patologias associadas a esse tipo de causa.

2.1.1.3 Processos de deterioração

Em relação aos processos de deterioração, Mehta e Monteiro (2014) classificam os processos de deterioração em dois principais: efeitos químicos e efeitos físicos, os quais atuarão de maneira diferenciada para promover o desgaste das estruturas, principalmente pela manifestação de patologias.

Os efeitos químicos deletérios incluem a lixiviação da pasta de cimento com soluções ácidas, reações expansivas envolvendo ataques de sulfatos, reações de agregados alcalinos e corrosão de reforços no concreto. Os efeitos físicos incluem desgaste da superfície, rachaduras causadas pela pressão de cristalização do sal nos poros e exposição a temperaturas extremas, como gelo ou fogo (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Na prática, vários processos de deterioração química e física operam ao mesmo tempo e podem até haver um efeito sinérgico entre essas duas categorias. Na

Tabela 4 são apresentados os mecanismos e a sintomatologia apresentada nas construções.

Tabela 4: Processos de deterioração e suas causas relacionadas.

ITEM	MECANISMO	AGENTES	AÇÃO	SINTOMATOLOGIA
1.	Lixiviação	Águas puras, carbônicas agressivas e ácidas	Carrear compostos hidratados da pasta de cimento	• Superfície arenosa ou com agregados expostos sem a pasta superficial; • Eflorescência de carbonato; • Elevada retenção de fuligem/fungos.
2.	Expansão	Águas e solos contaminados por sulfato	Reações expansivas e deletérias com a pasta de cimento hidratado	• Superfície com fissuras aleatórias e esfoliação; • Redução da dureza e do pH.
3.	Expansão	Agregados reativos	Reações entre os álcalis do cimento e certos agregados reativos	• Expansão geral da massa do concreto; • Fissuras superficiais e 4profundas.
4.	Reações deletérias	Certos agregados	Transformações de produtos ferruginosos presentes nos agregados	• Manchas, cavidades e protuberância na superfície do concreto
5.	Despassivação da armadura	Gás carbônico da atmosfera	Penetração por difusão e reação com os hidróxidos alcalinos dos poros do concreto, reduzindo o pH dessa solução	• Requer ensaios específicos; • Em casos mais acentuados, apresentam manchas, fissuras, destacamentos do concreto, perda da seção resistente e da aderência.
6.	Despassivação da armadura	Cloreto	Penetração por difusão, impregnação ou absorção capilar, despassivando a superfície do aço	• Requer ensaios específicos; • Ao atingir a armadura apresenta os mesmos sinais do item 5.

Adaptado de: Reis 2001.

De acordo com o apresentado na Tabela 4, observa-se que os diferentes mecanismos associados aos diferentes agentes levarão a variadas sintomatologias que requererem diferentes ensaios experimentais para que se chegue a uma conclusão que possa ajudar na resolução da patologia.

Tais processos de deterioração apresentados, têm seus agentes dispersos no meio ambiente, trazendo contribuição para o desgaste da estrutura por meio da

interação entre si, contando com incidentes, falhas de projeto, bem como o próprio uso da estrutura, para atuarem de forma a causar seu avanço (ASSIS; LIMA, 2022).

Em ambientes rurais com baixa densidade demográfica e emissão de gases, como o que se encontra o reservatório alvo deste estudo, é comum que a maioria de agentes encontrados em espaços urbanos, como águas acidificadas e excesso de carbono, disperso na sua maioria em elementos atmosféricos, não esteja presente em graves concentrações. O estudo de Figueredo (2018) aponta que as alterações químicas em estruturas de concreto possuem natureza universal, sendo encontradas em ambientes urbanos e rurais, em maior ou menor quantidade.

Assim como os elementos aéreos, os tipos de solo, bem como a forma e a disposição do reservatório sobre o espaço causam vantagens em favor do surgimento de patologias: solos arenosos, ricos em sais, ou ainda, que têm mobilidade causada por agentes tais como plantas e deposição de material orgânico, tendem a ocasionar, sobretudo, surgimento de patologias relacionadas com fricção e compressão/expansão do material, sendo, portanto, de relevância na fase de concepção, como detalhado na Tabela 4.

2.2 Tipos de Manifestações Patológicas

Analogamente, as manifestações patológicas na construção civil podem ser entendidas como as manifestações que ocorrem, por exemplo, no corpo humano, isto é, essas manifestações terão papel importante na resolução bem como prevenção do avanço das patologias nas construções civis (CARRARO, DIAS; 2014). A seguir descrevemos estas manifestações.

2.2.1 Danos por umidade

Ocorre devido à penetração de água em paredes, sendo o surgimento de manchas úmidas o primeiro indicativo de que o processo de infiltração esteja ocorrendo (FERREIRA et. al., 2018).

Os danos causados pela umidade podem ser sérios e, às vezes, de difícil resolução. Poderá haver prejuízos à funcionalidade da edificação, causar desconforto e possíveis danos à saúde dos usuários dessa construção, avaria em equipamentos e bens que estejam no imóvel, ou seja, danos financeiros importantes (DE SOUZA, 2008).

A manifestação dessa patologia se dá em diferentes partes da construção, na fachada, em diferentes paredes, no piso, dentre outros. Geralmente, ela não ocorrerá sozinha, pois, funciona como meio necessário para a manifestação de outras patologias, como eflorescência, bolores, perda de rebocos e até mesmo a causa de acidentes estruturais (VERÇOSA, 1991). Na Figura 2 estão resumidas algumas causas do aparecimento da umidade na construção civil.

Figura 2: Resumo das causas do aparecimento da umidade nas construções civis.



Adaptado de: De Sousa (2008).

2.2.2 Trincas e fissuras

As trincas e fissuras (Figura 3) são manifestações patológicas bastante presentes nas fachadas e paredes internas de uma construção. São manifestações que passam a impressão de que a construção não foi uma obra bem planejada e nem bem executada, além de favorecer o aparecimento de outros problemas estruturais como infiltrações e descolamento de revestimentos (OLIVARI, 2003).

Há diferenças conceituais sobre a definição de trincas e fissuras. As fissuras são definidas como sendo aberturas que são estreitas e ocorrem superficialmente, sendo consideradas de menor gravidade. Já as trincas são manifestações mais profundas e que são mais acentuadas. É importante avaliar e acompanhar trincas e fissuras, uma vez que são ponto de início do desencadeamento de rachaduras (FERREIRA et. al., 2018).

Figura 3: Trincas e fissuras em superfície de concreto.



Fonte: FiberSals (2020).

Na tabela 5 são apresentadas as classificações das aberturas de acordo com sua espessura.

Tabela 5: Classificação quanto ao tipo de abertura.

ANOMALIAS	ABERTURA (mm)
Fissura	Até 0,5
Trinca	De 0,5 até 1,5
Rachadura	De 1,5 a 5,0
Fenda	De 5,0 a 10,0
Brecha	Acima de 10,0

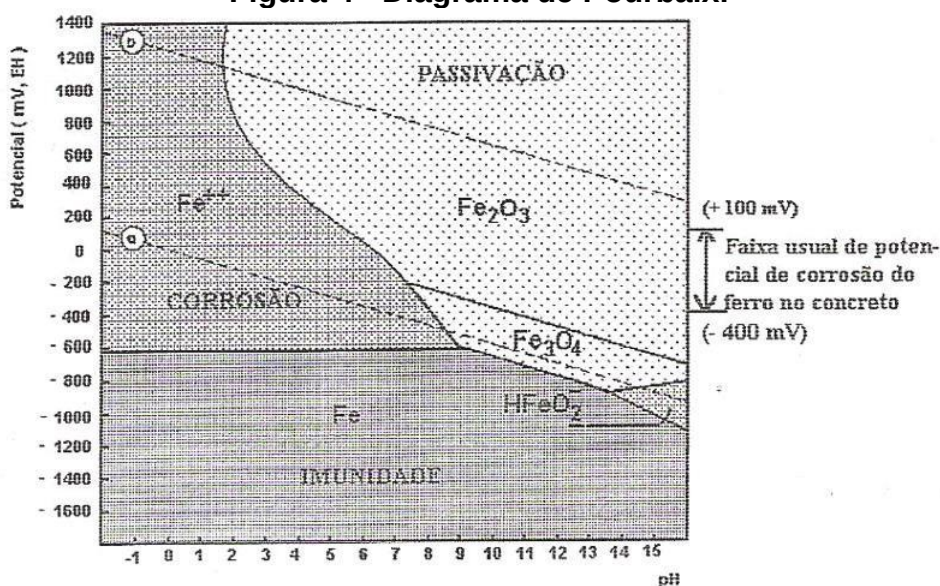
Fonte: Adaptado de OLIVEIRA (2012)

Em reservatórios de água e em outros tipos de construção, as trincas são importantes. Braga (2010 apud PEREIRA et al., 2022) explica que “as aberturas variam em função das propriedades ergométricas dos materiais e das amplitudes de variação de temperatura e umidade”, mas em geral se resumem em importantes indicativos de como se deu a execução de dado projeto.

2.2.3 Corrosão da armadura do concreto

A corrosão na armadura das estruturas de concreto armado está ligada principalmente à ação de cloretos que oxidam as armaduras, causando problemas estruturais. Diversos estudos apresentam o mecanismo de ação desses agentes químicos, embora ainda não seja consenso a forma como ele acontece (MEIRA, FERREIRA, 2019). Entretanto, a interação das estruturas e seu processo de corrosão depende do pH do ambiente e do concreto. Em regra, é possível se determinar tais reações a partir do Diagrama de Pourbaix, exemplificado na Figura 4.

Figura 4 - Diagrama de Pourbaix.



Fonte: Lodi (2022).

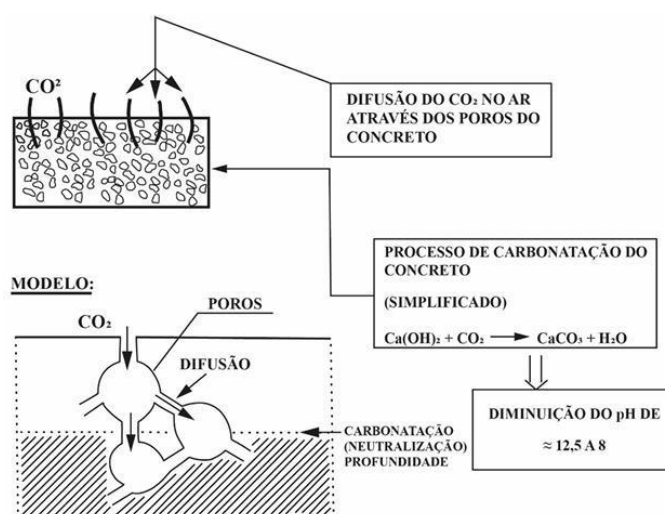
A qualidade, durabilidade e segurança das armaduras em estruturas de concreto dependem de uma série de fatores que evitarão o acometimento de patologias à essas estruturas, como por exemplo, o grau de recobrimento da armação com o concreto, que deve respeitar um mínimo para garantir que a armadura não esteja em contato com agentes externos que causam a sua corrosão (ROCHA, 2015).

Sendo assim, a corrosão é uma patologia cujas causas devem ser maximamente diminuídas a fim de aumentar a vida útil de concreto armado bem como evitar acidentes e prejuízos econômicos.

2.2.3.1 Carbonatação

A carbonatação (Figura 5) é o resultado da interação entre o CO_2 e o cimento hidratado. A principal fonte de CO_2 nestes casos é a atmosfera. O processo químico envolve a presença de umidade e a formação do ácido carbônico, H_2CO_3 , em reação com o hidróxido de cálcio, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, formando o carbonato de cálcio CaCO_3 . A presença do hidróxido de cálcio é a causa-fim do processo de carbonatação, mas o nome se refere à presença do carbono e maior quantidade na estrutura (FIGUEREDO, 2018).

