



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIAS – CCET
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL - CCEC

DAVI ÁVELA DA SILVA SANTOS
LEANDRO SILVA CARVALHO

ANÁLISE E CAUSAS DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS: Estudo de caso no
Viaduto do Café na cidade de São Luís - MA

SÃO LUÍS- MA
2024

DAVI ÁVELA DA SILVA SANTOS
LEANDRO SILVA CARVALHO

ANÁLISE E CAUSAS DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS: Estudo de caso no
Viaduto do Café na cidade de São Luís – MA.

Trabalho de Conclusão de Curso II
apresentado como requisito final à obtenção
do título de Bacharel em Engenharia Civil,
Centro de Ciência Exatas e Tecnologias -
CCET, da Universidade Tecnológica Federal
do Maranhão.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Aurélio Araújo
Santos.

SÃO LUÍS -MA
2024

Ficha Catalográfica

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a)
autor(a). Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Carvalho, Leandro Silva. Análise e causas de manifestações patológicas : estudo de caso no Viaduto do Café na cidade de São Luís - MA / Leandro Silva Carvalho, Davi Ávela da Silva Santos. 2024.
33 f.

Orientador(a): Marcos Aurélio Araújo Santos.
Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2024.

1. Esclerometria. 2. Manifestações Patológicas. 3. Obras de Arte Especiais. 4. Termografia Infravermelha. 5.
. I. Santos, Davi Ávela da Silva. II. Santos, Marcos Aurélio Araújo. III. Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO

FOLHA DE APROVAÇÃO

DAVI ÁVELA DA SILVA SANTOS
LEANDRO SILVA CARVALHO

ANÁLISE E CAUSAS DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS: Estudo de caso no
Viaduto do Café na cidade de São Luís – MA.

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

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof.º Dr. Marcos Aurélio Araújo Santos
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL
Universidade Federal do Maranhão

Prof.ª Esp. Ana Elizabeth Angelim Cunha
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL
Universidade Federal do Maranhão

Esp. Ana Karoliny da Silva Raposo
Membro Externo

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
1.1 Objetivos geral e específicos	9
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	10
2.1 Viadutos em concreto armado	10
2.1.1 Durabilidade/Vida Útil	10
2.2 Patologias em Obras de Arte Especiais	11
2.2.1 Trincas e Fissuras	11
2.2.2 Corrosão	12
2.2.3 Umidade	13
2.3 Ensaio (Não Destrutivos)	13
2.3.1 Esclerometria	14
2.3.2 Termografia Infravermelha	15
3 METODOLOGIA.....	16
4 ESTUDO DE CASO	17
4.1 Caracterização do campo de estudo	17
4.2 Ensaio realizados in loco	18
4.2.1 Ensaio esclerométrico.....	18
4.2.2 Ensaio termográfico	20
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
5.1 Manifestações patológicas identificadas	21
5.2 Ensaio de Esclerometria.....	24
5.3 Ensaio de Termografia Infravermelha.....	26
6 CONCLUSÃO.....	28
REFERÊNCIAS.....	30

RESUMO

No ambiente da construção civil, existem inúmeras obras de infraestrutura, entre elas, destacam-se os viadutos, chamados de Obras de Arte especiais (OAE's). São fundamentais para a rede viária de uma cidade, pois criam alternativas de deslocamentos, aumentando a fluidez no trânsito. No entanto, por estar sempre expostas aos diversos tipos de intempéries e à própria ação do homem, muitas apresentam manifestações patológicas provocadas por falta de manutenção ou irresponsabilidades durante a sua execução, exigindo com que passe periodicamente por cuidados pontuais de restauração, visto que são estruturas de transporte essenciais à mobilidade de um determinado local. O artigo em questão, trata-se de um estudo de caso, a partir da análise de manifestações patológicas em um viaduto, realizando dois tipos de ensaios não destrutivos: Esclerometria e Termografia infravermelha. O escolhido foi o Viaduto do Café, localizado na capital do Maranhão, na cidade de São Luís. Essa estrutura serviu como estudo justamente pelo fato de possuir um alto fluxo diário de veículos e principalmente por ter um histórico de ocorrências de patologias, mas com um baixo índice de manutenção, deixando certamente evidente a existência de patologias que foram encontradas in loco. A princípio, foi realizada uma inspeção visual, em seguida, registros fotográficos e realização de ensaios, utilizando também as literaturas como embasamento teórico para o desenvolvimento do tema. A partir dos resultados, constatou-se diversas patologias que acometem a estrutura, sendo elas: corrosão; eflorescência; trincas; fissuras e rachaduras, além da má compactação do solo nas áreas de encontro, tornando explícita a ausência de manutenções por um tempo significativo. Perante os fatos, esta temática busca alertar os órgãos competentes em termos de segurança aos usuários, além de refletir sobre evoluções tecnológicas para monitorar tais estruturas essenciais à mobilidade urbana.