Figura 5: Avanço do processo de carbonatação no concreto.



Fonte: CEB-BI 152 apud Figueiredo (2005 apud Figueiredo 2018 p. 37).

Umidade do ar e o teor de CO_2 no ambiente são os fatores preponderantes que permitem que haja o início do processo de carbonatação. O processo é praticamente impossível de parar, mas é controlável a uma média adequada de 1-3mm/ano (NEVILLE e BROOKS, 2013, apud FIGUEIREDO, 2018) sendo admitida a carbonatação de 1-3cm a cada década.

Ao perder a alcalinidade, o concreto decai em pH para níveis abaixo de 9, sendo os níveis ideais oscilando entre 12,5 e 13,5. Isto faz com que as regiões de pH mais baixo se separem, expondo as áreas de pH mais alto na comparação, a resistência aos agentes agressores até aumenta na comparação com o concreto não carbonatado, causando a retração do concreto como consequência imediata e a suscetibilidade aos agentes externos como consequência secundária do processo, ocasionando perda de vida útil nas estruturas de concreto armado, nas quais, a perda

de alcalinidade da água age diretamente sobre a película de passivação presente no aço, facilitando a sua corrosão.

O cimento, a matéria prima do concreto, possui em si mesmo, diversos compostos que têm forte predisposição para a carbonatação, são eles, NaOH – hidróxido de sódio e KOH – hidróxido de potássio, bem como outros compostos alcalinos que permitem a carbonatação de estruturas. Na Figura 6, é possível visualizar o indício do processo de carbonatação na estrutura (ASSIS; LIMA, 2022).

Figura 6: Indício de carbonatação em estrutura de concreto.



Fonte: Sabai (2020).

2.2.3.2 Corrosão por cloretos.

Assim como a carbonatação, merece atenção também os danos causados pelos íons-cloretos, mais comuns em ambientes marinhos, que favorecem a corrosão do aço nas estruturas armadas por meio da destruição da camada apassivadora, no processo conhecido como reação anódica de solubilização do Fe^{++} , a corrosão, em sentido estrito (BOSQUETTI et al., 2014).

A presença do íon cloreto na estrutura de concreto armado causa a diminuição do pH, atingindo a camada apassivadora do aço. A queda do pH transformará os pontos de contaminação em uma zona catódica importante, iniciando a corrosão do aço e o consequente dano estrutural visível a olho nu, como apresentado na Figura 7 (BOSQUETTI et al., 2014).

Figura 7: Indício de corrosão por cloreto em estrutura exposta à maresia.



Fonte: Alves; Carvalho (2019).

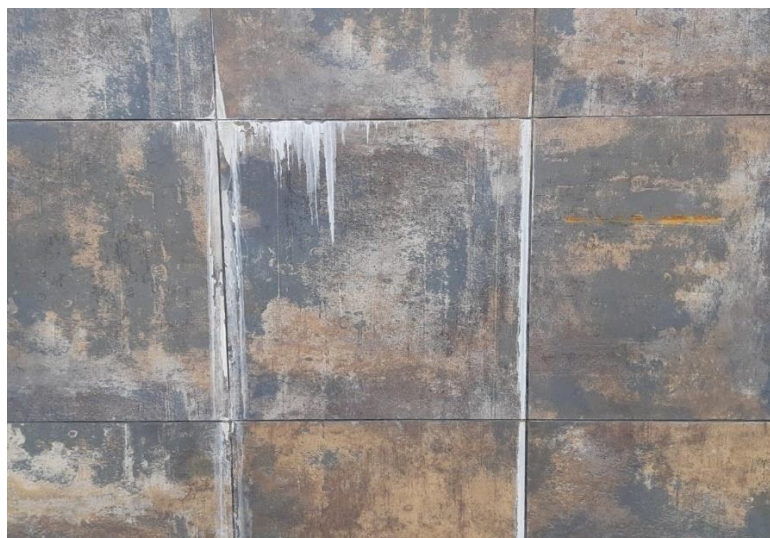
A corrosão por cloretos é potencialmente importante porque ela é causada por agentes externos, como maresia e névoa, água do mar, sais do degelo, processos industriais, solos contaminados e lavagens com ácido muriático entre outras. No caso em estudo, a possibilidade de corrosão por cloretos de origem química é grande, dada a proximidade de rodovias de escoamento dos mais diversos tipos de produtos, bem como a possibilidade de uso de aditivos aceleradores, água contaminada no amassamento e agregados obtidos de fontes já contaminadas (BONADEU, 2016).

2.2.4 Eflorescência

A eflorescência é um fenômeno em estruturas de concreto armado, que podem ser definido como sendo a formação de compostos cristalinos que se depositam na superfície de revestimentos cimentícios gerados a partir do processo de lixiviação de hidratos do cimento (SILVA, 2022).

Segundo Silva (2022), os sais formados no processo de eflorescência são solúveis em água e quando em contato com este solvente, as partículas conseguem migrar para a superfície e com a evaporação da água depósitos de cor branca são formados (Figura 8).

Figura 8: Indício de eflorescência em concreto.



Fonte: Reis e Reis (2019).

A eflorescência primeiro atuará no surgimento de problemas estéticos, que serão facilmente resolvidos por meio da limpeza da superfície, embora haja possibilidade do ressurgimento dessa patologia caso o material da estrutura seja poroso, permeável e se houver a disponibilidade de hidratos a serem solubilizados. Devido a essas características, se há disponibilidade de hidratos a serem solubilizados, essa patologia pode causar a perda de resistência mecânica da estrutura, causando seu deslocamento e consequente esfarelamento (SOUZA, 2014).

2.3 Reservatórios de água

Á água é bem necessário para que as atividades humanas sejam realizadas. Para que chegue aos usuários e às construções civis, a água passa por diferentes etapas, que vai desde sua captação, tratamento, armazenamento e distribuição por meio de redes hidráulicas.

Os reservatórios utilizados para seu armazenamento requerem atenção redobrada, uma vez que o material estará sempre em contato com este item. Para isso é preciso tomar algumas precauções como “impermeabilização intacta; proteção do acesso interno e externo; local protegido de inundações; protegido de acesso de qualquer espécie de animal e de águas poluídas proveniente das vizinhanças, etc.” (SOUZA, 2014).

2.3.2 Tipos de reservatório

A NBR 12217 classifica os diferentes reservatórios de águas de abastecimento, apresentados na Figura 9.

Figura 9: Classificação dos diferentes reservatórios segundo a NBR 12217.



Fonte: A Autora (2023)

O reservatório de distribuição será aquele elemento do sistema que regulariza as variações entre as vazões de adução e de distribuição, além disso, também será o reservatório onde haverá o condicionamento das pressões na rede de distribuição.

O reservatório elevado será aquele cuja função principal será regularizar a pressão em áreas topográficas que não conseguem ser abastecidas pelo reservatório principal. Já o reservatório de montante é o responsável por fornecer água à rede de distribuição, enquanto o reservatório de jusante poderá fornecer ou receber água da rede de distribuição (NBR 12217, 1994).

2.3.3 Reservatórios de concreto armado

São reservatórios que se apresentam como uma alternativa para as construções que demandam uma grande demanda e capacidade de armazenamento. Além disso são reservatórios que podem ser construídos em diferentes formatos, dimensões, dimensionamento de acordo com a necessidade do planejamento da obra, alta resistência e durabilidade, além de poderem ser construídos com sistemas pré-moldados. Para isso, são reservatórios que exigem um amplo espaço para sua construção bem como cuidados na manutenção e higienização, por se tratar de uma estrutura de grande porte.

Como se trata de uma construção de concreto, os reservatórios feitos com esse material poderão sofrer das mesmas patologias já citadas anteriormente, como fissuras e trincas, desagregação e perda de aderência entre o concreto e o aço, eflorescência e carbonatação, além disso, também pode ocorrer o processo de corrosão das armaduras (COSTA, MAIA, BARBOSA, 2017).

A avaliação da durabilidade e resistência dos materiais utilizados na construção desses reservatórios de concreto armado pode ser realizada por meio dos chamados Ensaios Não Destrutivos (END). A seguir trataremos desses ensaios.

2.4 Ensaios Não Destrutivos (END)

Os Ensaios Não Destrutivos (END) podem ser definidos como aqueles que não são capazes de provocar danos ao elemento analisado ou onde esses danos que venham ser causados são pequenos e de fácil reparo após a conclusão do ensaio. São ensaios que não causam perda da capacidade resistente do elemento que está a ser analisado (EVANGELISTA, 2002).

Algumas características do concreto armado podem ser avaliadas por meio dos END. Dentre elas, temos: a massa específica, módulo de elasticidade, resistência, dureza superficial, absorção, permeabilidade, condições de umidade, localização de armaduras, existência de vazios e fissuração (EVANGELISTA, 2002).

Existem diferentes END e cada um possui suas indicações e vantagens. Dentre esses métodos podemos citar a termografia, a esclerometria e o ultrassom. A seguir trataremos de cada um desses métodos.

2.4.1 Termografia

A termografia infravermelha ou simplesmente termografia, é uma técnica que se baseia no princípio de que anomalias localizadas abaixo da superfície de um material afetarão o fluxo de calor que passará neste material. Baseando-se nessas mudanças de fluxo de calor é possível localizar as diferentes temperaturas na superfície analisada e a partir dessas informações determinar-se a localização das anomalias que acometem essas estruturas (LORENZI et. al., 2016).

Os sistemas termógrafos são utilizados para verificar a intensidade do calor que é emitido por um material que está submetido a determinada pulsação de calor. Uma área afetada por alguma patologia possuirá uma condutividade térmica diferente e, portanto, revela-se como uma área resfriada ou com manchas quentes. Quando uma

estrutura apresenta alguma anomalia, os ensaios termográficos indicarão a presença de regiões que possuem uma condutividade térmica menor do que o concreto (VAN LEEUWEN, NAHANT, PAEZ, 2011).

Podemos encontrar na literatura alguns estudos que utilizam a técnica de termografia para identificação de patologias em estruturas de concreto. Henriques e Ramos (2015) utilizaram a técnica para monitorar barragens de concreto e identificar ressurgências de água na fase a jusante de barragens de concreto, que são relacionadas com a transferência de água. Os autores concluem que as imagens foram úteis na identificação ou acompanhamento das áreas onde existem ressurgimento de água, que geralmente estão associadas com trincas.

No estudo desenvolvido por Seo (2021), o autor realizou ensaios para avaliar o uso da termografia para acompanhar o início de fissuras e sua consequente propagação em pilares de concreto armado. Foi identificada uma diferença de temperatura de $0,1^{\circ}\text{C}$ após o início da fissura. Além disso, a temperatura diferencial na fissura do concreto armado foi maior do que aquela em pilares não armados, característica atribuída à maior pressão de sobrecarga.

A técnica de termografia infravermelha é vantajosa porque os resultados são obtidos de forma rápida com forte mobilidade e uma cobertura ampla, baseando-se nessas características Zhou, Su e Wen (2021) avaliaram a saída de vazamento de barragens e diques em época de cheia. Nesse trabalho, os autores indicam que a técnica é interessante para a detecção de vazamentos em reservatórios de água, desde que o responsável respeite características como horário das medidas e a cobertura por vegetação serão variáveis importantes na avaliação das imagens obtidas.

2.4.2 Esclerometria

A esclerometria é um END amplamente utilizado para a avaliação de forças compressivas em concreto armado, isto é, por meio dessa técnica é possível estimar a resistência de uma superfície (BROZOVSKY, 2013; DE ALMEIDA MELLO, BREMER, 2022). É um método desenvolvido pelo engenheiro civil suíço Ernst Schmidt e, por isso, é conhecido também como martelo de rebote de Schmidt (HELAL, SOFI, MENDIS, 2015).

O martelo de rebote é um dispositivo que causa um impacto na superfície do concreto e, então, registra um número de rebote que é comparado com as

propriedades empíricas (compressão e flexão) resistivas do concreto. Esse é um teste relativamente barato e de fácil execução para avaliar as propriedades de força do concreto (HELAL, SOFI, MENDIS, 2015).

Bellei et. al. (2021) utilizaram o teste com o martelo de rebote de Schmidt para determinar a performance de dois tipos de argamassa aplicada à cerâmica e substratos com concreto, que foram previamente tratados de formas diferentes. Os autores demonstraram a necessidade de haver um cuidado na interpretação dos resultados obtidos e que é importante ter a combinação de diferentes técnicas *in-situ* para avaliar o desempenho das peças avaliadas.

Devido a sua fácil execução e versatilidade, a esclerometria é um método que também é empregado em concreto armado que esteja em edificações muito antigas. Touil et. al. (2022) fizeram uso desta técnica, combinada com outras, para avaliar o estado e caracterizar o estado de estruturas de concreto expostas em uma região marítima localizada na Argélia.

Em outro estudo encontrado na literatura os autores realizaram um trabalho comparativo entre métodos destrutivos e não destrutivos na avaliação de peças de concreto. Uma das técnicas utilizadas foi a esclerometria. E os autores apontam, mais uma vez, a importância dos END, devido a sua fácil execução e um método que é economicamente mais barato (FRAPPA, MICELI, PAULETTA, 2022).

2.4.3 Ultrassom

O ensaio ultrassônico é um método que fornece informações sobre a homogeneidade concreto que é analisado. Essa técnica permite avaliar a variação das propriedades do concreto com o tempo. A partir da propagação da onda ultrassônica é possível verificar, por exemplo, a compacidade que uma estrutura apresenta bem como detectar se há regiões heterogêneas em seu interior (LORENZI et. al., 2003).

Chies (2014) avaliou a influência de determinadas variáveis no desempenho do uso da técnica de ultrassom para determinar a capacidade real de penetração e detecção de defeitos de diferentes magnitudes. O autor aponta que a escolha dos parâmetros acompanhados é determinante na correta interpretação dos resultados obtidos, além disso, a experiência do operador e as dimensões de grid são os fatores que mais influenciam na interpretação dos resultados obtidos.

Os métodos END também podem ser combinados a fim de aumentar a eficiência na avaliação das estruturas de concreto. Rocha e Póvoas (2019) combinaram o uso de termografia e ultrassom para avaliar patologias em estruturas de concreto. Os autores indicam que a técnica de ultrassom foi capaz de distinguir claramente as diferenças entre os corpos de prova estudados, uma vez que a onda ultrassônica se propaga diferentemente a depender do grau de corrosão bem como da qualidade da peça de concreto avaliada.

Seiffert e Balbo (2021) desenvolveram um *software* a partir de imagens obtidas com a técnica de ultrassom. O método foi validado a partir de dados obtidos em pavimentos de concreto simples. O *software* desenvolvido neste trabalho demonstrou potencial de ser utilizado em pesquisas que avaliem estruturas com END bem como para testes e desenvolvimento de técnicas de processamento de sinais e imagens que busquem potencializar a performance da tecnologia de ultrassom.

2.6 Ferramenta GUT

A tabela GUT tem seu nome decorrente dos aspectos que avalia: Gravidade, Intensidade e Urgência. Santos (2019) nos informa que a tabela foi elaborada com o objetivo de atender uma demanda específica: a solução ou a criação de parâmetros de atuação em problemas complexos. O contexto histórico foi a expansão industrial do setor de Engenharia Civil nos anos de 1980.

A tabela fornece uma definição clara dos problemas encontrados e sua ordem de intervenção, fornecendo um modelo de adoção de medidas corretivas quando necessário e em que pontos agir. A tabela 6 representa a ferramenta GUT em essência:

Tabela 6: Ferramenta GUT.

GRAU	GRAVIDADE	PESO
Total	Perda de vida humana, do meio ambiente ou do edifício	10
Alta	Ferimentos em pessoas, danos ao meio ambiente ou ao edifício	8
Média	Desconfortos, deterioração do meio ambiente ou do edifício	6
Baixa	Pequenos incômodos ou pequenos prejuízos financeiros	3
Nenhum	Nenhuma	1
GRAU	URGÊNCIA	PESO
Total	Evento em ocorrência	10
Alta	Evento prestes a ocorrer	8
Média	Evento prognosticado para breve	6
Baixa	Evento prognosticado para adiante	3
Nenhum	Evento imprevisto	1
GRAU	TENDÊNCIA	PESO
Total	Evolução imediata	10
Alta	Evolução em curto prazo	8
Média	Evolução em médio prazo	6
Baixa	Evolução em longo prazo	3
Nenhum	Não vai evoluir	1

Fonte: Santos (2019)

Oliveira (2019) utilizou a ferramenta GUT para a avaliação das manifestações patológicas presente em um reservatório de água no sertão do estado de Alagoas. Neste trabalho, o autor conseguiu identificar e classificar, por meio da ferramenta GUT, os diferentes reparos necessários ao reservatório analisado.

Santos (2019) avaliou um reservatório semienterrado também por meio da ferramenta GUT. O autor encontrou diferentes patologias no reservatório analisado, as maiores pontuações do projeto avaliado estavam ligadas à corrosão da tubulação interna seguida de pela infiltração, onde cada uma pontuou, respectivamente, 900 e 600 pontos de acordo com a ferramenta.

Emidio (2022) utilizou a ferramenta GUT na avaliação de reservatórios elevados. A autora conseguiu identificar e classificar as patologias presentes na construção nos diferentes elementos da construção. Nas vigas a difusão de cloreto e de dióxido de carbono foram aquelas que apresentaram a maiores pontuações; para os pilares, as variáveis armadura exposta, difusão de cloreto e de dióxido de carbono foram as que mais pontuaram.

Sendo assim, a ferramenta GUT tem sido importante no processo de tomada de decisões em patologias que acometem os reservatórios de água. Tendo em vista esses benefícios, o presente trabalho busca apresentar os resultados obtidos por meio da ferramenta GUT, que proporcionará um melhor direcionamento para os pontos que apresentam maior urgência de reparo.

2.7 Mapa de Danos

O mapa de danos é composto por um conjunto de informações gráficas, a partir das quais se representam danos visualizados de acordo com uma série de instrumentos, desde vistorias e inspeções visuais, até a realização dos Ensaios Não Destrutivos.

Eles tanto servem para o acompanhamento sistemático de danos estruturais quanto para a representação de áreas que carecem de reformas ou de manutenção com o decorrer do tempo (FILHO; ACHIAMÉ, 2018). Em regra, o mapa de danos é utilizado ao longo do desenvolvimento de projetos de reforma de estruturas históricas, grandes estruturas ou, ainda, para mensurar a tomada de ação baseada em estruturas de uso da coletividade, como é o caso em questão (BARTHEL; PESTANA, 2009).

No caso analisado, o mapa de danos sinalizará as regiões nas quais houve uma maior observação de problemas associados às patologias verificadas, bem como a respectiva representação da patologia em seu destaque aproximado na estrutura. As dimensões reais dos danos poderão ser encontradas a partir da nova investigação, direcionada ao saneamento dos problemas apresentados.

3 METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho tem como ênfase a inspeção para a identificação e avaliação de manifestações patológicas presentes no reservatório de água. Com essa inspeção e avaliação técnica, foram realizadas aplicações em estudo e normas vigentes na área, assim como execução em mapa de danos para melhor conhecimento da manifestação patológica e do seu diagnóstico técnico.

Para realizar uma perícia de engenharia em uma construção civil, é necessário utilizar uma série de atividades, como descrito no item 5.1 da NBR 13752:1996, onde consta como etapas:

- a) vistoria e/ou exame do objeto da perícia;
- b) diagnóstico dos itens objeto da perícia;
- c) coleta de informações;
- d) escolha e justificativa dos métodos e critérios periciais;
- e) análise das ocorrências e elementos periciais;
- f) soluções e propostas, quando possível e/ou necessário;
- g) considerações finais e conclusões.

3.1 Caracterização do objeto de estudo

O intuito do presente trabalho é analisar qualitativamente e quantitativamente as patologias presentes no reservatório apoiado que faz parte da Estação de Tratamento de Água (ETA) do município de Olho d'água do Casado (Figura 7) localizada às margens da Rodovia Estadual AL- 220 no trecho que interliga Delmiro Gouveia à Olho d'água do Casado e Piranhas, municípios de Alagoas. De acordo com informações dos operadores da estação, este reservatório possui capacidade de 400m³ e abastece a zona urbana e rural do município de Olho d'água do Casado e uma parte da zona rural do município de Piranhas, através de adutora de Ø200mm.

Figura 10: Localização do objeto de estudo.



Fonte: Google Earth (2023)

O objeto de estudo trata-se de uma obra pública em funcionamento e com grande importância diante da sociedade, visto que, através dela uma região é abastecida com a distribuição de água. A presença de manifestações patológicas no reservatório pode afetar a população desse município que é atendido por esse sistema. Além da falta de água, a presença de patologias no objeto de estudo pode ocasionar transtornos devido à má qualidade da água.

Através de levantamento in loco, o reservatório apoiado analisado (figura 8) foi construído no ano de 2000 e possui área de 112m² construídos com concreto armado.

Figura 11: Reservatório apoiado analisado.



Fonte: Autora, 2023.

Características da edificação:

- Obra pública;
- Sistema estrutural é composto por pilares, vigas e laje;
- Estrutura executada em concreto armado;
- Estrutura de grande porte que abastece cerca de 7.988 mil pessoas.

3.2 Coleta de dados

Conforme o que foi descrito na NBR13752/1996, foi iniciado um levantamento de informações através dos operadores da estação, com coleta de dados referente ao objeto de estudo. O objeto de estudo é uma edificação pertencente a uma empresa estatal que fica responsável pelo armazenamento da água tratada.

Em 2022 foi realizado o leilão de concessão do bloco B da Companhia de Saneamento de Alagoas e a empresa Águas do Sertão foi a vencedora, tendo sua assunção no mês de setembro de 2022 tornando-se responsável pela distribuição da água e manutenção das redes. Diante dessas mudanças de posse e pela edificação

tratar-se de uma edificação pertencente a uma empresa estatal, não foi disponibilizado o projeto inicial da obra.

3.3 Inspeção do objeto de estudo

Os ensaios realizados nesse trabalho foram ensaios de caráter não destrutíveis, pois trata-se do estudo em um reservatório em funcionamento. A Associação Brasileira de Ensaios Não Destrutivos e Inspeção (ABENDI, 2018) trata de Ensaios Não Destrutivos (END) como técnicas utilizadas na inspeção de materiais e equipamentos para detectar defeitos, descontinuidades, visando manter a indústria e a própria sociedade, livre de acidentes.

Para realizar uma inspeção mais detalhada foi necessário realizar duas vistorias, sendo a primeira para uma análise preliminar onde foi possível realizar uma avaliação geral do reservatório e da sua localização, fazer um levantamento fotográfico e identificar as manifestações patológicas mais evidentes. Esta primeira inspeção por meio do ensaio visual é o primeiro ensaio não destrutivo aplicado estando associado aos outros ensaios. Essa técnica proporciona um meio de detectar e analisar a variedade de descontinuidades superficiais, como a corrosão, contaminação, acabamento superficial e trincas superficiais.