Palavras-chave: Esclerometria. Manifestações patológicas. Obras de Arte Especiais. Termografia infravermelha.

ABSTRACT

In the construction industry, there are countless infrastructure projects, including viaducts, known as Special Works of Art (SOAs). They are fundamental to a city's road network, as they create alternative routes, increasing traffic flow. However, because they are always exposed to various types of weather and the action of man, many of them show pathological manifestations caused by lack of maintenance or irresponsibility during their construction, requiring them to undergo periodic restoration work, as they are essential transportation structures for the mobility of a given location. The article in question is a case study, based on the analysis of pathological manifestations on a viaduct, using two types of non-destructive testing: sclerometry and infrared thermography. The viaduct chosen was the Viaduto do Café, located in the capital of Maranhão, in the city of São Luís. This structure was used as a study precisely because it has a high daily flow of vehicles and, above all, because it has a history of pathologies, but with a low maintenance rate, making the existence of pathologies that were found on site certainly evident. At first, a visual inspection was carried out, followed by photographic records and tests, also using literature as a theoretical basis for the development of the theme. The results revealed several pathologies affecting the structure, including corrosion, efflorescence, cracks and fissures, as well as poor soil compaction in the meeting areas, making it clear that maintenance has not been carried out for a significant period of time. In view of the facts, this topic seeks to alert the competent bodies in terms of user safety, as well as reflecting on technological developments to monitor these structures that are essential to urban mobility.

Keywords: Sclerometry. Pathological manifestations. Special Works of Art. Infrared thermography.

1 INTRODUÇÃO

Na era contemporânea, em que a busca pela praticidade e eficiência nas tarefas diárias é cada vez mais intensa, é imprescindível que todas as áreas que compõem a sociedade estejam em pleno funcionamento (Pinheiro, 2022). Uma vez que numa parcela significativa dessas áreas seja desempenhada à engenharia civil, destaca-se a construção de viadutos, que segundo a NBR 9452:2023 (Norma de Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto), são definidos como uma obra que possibilita a transposição de um obstáculo, podendo ser uma via qualquer, além de permitir a continuidade do leito da via.

Essas estruturas são fundamentais para a mobilidade urbana em países com vastas extensões territoriais, como o Brasil, permitindo o fluxo constante de mercadorias e indivíduos. Nesse contexto, as Obras de Arte Especiais (viadutos, pontes e passarelas) e outros empreendimentos são expostos a agentes ambientais agressivos e estruturais de diferentes naturezas e magnitudes, o que resulta em processos de deterioração. Assim, para garantir o desempenho e a durabilidade previstos no ciclo de vida do projeto, é necessário realizar inspeções e manutenções (Carvalho *et al.*, 2021).

Ciro de José Villela Ribeiro de Araújo (2017), pesquisador do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) de São Paulo, comenta que a degradação das pontes e viadutos, seja em estruturas de concreto, madeira ou metálicas, está vinculada a questões como a idade que estas estruturas possuem, o uso ao qual foram projetadas, a exposição ao meio ambiente onde está inserida (região rural, urbana, industrial e litorânea, por exemplo) e a falta de atividades de manutenção.

Em 2003, foram apresentados com maior destaque aspectos relacionados à durabilidade e degradação das estruturas, com as publicações das revisões das Normas Técnicas, como é o caso da NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003), que na data de 22 de novembro de 2023 sofreu modificações, promovendo uma regulamentação atualizada.