A segunda vistoria foi para execução dos ensaios e análises detalhadas dos problemas aparentes. Nessa segunda etapa foram realizados dois ensaios:

- I. Ensaio de esclerometria para avaliação da dureza superficial e verificação com o fissurômetro das fissuras e trincas existentes no reservatório.
- II. Ensaio de termografia infravermelha com câmera térmica, para verificação de áreas com infiltração.

1.2.1 Ensaio de esclerometria

O presente ensaio seguiu recomendações da NBR 7584:2012, que especifica o método de ensaio em concreto endurecido para avaliar a dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão. Para a realização desse ensaio faz-se necessário avaliar superfícies planas que estejam em conformidade, polidas com o prisma de

carborundum. Diante disso, foram escolhidas duas áreas do reservatório que possuem melhor e maior acesso ao concreto para obter uma avaliação mais eficaz.

O ensaio foi realizado usando um esclerômetro Schmidt modelo N (Figura 10).

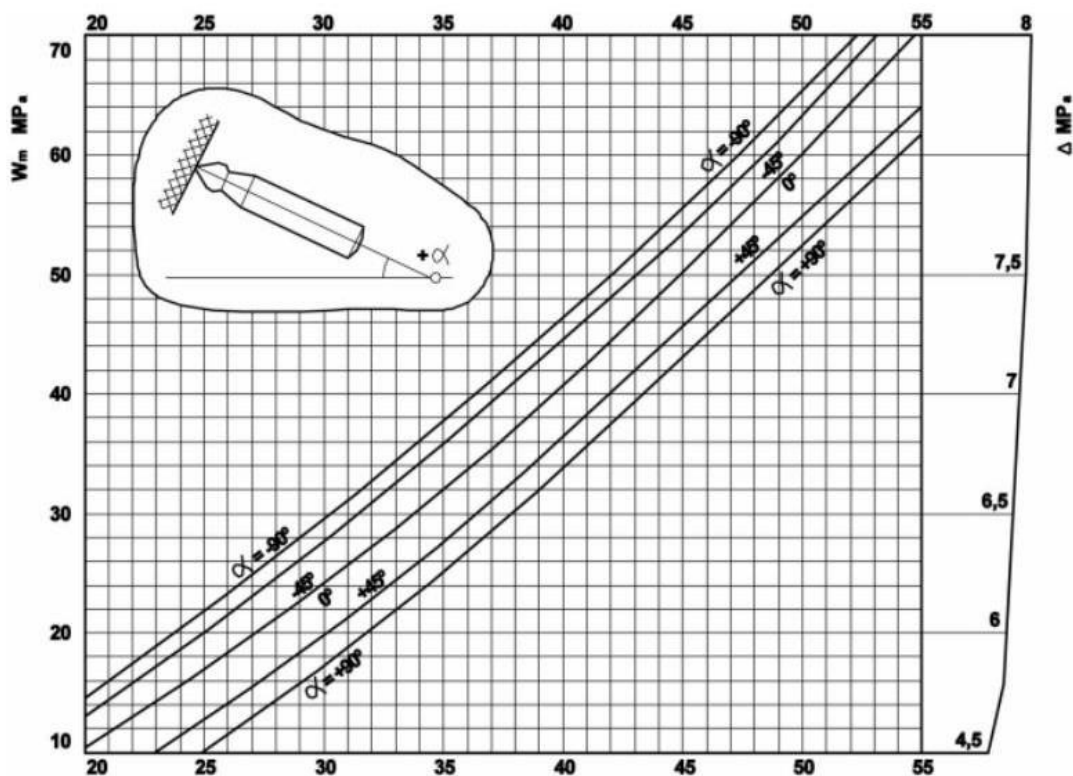
Figura 12: Esclerômetro.



Fonte: Autora (2023).

Ao realizar o ensaio foi possível obter a resistência à compressão (MPa) através do índice esclerométrico, fazendo uso do ábaco presente no instrumento, mostrado na Figura 11.

Figura 13: Ábaco de conversão para resistência.



Fonte: Fabricante

1.2.2 Ensaio de termografia

Edis. E. eat al (2014) diz que com a detecção da presença de água em edificações, as alterações do teor de umidade produzem mudanças na temperatura superficial, podendo ser detectadas pela termografia devido a três fenômenos físicos:

- resfriamento evaporativo na área úmida no processo de evaporação há uma diminuição da temperatura superficial, pois se trata de uma reação endotérmica;
- resistência térmica diminuída: o fluxo de calor é maior em uma massa úmida do que em uma massa seca gerando um padrão térmico heterogêneo;
- aumento da capacidade de armazenamento de calor do material úmido: a temperatura superficial de uma massa úmida responde de forma mais lenta a mudanças na temperatura ambiental do que a temperatura superficial de uma massa seca.

Analisando esses aspectos, para realizar esse ensaio foi utilizado o termovisor Texto 868, apresentado na figura 12, que permitiu verificar nas paredes do

reservatório a presença de umidade e pontos de infiltrações. Esse ensaio não destrutivo possibilita a obtenção de resultados específicos e rápidos, sem a necessidade de haver contato físico com o objeto de estudo, além de detectar resultados que não são possíveis de obter a olho nu.

Figura 14: Termovisor.



Fonte: Autora (2023)

Para realizar os ensaios descritos foram necessários os seguintes materiais:

- i. Esclerômetro;
- ii. Fissurômetro;
- iii. Câmera termovisora;
- iv. Régua milimetrada de 30cm;
- v. Câmera de 12 megapixels.

Após a realização dos ensaios foi elaborada uma tabela especificando e classificando as patologias com os seus respectivos níveis de prioridades de intervenção. Para essa classificação foi utilizado como referência a ferramenta GUT (item 2.6).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Através do estudo realizado foram identificadas patologias em diversas áreas externas do reservatório, de acordo com o operador da estação o reservatório nunca passou por reformas ou reparos, tornando mais visível as patologias e mais danificado o reservatório. Na parte interna não foi possível analisar com precisão pois o reservatório encontra-se em funcionamento e durante as vistorias ele estava sempre com um nível elevado de água, o que torna ainda mais importante a realização desses estudos, bem como o levantamento da terapêutica necessária para mitigar ou extinguir as patologias existentes, de modo a garantir ao reservatório uma maior vida útil e melhores condições de utilização.

4.1 Resultados das vistorias

Durante as vistorias foram identificadas diversas anomalias, a seguir serão apontadas quais foram e suas propostas de intervenção para obter reforço e recuperação. Vale explicar o fato de ser uma edificação antiga que teve contato constante com a água durante muito tempo, comprometendo dessa maneira, os métodos construtivos utilizado na execução da edificação.

4.1.1 Fissuras e rachaduras

- Manifestação: fissura e rachadura na laje (Figura 15)
- Local: laje de cobertura
- Possíveis causas: Devido o contato direto com a água, a presença de umidade por capilaridade se tornou constante na edificação, considerando também que há ausência das juntas de movimentação ocasionando a dilatação térmica, onde é aplicada uma força de cisalhamento que gera as fissuras. Posterior, com sua progressão e gradatividade, se tornam rachaduras conforme Figura 15.
- Proposta de intervenção: Para recuperar as áreas que apresentaram esse tipo de patologia faz-se necessário o preenchimento da fissura/rachadura com materiais apropriados e de boa qualidade, além de realizar uma impermeabilização rígida.
- Grau de risco: Médio. Pois devido essa patologia está havendo infiltração.

Figura 15: Fissura e rachadura presente da laje de cobertura do reservatório.



Fonte: Autora (2023).

4.1.2 Rachadura e vazamento.

- Manifestação: Fenda de abertura de 3,00mm ocasionando vazamento (Figura 16).
- Local: Parede lateral do reservatório.
- Possíveis causas: Essa patologia já é ocasionada advindo das ações que ocasionam as fissuras, onde a força do material construtivo é maior do que a capacidade da sua resistência. Com a sua propagação elevada, a área que foi dilatada gera pontos críticos de infiltrações e nesse caso com a grande proporção que chegou a patologia, de vazamento.
- Proposta de intervenção: Para recuperar as áreas que apresentaram esse tipo de patologia faz-se necessário o preenchimento da rachadura, dessa vez respeitando os métodos construtivos estabelecidos em norma, assim como seus prazos de cura e utilização de materiais apropriados e de boa qualidade.
- Grau de risco: Alto. Pois devido a rachadura, surgiu um vazamento de grande proporção na estrutura.

Figura 16: Rachadura e vazamento no reservatório analisado.



Fonte: Autora (2023).

4.1.3 Umidade e infiltração.

- Manifestação: incidência de água em pontos próximos ao solo e infiltrações nas áreas próximas à tubulação (Figura 17).
- Locais de ocorrência: ao longo de toda a edificação, com ênfase em áreas próximas ao solo, até 1,2m;
- Prováveis causas: deslocamento ocasionado pela expansão das partes metálicas na estrutura expostas ao sol, especialmente a tubulação, escadas de acesso aos pontos de vistoria, etc. baixa qualidade do concreto utilizado, argamassa de proteção submetida a processo de cura inadequado ou ainda, retração do concreto dada a condição de alta umidade presente no local.
- Intervenção: injeção de material à base de epóxi ou graute para contenção e proteção das camadas internas;
- Grau de risco: alto, pois o fluxo de líquido é alto e outras patologias se apresentam em concomitância.

Sabe-se que a qualidade dos solos na região na qual se encontra a edificação não é inadequada para a permanência, em tais condições, deste tipo de edificação, contudo, dadas as intensas intempéries a que é submetida, a edificação deveria ter, em seu projeto iniciais, sido contemplada com melhores condições estruturais, principalmente no que tange aos materiais utilizados em sua construção, considerando, sobretudo, a vida útil que ela deverá servir à comunidade e, principalmente, à dificuldade de intervenção, face a presença massiva de infiltração ao longo da estrutura.

Figura 17: Umidade e infiltração na edificação analisada.



Fonte: Autora (2023).

4.1.4 Infiltração e destacamento da pintura.

- Manifestação: pontos de umidade e infiltração ao longo de toda a edificação (Figura 18).
- Locais de ocorrência: nas proximidades das tubulações, sobretudo nas aberturas de inspeção e sobre a parte superior;

- Prováveis causas: fatores ambientais (chuvas, orvalho) subproduto da carbonatação e/ou consequência de má administração dos materiais na execução;
- Intervenção: injeção de material à base de epóxi ou graute para contenção e proteção das camadas internas; reforço na pintura com material resistente a intempéries e agentes externos.

Figura 18: Infiltração e destacamento da pintura



Fonte: Autora (2023).

4.1.5 Manchas e eflorescência.

- Manifestação: manchas aparentes indicando a interação com o CO_2 da atmosfera (Figura 19).
- Locais de ocorrência: parte superior da edificação e ao longo da sua lateral com ênfase na porção médio-inferior;
- Prováveis causas: no caso em questão, fatores associados às condições naturais da localização do reservatório, bem como contaminação pelo solo devido aumento de umidade decorrente das demais patologias em ação;
- Intervenção: injeção de material à base de epóxi ou graute para contenção e proteção das camadas internas;

- Grau de risco: médio. A eflorescência na edificação é decorrente, principalmente, da lixiviação do concreto por via de fatores naturais e também pela presença de umidade excessiva.

Chama atenção as manchas de eflorescência na área próxima à base da edificação, uma vez que indica constante exposição à umidade, o que pode levar à uma possível situação na qual a camada salina já esteja em contato com a malha de ferro, comprometendo sua estabilidade e, conseqüentemente, diminuindo sua vida útil.

Figura 19: Manchas e eflorescência ao longo da edificação.



Fonte: Autora (2023).

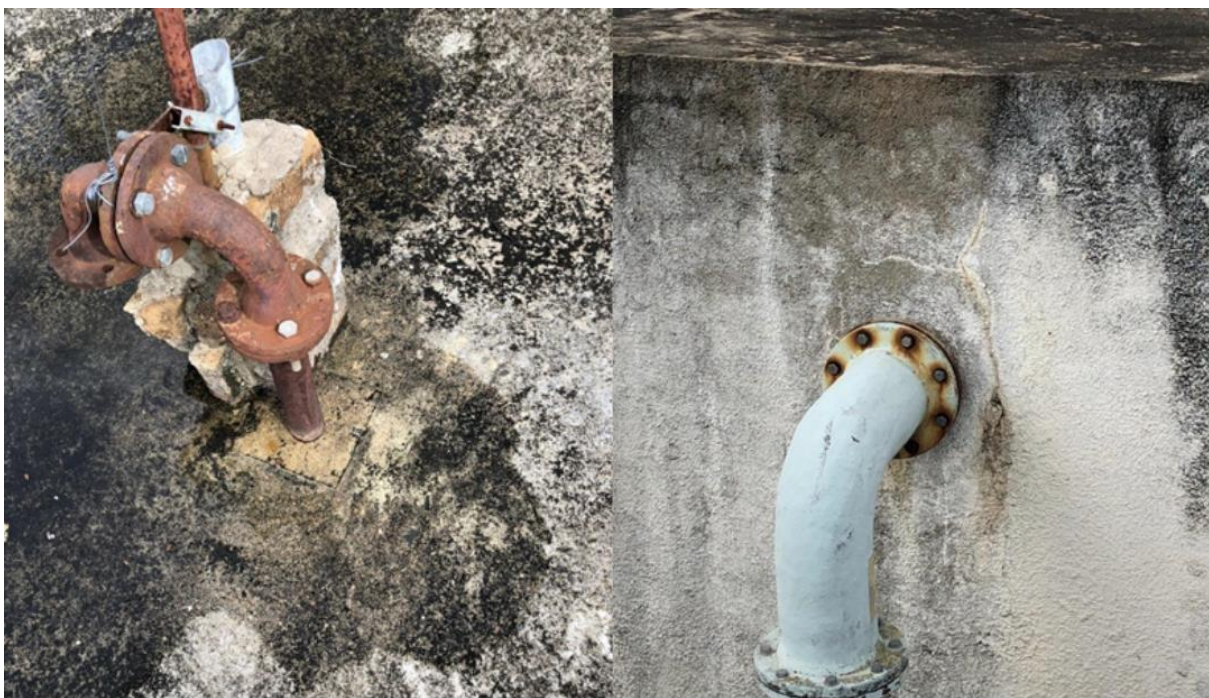
4.1.6 Manchas de oxidação nas tubulações externas.

- Manifestação: manchas aparentes na tubulação interna em toda a edificação, indicando falhas na montagem ou isolamento de tais sistemas (Figura 20).
- Locais de ocorrência: em toda a tubulação externa ligada à edificação;
- Prováveis causas: uso de material impermeabilizante anticorrosivo de má qualidade ou ausente; desgaste natural não contido, ausência de proteção adequada na fase de execução;
- Intervenção: tratamento envolvendo decapagem com agente ácido ou alcalino, renovação ou aplicação do revestimento anticorrosivo;
- Grau de risco: alto.

O comprometimento da tubulação externa, sobretudo considerando-se o uso principal da edificação, denota a causa de diversas outras patologias do concreto, já

que mesmo os sais que são parte da composição deste, ao entrar em contato com a água e a umidade tendem a promover queda do índice de pH.

Figura 20: Manchas de oxidação na tubulação externa.



Fonte: Autora (2023).

4.1.7 Brechas.

- Manifestação: ausência de material componente da estrutura, ocasionando acúmulo de umidade e agentes danificadores (Figura 21).
- Locais de ocorrência: locais pontuais na edificação, sendo mais graves as que se encontram ao lado da tubulação;
- Prováveis causas: ação de óxidos ocorrentes no solo onde está a edificação; plantio inadequado de culturas, crescimento vegetal na região e na encosta da edificação, bem como materiais de qualidade inferior;
- Intervenção: injeção de material, preferencialmente epóxi, para suprir a ausência do material componente;
- Grau de risco: alto.

As brechas encontradas na edificação superam os limites aceitáveis descritos nas NBRs, bem como expõem o reservatório à ação de outros agentes destrutivos presentes no ambiente, bem como atuam na redução da vida útil do reservatório.

Figura 21: Brechas mais importantes observadas na edificação.



Fonte: Autora (2023).

4.1.8 Corrosão.

- Manifestação: ausência de concreto, exposição da parte metálica da estrutura (Figura 22).
- Locais de ocorrência: ao longo da parte superior do reservatório;
- Prováveis causas: ação da carbonatação; agentes externos atuando sobre a superfície;
- Intervenção: raspagem da camada contaminada, aplicação de camada de argamassa ou produto de baixa retração;
- Grau de risco: alto.

A exposição da malha metálica na edificação compromete sua durabilidade e resistência quando expõe o aço às intempéries, facilitando e acelerando seu processo de corrosão. Deve ser esta patologia evitada, sobretudo no grau em que se encontra na edificação vistoriada.

Figura 22: Zonas de corrosão ao longo da superfície do reservatório vistoriado.



Fonte: Autora (2023).

3.4 Ensaio de esclerometria

Para a realização desse ensaio foi necessário considerar instruções de acordo com a NBR 7584:2012 que tem como objetivo analisar in loco a uniformidade e dureza superficial do elemento estrutural que nesse estudo foi o concreto. De acordo com a norma, a área para realizar o ensaio em elementos estruturais com grandes volumes de concreto, que é o caso do reservatório em análise, deve ser avaliado no mínimo duas áreas. Para esse ensaio foram escolhidas duas paredes do reservatório que se encontram em faces opostas com intuito de avaliar a resistência do concreto em áreas com mesmas dimensões, mas posicionamentos diferentes.

Conforme NBR 7584:2012, o esclerômetro deve ser verificado antes da sua utilização ou a cada 300 impactos. O equipamento encontrava-se verificado ao realizar o ensaio. A norma trás recomendações a respeito da área do ensaio, que deve ser afastada das regiões afetadas por segregação ou juntas de concretagem, cantos e arestas. Deve estar distante, no mínimo, 50 mm de cantos e arestas das peças, e deve ser superior a 8000 mm² (aproximadamente 90 mm x 90 mm) e inferior a 40000 mm² (aproximadamente 200mm x 200mm). Segundo a norma, a área deve ser preparada por meio do disco de carborundum (figura 10) através de movimentos circulares e posterior toda poeira deve ser removida a seco para que seja realizado a

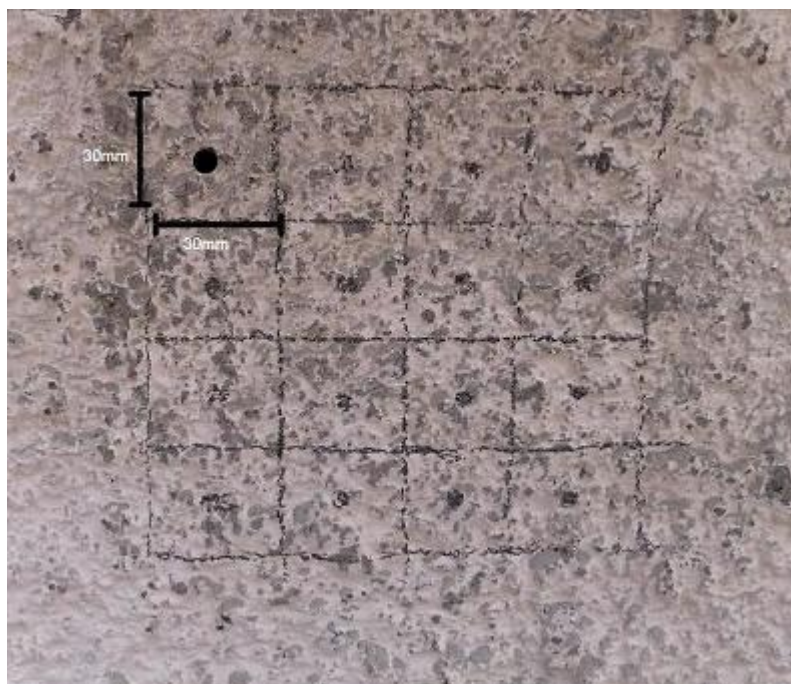
marcação de 16 pontos de impactos distintos que possuam distância mínima de 30mm (Figuras 23 e 24).

Figura 23: Área do ensaio preparada através do uso do carborundum.



Fonte: Autora (2023).

Figura 24: Pontos de impacto na parede 1.



Fonte: Autora (2023).

Após a marcação dos pontos, seguindo as recomendações da norma, realizou-se o ensaio (Figura 25), com a utilização do equipamento de forma ortogonal à superfície.

Figura 25: Realização do ensaio na parede 1.



Fonte: Autora (2023).

Repetiu-se os mesmos procedimentos na parede de face oposta a parede 1, conforme mostrado na Figura 26.

Figura 26: Realização do ensaio na parede 2.



Fonte: Autora (2023).

Com a realização do ensaio de esclerometria foi possível obter os resultados através dos impactos realizados. Foi necessário calcular a média aritmética dos valores obtidos e posteriormente descartar os índices esclerométricos individuais que obtiveram afastamento maior que 10% da média calculada (valores evidenciados na Tabela 7 - Resultados do ensaio de esclerometria.). Em seguida, calculou-se uma nova média que multiplicada pelo fator de correção fornece o índice esclerométrico corrigido (I_e).

Tabela 7: Resultado dos ensaios de esclerometria.

ÍNDICES ESCLEROMÉTRICOS		
Nº IMPACTO	PAREDE 1	PAREDE 2
1	43	36
2	38	44
3	44	37
4	45	34
5	43	44
6	42	48
7	45	38
8	40	39
9	42	39
10	42	42
11	39	40
12	41	40
13	42	41
14	40	40
15	40	39
16	45	40
MÉDIA₀	41,94	40,06
10%	4,2	4,01
MÉDIA₁	41,94	39,53

Fonte: Autora (2023).

Para encontrarmos o índice esclerométrico corrigido, usamos:

$$Ie = média_1 \times k$$

Onde,

Coeficiente de correção do índice esclerométrico (k)= 1,00

Para parede 1:

$$Ie = 41,94 \times 1,00$$

$$Ie = 41,94$$

Para parede 2:

$$I_e = 39,53 \times 1,00$$

$$I_e = 39,53$$

Analisando o ábaco, temos que:

Tabela 8: Tabela de referência ábaco.

MÉDIA₀	41,94	40,06
10%	4,2	4,01
MÉDIA₁	41,94	39,53
<i>I_e, corrigido</i>	41,94	39,53
f_c	44 Mpa	40 Mpa
Δ	7,2 Mpa	7 Mpa

Fonte: Autora (2023).

Com os resultados de resistência superficial do concreto identificado é possível analisar que os valores são bem aderentes ao valor inicial encontrado, obtendo nas paredes muito pouca diferença dos valores iniciais.

De acordo com a conversão da dureza superficial correlacionando-as com o Ábaco de correção na tabela 8, é possível obter uma resistência a compressão aceitável tendo em vista alguns parâmetros relacionados ao reservatório analisado.

A ABNT NBR 6118:2014 separa o meio ambiente em quatro classes de agressividade, a fraca, moderada, forte e muito forte. Estas classes são classificadas de acordo com as características físicas e geológicas do local onde a estrutura de concreto armado ou protendido se encontra e pelos fatores químicos as quais ela é exposta. A Tabela 6 demonstra essa separação de classes de acordo com a norma citada.

Tabela 9: Classe de Agressividade Ambiental.

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fracá	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{a, b}	Pequeno
III	Forte	Marinha ^a	Grande
		Industrial ^{a, b}	
IV	Muito forte	Industrial ^{a, c}	Elevado
		Respingos de maré	

^a Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

^b Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65 %, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

^c Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Fonte: ABNT NBR 6118:2014

Dessa forma, para obter um parâmetro de correlação dos resultados encontrados, é necessário classificar a agressividade do objeto de estudo.

O reservatório analisado nesse estudo possui características locais que se enquadram na classe de agressividade ambiental II. Assim, é possível validar o resultado da resistência do concreto armado obtida através da Tabela (9):

Tabela 10: Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto.

Concreto ^a	Tipo ^{b, c}	Classe de agressividade (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40

^a O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.

^b CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.

^c CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

Fonte: ABNT NBR 6118:2014

Para a classe de agressividade ambiental determinada (classe II) a resistência para o concreto armado deve ser igual ou superior a 25MPa, valor esse que foi obtido por ambas as áreas analisadas no reservatório:

Parede 1: 44 Mpa > 25 Mpa

Parede 2: 40 Mpa > 25 Mpa

3.5 Ensaio de termografia

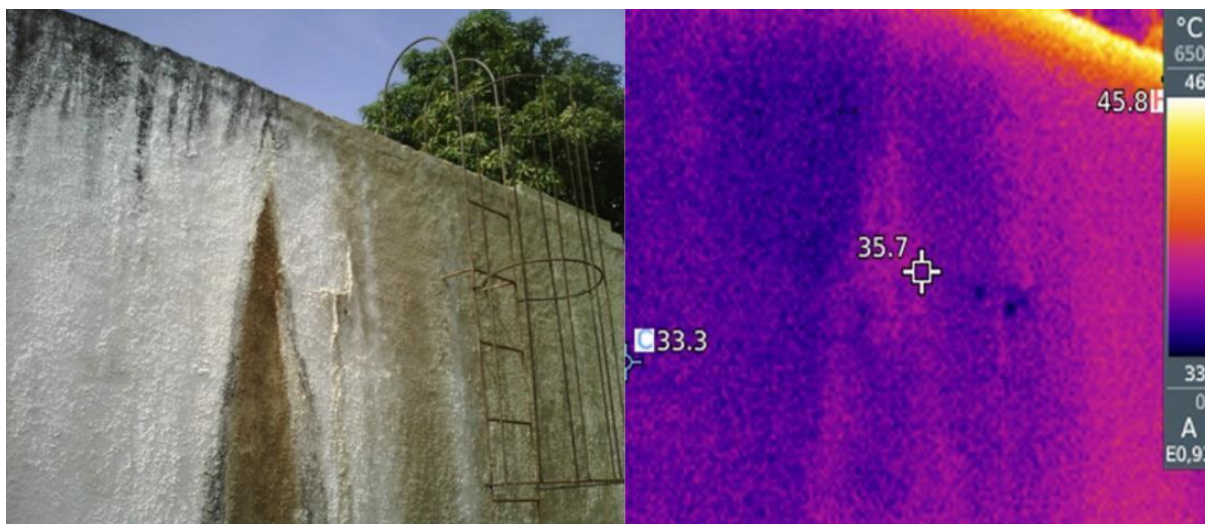
A câmera termográfica funciona através da radiação térmica ou infravermelha emitida por qualquer estrutura, corpo ou objeto que possuir temperatura superior a zero absoluto. Sua foto capturada tem por finalidade revelar as diferenças de temperatura de determinado local, revelando que um corpo ao emitir radiação visível em quantidade suficiente para adquirir luminosidade própria, aparecerá em cor vermelha transformando-se em laranja e amarelo à medida que a temperatura aumenta. Quando o processo inverso ocorre, o corpo não emitirá radiação, a cor azul aparecerá nas fotos alterando-se para o preto de acordo com a diminuição de temperatura. Tal diferença de cores se torna possível devido à emissividade do objeto em estudo, ou seja, a medição da gama de radiação emitida pelo objeto quando comparada à que é emitida pelo corpo que absorve toda radiação submetida sobre ele, em qualquer comprimento de onda, conhecido como corpo negro ideal. (ALVES; SOUSA; 2014).

O ensaio realizado com a câmera termográfica infravermelha tem várias finalidades quando utilizadas na construção civil, desde a utilização para componentes elétricos e hidráulicos, quando para identificação de elementos estruturais. No ensaio foi analisado através desta técnica possíveis pontos de umidade não visíveis nas paredes do reservatório, com o propósito de encontrar possíveis pontos de infiltração. Durante a realização da vistoria e dos ensaios, foi possível notar que o presente reservatório não apresentou patologias que já não houvesse sido identificadas na avaliação visual.

Através do ensaio de termografia analisou-se a diferença de temperatura em diversas áreas do reservatório, essa variação de temperatura se dá diante da presença de umidade. A Figura 27 evidencia a presença de umidade ocasionada pelo vazamento na parede do reservatório, é possível verificar uma grande variação de temperatura entre a área do vazamento, que tem a presença de água, e a área da laje

que está sempre exposta ao sol. Com o uso da câmera termográfica foi identificado uma variação de temperatura das áreas igual à $10,1^{\circ}\text{C}$.

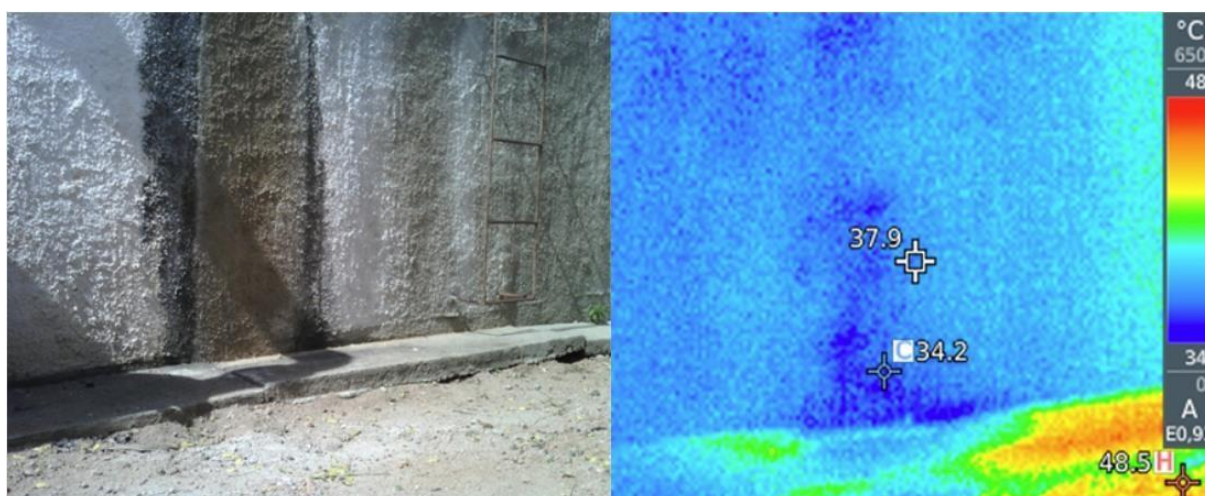
Figura 27: Análise termográfica da parede com vazamento e comparação com imagem real.



Fonte: Autora (2023).

Posteriormente foi analisada a mesma parede, porém dessa vez em uma área mais próxima ao nível do terreno, a área analisada também se encontra afetada pela água que escoar devido o vazamento e apresenta temperaturas baixas quando comparadas com a temperatura da laje (Figura 27) e também com a temperatura do piso ao redor do reservatório (figura 28). Nessa avaliação a variação de temperatura foi maior que a anterior, sendo $14,3^{\circ}\text{C}$.

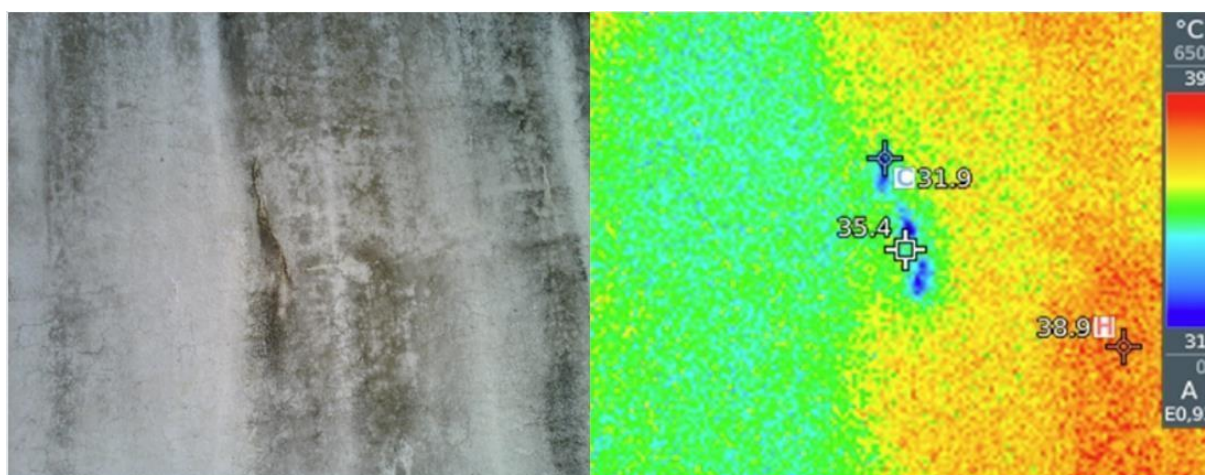
Figura 28: Análise termográfica da parede com vazamento em comparação com a imagem real.



Fonte: Autora (2023).

A presença de patologias torna mais visível a análise termográfica, é o que mostra a terceira área de análise do ensaio termográfico (Figura 29), onde o destacamento da pintura com a presença de umidade ocasionando a infiltração resulta na variação de temperatura. A variação de temperatura avaliada no início da infiltração difere da área onde não há presença de patologia, dessa vez com uma diferença consideravelmente menor de 7°C quando comparada com as avaliações anteriores.

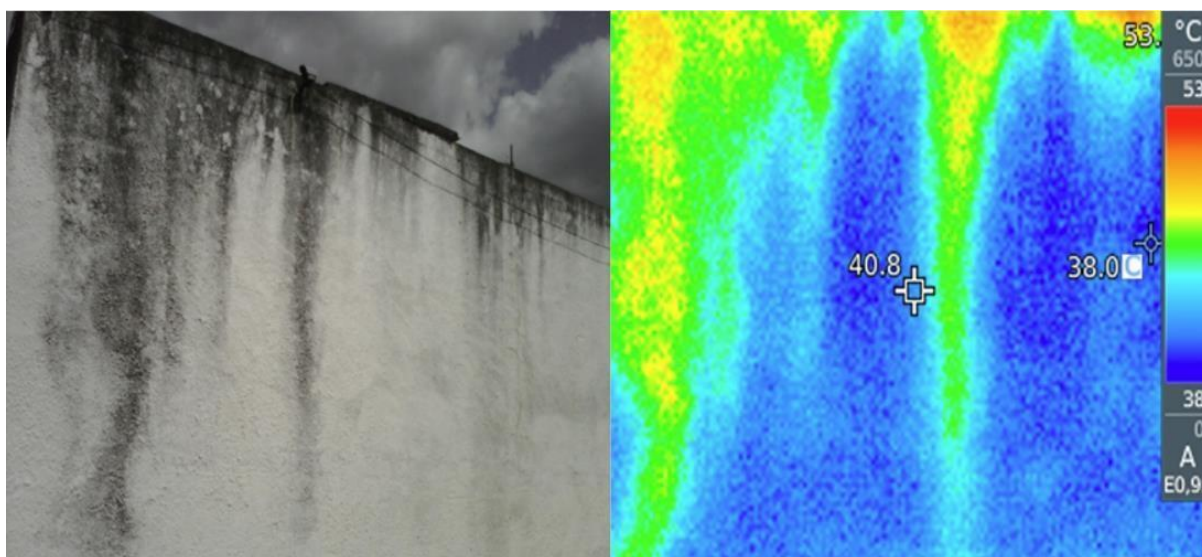
Figura 29: Comparação com imagem real da análise termográfica da parede com destacamento de pintura e infiltração.



Fonte: Autora (2023).

A presença de manchas na parede comprovou uma variação de temperatura na 4ª área analisada no ensaio, a parede avaliada apresentou temperaturas diferentes da temperatura da laje, apontada na Figura 30 como 15°C.

Figura 30: Comparação com imagem real da análise termográfica da parede com manchas.



Fonte: Autora (2023).

Diante dos resultados encontrados foi possível afirmar e evidenciar lugares que já haviam sido apontados como áreas afetadas por patologias através da inspeção visual. Porém, além de afirmar a precariedade desses pontos, também foi possível analisar a grande distorção de temperaturas, que pode causar dilatação térmica e tensão de cisalhamento prejudicando a edificação com patologias progressivas.

3.6 Mapa de Danos

Com base nas informações coletadas e no desenvolvimento da análise com as ferramentas mencionadas, optou-se por representar os danos mais significativos encontrados em um mapa de danos. Para tanto, foi utilizado o software SketchUp para a elaboração e modelo em 3 dimensões (3D), para o desenvolvimento de planta em dimensões realísticas, com representações aproximada dos principais danos encontrados.

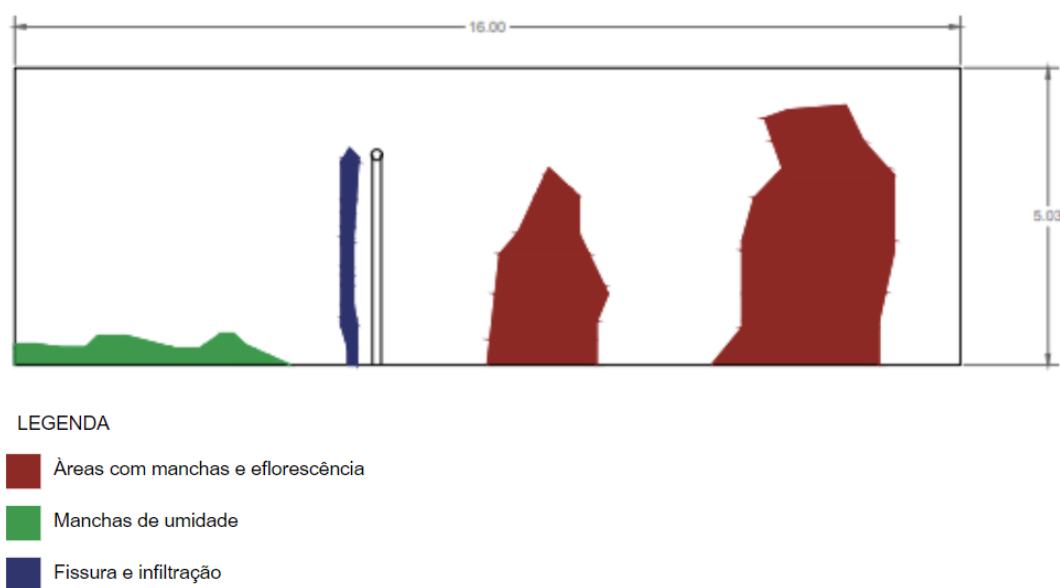
Os resultados podem ser visualizados nas Figuras 31, 32, 33 e 34:

Figura 31: Representação global do reservatório ETA alvo do estudo.



Fonte: Autora (2023).

Figura 32: Representação das principais patologias encontradas (corte lateral)



Fonte: Autora (2023).

Figura 33: Representação das principais patologias encontradas (porção lateral traseira)

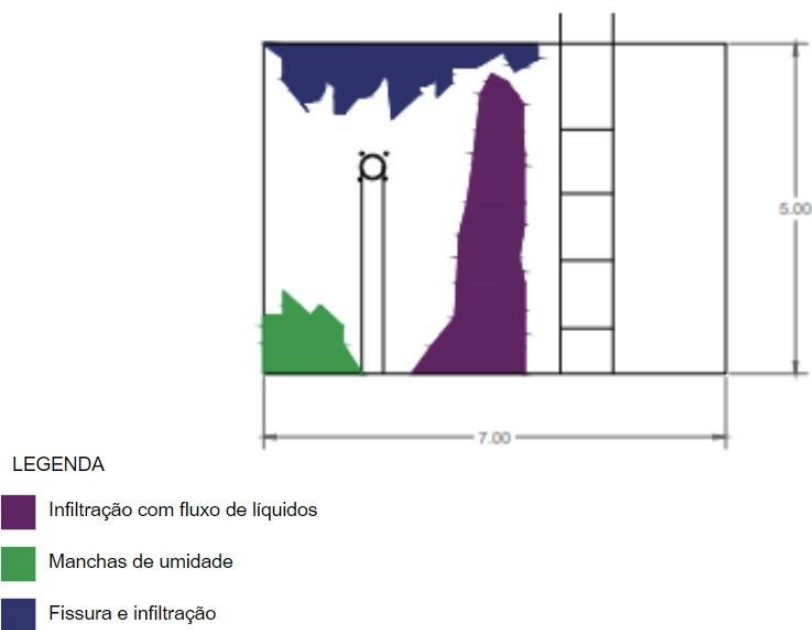
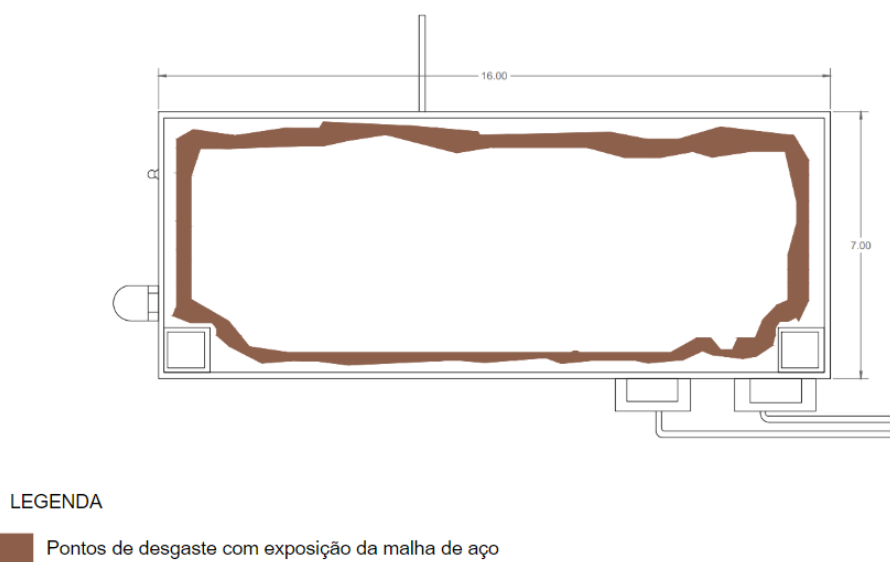


Figura 34: Representação dos principais danos encontrados (corte superior).



Fonte: Autora (2023).

3.7 Tabela GUT

Para a edificação do estudo, se aplicaram na tabela GUT os parâmetros, observando os índices a serem corrigidos em ordem de importância (Tabela 11):

Tabela 11: Tabela GUT aplicada à edificação alvo do estudo.

MANIFESTAÇÃO	G	U	T	G X U X T	PRIORIDADE
Corrosão	10	10	9	900	1º
Manchas de oxidação nas tubulações externas	9	9	10	810	2º
Rachaduras e vazamento	9	10	9	810	2º
Umidade e infiltração	8	9	5	360	3º
Manchas e eflorescência	5	9	7	315	4º
Fissuras	3	5	7	105	5º
Brechas	5	5	4	100	6º

Fonte: Autora (2023).

É perceptível então que, diante dos valores atribuídos, se constata que as manifestações patológicas presentes se encontram com elevados graus de incidência, fazendo com que a edificação tenha seu desempenho comprometido e vida útil reduzida. Portanto, a edificação deve passar por uma intervenção afim de recuperar sua estrutura, iniciando prioritariamente pelas patologias que influem diretamente nos riscos à vida humana.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O papel da Engenharia, ao longo do seu desenvolvimento como ciência exata com o decurso dos séculos, foi o de proporcionar melhorias significativamente úteis a problemas existentes que envolvem o homem em seu ambiente natural e as necessidades de mudança deste por questões diversas.

O desenvolvimento do trabalho com o concreto deu às estruturas construídas ao longo dos séculos, uma perspectiva de duração que iria além daqueles que as construíram, passando para um nível de gerações. Com aspectos positivos o concreto continuou – e continua – sendo aperfeiçoado ao longo do tempo. Hoje, conhecemos uma série de vantagens e desvantagens que permitem interpolar diversos meios de se trabalhar com o poderoso recurso construtivo.

No caso em estudo, por exemplo, percebeu-se como a durabilidade de uma estrutura de concreto armado capaz de se estender, normalmente, até 50 anos para o início de reparos urgentes, passa a ser agredido pelo tempo, bem como pelas ações humanas no decorrer do seu uso antecipando a necessidade de que sejam feitas tais manutenções, sob pena de ser condenado o uso.

Na estrutura analisada foram encontrados praticamente todas as principais e mais importantes patologias do concreto, o que nos permitiu formular hipóteses que foram, desde a utilização de material de qualidade não adequada, até situações em que os eventos naturais, como a chuva, a variação de temperatura, entre outros, puderam ter um peso significativo no destino desta estrutura.

A partir do mapa de danos é possível mensurar de maneira mais clara, como os aspectos envolvendo a estrutura em si puderam ser modificadas ao ponto de causar danos capazes de reduzir a vida útil da ETA, caso as medidas apontadas não sejam tomadas.

Destaque na análise e nas vistorias, para a manifestação de eflorescência, bem como carbonatação, a junção de eflorescências e a umidade, bem como, em menor número mais significativamente danosas, algumas brechas encontradas em pontos específicos da estrutura.

Se aproximando da meia vida mínima dos seus materiais construtivos, a fim de evitar um colapso e o conseqüente prejuízo de toda a comunidade com a perda da ETA, é interessante a sensibilização no sentido de promover uma reforma que contemple, de preferência, todas as intervenções sugeridas ao longo deste estudo, permitindo-se desta forma, que a estrutura possa ser preservada em casos nos quais

a capacidade dos materiais possa ser posta a prova pelo meio ambiente e os agentes humanos.

5 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Realizar novo mapa de danos avaliando eventuais intervenções ou progressões dos danos verificados;
- Investigar a influência dos solos e sua propensão ao surgimento de patologias associadas ao sal (sobretudo a corrosão por cloretos);
- Analisar o fator de dilatação da estrutura em face do surgimento de novas patologias ou avanço das existentes;
- Elaboração de análise financeira e plano de execução de acordo com as prioridades definidas na Tabela GUT;
- Estudo sobre a prevalência de fatores de risco às patologias do concreto presentes na estrutura em relação à contaminação da água por agentes químicos nocivos.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 13.752/1996**. Projeto de Estruturas de Concreto, 1996.

_____. **NBR 6118/2014** – Projeto de Estruturas de Concreto, 2014.

_____. **NBR 7584** – Concreto endurecido – Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão – Método de ensaio. 2012.

_____. **NBR. 12217** – Projeto de Reservatório de Distribuição de Água para Abastecimento Público. **Rio de Janeiro: ABNT**, 1994.

_____. **NBR 15575-2** – Norma de desempenho de edificações. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS E INSPEÇÃO ABENDI. Guia **ABENDI 2018: Ensaios Não Destrutivos e Inspeção**, 2018.

ALVES, Júlio César de Castro; CARVALHO, Leonardo Gomes de Sá e. **Corrosão: estudo de caso sobre ruptura do concreto**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 04, ed. 10. Vol. 04, 2019.

ALVES, NIELSEN E SOUZA, JULLYANA. **“A análise de manifestações patológicas em paredes de concreto moldadas in loco utilizando a termografia como ensaio não destrutivo”** – 1º Congresso de Patologia das Construções. 2014.

ASSIS, Erica Moreira de; LIMA, André Jordão de. **Patologias em concreto armado: estudo de caso em pontes da região metropolitana em Salvador-BA**. Disponível em:

<://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfndmkaj/https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/32459/2/20222_ECV_EMA.pdf>. Acesso em 07 de agosto de 2023.

BARTHEL, C; PESTANA, F. O papel do mapa de danos na conservação do patrimônio arquitetônico. In: **Anais do I Congresso Iberoamericano e VIII Jornada de “Técnicas de Restauração e Conservação do Patrimônio”**. Vol. 01, nº 01, Buenos Aires.

BELLEI, Poliana et al. Influence of brick and concrete substrates on the performance of renders using in-situ testing techniques. **Journal of Building Engineering**, v. 43, p. 102871, 2021.

BONADEU, Jeferson Rodrigo. **Análise da penetração de cloretos no concreto armado expostos em ambiente natural e simulado**. 2016. 57p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba (PR).

BOSQUETTI, Pérciles; ANGELONI, Maurício; SILVA, Alexandre Guizelini da. Estudo da corrosão por cloretos e seus efeitos em aços inoxidáveis AISI 430 e AISI 439 em diferentes acabamentos superficiais. **Intercorr**. Vol. 01, nº 01, 2014.

BROZOVSKY, Jiri. Comparson of Compressive Strenghts of Concrete Testing by Different of Sclerometers. **Procedia Engineering**, v. 65, p. 254-259, 2013.

CARRARO, Carolina Lemos; DIAS, João Fernando. Diretrizes para prevenção de manifestações patológicas em Habitações de Interesse Social. **Ambiente Construído**, v. 14, p. 125-139, 2014.

CHIES, Josué Argenta. Ensaios não destrutivos em concreto: detecção de falhas no interior de estruturas de concreto com o uso de ultrassom. Dissertação de Mestrado. 2014.

COSTA, Naiara G.; MAIA, David Alan S.; BARBOSA, Anderson H. Identificação de patologias em reservatórios de concreto armado em Juazeiro/BA. Anais da Conferência Nacional de Patologia e Recuperação de Estruturas. 2017.

CUNHA, Igor Raimundo Dias et al. Trincas e fissuras em alvenaria de vedação: movimentações por ações térmicas e recalques de fundações. 2022.

DA SILVA, Amanda Fernandes Pereira et al. Patologias em estruturas de concreto armado: estudo de caso. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 1, p. 363-374, 2021.

DA SILVA, Luiz Alberto et al. Estudo sobre patologia estrutural em um reservatório de água de concreto armado. **Revista Augustus**, v. 25, n. 50, p. 66-80, 2020.

DE ALMEIDA MELLO, Gláucia Nolasco; BREMER, Cynara Fiedler. Utilização da esclerometria para a determinação da resistência de alvenarias antigas. **Conjecturas**, v. 22, n. 11, p. 224-237, 2022.

DE BEM NORO, Greice. Tomada de decisão em Gestão de Projetos: um estudo realizado no setor de construção civil. **Revista Gestão da Produção Operações e Sistemas**, n. 4, p. 71, 2012.

DE SOUZA, Marcos Ferreira. Patologias ocasionadas pela umidade nas edificações. **Monografia (Especialização em Construção Civil: Avaliações e Perícias)**, Departamento de Engenharia de Materiais de Construção, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

DO NASCIMENTO, Felipe Bomfim Cavalcante. Corrosão em armaduras de concreto. **Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT-ALAGOAS**, v. 3, n. 1, p. 177-188, 2015.

EDIS, E.; FLORES-COLEN, I.; BRITO, J. de. Passive Thermographic Detection of Moisture Problems in Façades With Adhered Ceramic Cladding. **Construction and Building Materials**, v. 51, p. 187-197, 2014.

EMÍDIO, Gabrielly Santos Nascimento. Elaboração de guia de inspeção para reservatórios elevados de concreto armado. 2022.

EVANGELISTA, Ana Catarina Jorge. Avaliação da resistência do concreto usando diferentes ensaios não destrutivos. **Rio de Janeiro**, 2002.

FERREIRA, Jackeline Batista et al. Manifestações patológicas na construção civil. **Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT-SERGIPE**, v. 5, n. 1, p. 71-71, 2018.

FIBERSALS. **Danos estruturais causados pela infiltração**. Disponível em: <<https://fibersals.com.br/blog/danos-estruturais-causados-pela-infiltracao/>>. Acesso em 07 de agosto de 2023.

FIGUEREDO, Tássia Dias. **Manifestações patológicas por alterações químicas no concreto**. 2018. 94p. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Produção e Gestão do Ambiente). Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte (MG).

FILHO, Genildo Coelho Hautequestt; ACHIAMÉ, Giovana Gonçalves. Diretrizes para a representação gráfica de mapa de danos. **PATORREB**. Vol. 01, nº 01, 2016.

FRAPPA, Giada; MICELI, Massimiliano; PAULETTA, Margherita. Destructive and non-destructive tests on columns and cube specimens made with the same concrete mix. **Construction and Building Materials**, v. 349, p. 128807, 2022.

HELAL, James; SOFI, Massoud; MENDIS, Priyan. Non-destructive testing of concrete: A review of methods. **Electronic Journal of Structural Engineering**, v. 14, n. 1, p. 97-105, 2015.

HENRIQUES, Maria João; RAMOS, Pedro. Thermal imaging of concrete dam surfaces to support the control of the evolution of pathologies. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/317620823_THERMAL_IMAGING_OF_CONCRETE_DAM_SURFACES_TO_SUPPORT_THE_CONTROL_OF_THE_EVOLUTION_OF_PATHOLOGIES [Acessado em 27/09/22].

KEELING, R. Gestão de Projetos: uma abordagem global. São Paulo: Saraiva, 2002. LODI, Victor Hugo. A corrosão das armaduras de concreto. disponível em: https://www.basalto.eng.br/wa_files/Corros_C3_A3o_20de_20Armaduras_20em_20Concreto-II.pdf [acessado em 21/07/2023].

KLIMPEL, E. C.; SANTOS, P. R. C. **Levantamento das manifestações patológicas presentes em unidades do conjunto habitacional Moradias Monteiro Lobato**. 2010. 98f. Monografia (Especialização em Patologia nas Obras Civas) Instituto IDD, Curitiba.

LORENZI, Alexandre et al. Emprego de ensaios não destrutivos para inspeção de estruturas de concreto. **Revista de engenharia civil IMED [recurso eletrônico]. Passo Fundo, RS. Vol. 3, n. 1 (jan./jun. 2016), p. 3-13**, 2016.

LORENZI, Alexandre et al. Utilização de ultrassom para o monitoramento de estruturas de concreto. In: **Annals of the PANAMERICAN CONFERENCE FOR NON-DESTRUCTIVE TESTING-PANNDT**. Rio de Janeiro, RJ. 2003.

MEIRA, Gibson Rocha; FERREIRA, Pablo Ramon Rodrigues. Revisão sobre ensaios acelerados para indução da corrosão desencadeada por cloretos em concreto armado. **Ambiente Construído**, v. 19, p. 223-248, 2019.

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: IBRACON, 2014

OLIVARI, Giorgio. Patologia em edificações. **São Paulo**, 95 p., 2003.

OLIVEIRA, A. M. de. **Fissuras, Trincas e Rachaduras Causadas por Recalque Diferencial de Fundações**. 2012. 96 f. Monografia (Especialização) - Curso de Curso de Especialização em Gestão em Avaliações e Perícias, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

OLIVEIRA, José Ulisses de et al. Diagnóstico das manifestações patológicas presentes em um reservatório de uma estação de tratamento de água na cidade de Delmiro Gouveia-AL: estudo de caso. 2019.

PEREIRA, Ester da Penha; THIENGO, Luan Pessin; CONCEIÇÃO, Sara Santos da. **Fissuras, trincas e rachaduras em edificações de concreto armado**. Disponível em: <<http://efaidnbmnnnibpcajpcgglefindmkaj/https://multivix.edu.br/wp-content/uploads/2022/04/fissuras-trincas-e-rachaduras-em-edificacoes-de-concreto-armado.pdf>>. Acesso em 07 de agosto de 2023.

REIS, Lília Silveira Nogueira. **Sobre a recuperação de esforço de estruturas de concreto armado**. 2001. 114p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

REIS E REIS. **Construção Civil e suas patologias: eflorescência**. Disponível em: <<https://www.reisereis.com.br/noticia/43>>. Acesso em 07 de agosto de 2023.

ROCHA, I. Corrosão em estruturas de concreto armado. **Revista On-line Ipog**, Goiânia e dezembro/2015, p. 1-26.

ROCHA, Joaquin Humberto Aquino; PÓVOAS, Yêda Vieira. Detecção de corrosão em concreto armado com termografia infravermelha e ultrassom. **Ambiente Construído**, v. 19, p. 53-68, 2019.

SANTOS, Bruno Silva. **Análise de manifestações patológicas incidentes em reservatório semienterrado executado em concreto armado na cidade de Pariconha – estudo de caso**. 2019. 87p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) Universidade Federal de Alagoas. Delmiro Gouveia (AL).

SEIFFERT, Henrique Luiz de Lima; BALBO, José Tadeu. Development and validation of an ultrasound imaging software for nondestructive evaluation of concrete pavements. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 14, 2021.

SEO, Hyungjoon. Infrared thermography for detecting cracks in pillar models with different reinforcing systems. **Tunnelling and Underground Space Technology**, v. 116, p. 104118, 2021.

SILVA, Fernando Benigno. **Patologia das construções: uma especialidade na engenharia civil**. Edição 114, 2011.

SILVA, MDS et al. Avanço da carbonatação em concretos para idades iniciais. **II Simpósio Brasileiro sobre reabilitação das construções-SBREB II**, 2019.

SILVA, Sarah Honorato Lopes da et al. Avaliação do ciclo de vida de argamassas de revestimento com parâmetros de carbonatação e eflorescência. **Tese de doutorado**. Universidade Federal do Paraná, 2022.

SOUZA, Anne Karolline Lamana de. Identificação das manifestações patológicas em reservatório de água executado em concreto armado em condomínio unifamiliar – Estudo de caso. 2014. 45 f.

TORRES, Ariela da Silva; SILVA, Vívian Michele da; PALIGA, Charlei Marcelo. **Análise das manifestações patológicas em reservatórios elevados na cidade de Pelotas-RS**. Revista Eletrônica de Engenharia Civil. Vo. 12, nº 01, 2016.

TOUIL, Brahim et al. Durability assessment of the oldest concrete structure in the Mediterranean coastline: The Ghazaouet harbour. **Marine Structures**, v. 81, p. 103121, 2022.

VAN LEEUWEN, J; NAHANT, M; PAEZ, S. Study of Pulsed Phase Thermography for the Detection of Honeycombing Defects in Concrete Structures. **e-Journal of Nondestructive Testing**, In: NDT&E of Composite Materials, 2011.

VERÇOZA, E. J. Patologia das Edificações. Porto Alegre, Editora Sagra, 1991. 172p.