Neste mesmo âmbito, em 2010, o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) desenvolveu o Manual de Recuperação de Pontes e Viadutos Rodoviários, com o objetivo de listar as principais patologias das pontes e viadutos rodoviários de concreto armado, convencional ou protendido, identificando-as e indicando ações preventivas e de tratamento.

Além disso, a NBR 9452 (ABNT, 2023) afirma que a inspeção torna-se importante para a análise dos viadutos, proporcionando a conservação e o restabelecimento das condições

de utilização, tais como, funcionalidade, segurança estrutural e durabilidade, por meio de processos técnicos, que compreendem o levantamento de informações para a elaboração do diagnóstico e do prognóstico, além de auxiliar na escolha da terapia a ser empregada.

Segundo Vasconcelos (2018), a grande maioria das pontes e viadutos existentes no Brasil são construídas com concreto armado. Nesse contexto, é crucial analisar os possíveis agentes deteriorantes dessas estruturas para garantir a segurança e a longevidade esperada dessas construções, visto que são expostas a distintos tipos de agentes agressivos e solicitações. Os usuários, ao trafegarem sobre essas estruturas, não percebem o nível de desgaste que elas podem apresentar, pois geralmente só se nota o estado do pavimento e não dos demais elementos estruturais que as compõem. Isso reflete a importância de operar periodicamente inspeções, de modo a avaliar a condição desses elementos, a fim de manter os padrões de segurança e funcionalidade necessários.

Diante do exposto, nota-se que as Obras de Arte Especiais (OAE's) desempenham um papel crucial no progresso econômico e social de um país. Essas construções requerem um sistema de gerenciamento eficaz para monitorar sua condição de conservação, em sua maioria, estão expostas a diferentes tipos de impactos ambientais e carregamentos, exigindo cuidados específicos. Dessa forma, o presente estudo contribuirá para o desenvolvimento de uma análise das manifestações patológicas reincidentes, empregando como parâmetro o Viaduto do Café, em São Luís - MA, que poucas vezes passou por melhorias, sendo gradativamente desgastado por ação do tempo (intempéries) e falta de manutenções.

1.1 Objetivos geral e específicos

Apresenta-se como objetivo geral deste estudo, analisar as atuais condições estruturais do Viaduto do Café, a partir de ensaios não destrutivos, a fim de estimular um sistema de gerenciamento mais eficaz, visando aprimorar o processo de inspeção.

Como objetivos específicos:

- Realizar a leitura fotográfica do Viaduto do Café, identificando as manifestações patológicas expostas;
- Discorrer sobre as possíveis causas das patologias verificadas;
- Realizar ensaios de esclerometria e termografia infravermelha, a fim de saber a resistência superficial do concreto e possíveis falhas térmicas e desgastes em fase inicial, respectivamente.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

De acordo com Rosa (2021), os viadutos mostram-se de suma importância no transporte de cargas, no favorecimento do escoamento da produção nacional e na conexão de pontos críticos nas rodovias. Nas áreas densamente povoadas, são componentes essenciais para organizar e manter a fluidez do tráfego.

O item em questão fornece a base teórica dos conceitos fundamentais relacionados ao tema desenvolvido neste trabalho. Com ênfase em viadutos de concreto armado, abordando de forma mais minuciosa as possíveis manifestações patológicas nos elementos constituintes dessas estruturas.

2.1 Viadutos em concreto armado

Uma estrutura de concreto armado é uma união robusta de concreto (uma mistura de pedra, areia, cimento e água, formando uma pedra artificial) com uma estrutura resistente à tração, geralmente feita de aço. Essa combinação sólida se manifesta em diferentes formas, como lajes, vigas, pilares, fundações, entre outros elementos. (Botelho;Marchetti, 2018).

No campo da construção civil, o concreto armado se destaca significativamente como um dos materiais mais versáteis e usados. A fusão entre concreto e aço proporciona atributos singulares de força mecânica e durabilidade, tornando-o uma escolha essencial para fins estruturais. (Borges, 2023).

2.1.1 Durabilidade/Vida Útil

Almeida e Sales (2018) entendem que a vida útil de uma estrutura de concreto armado está vinculada à sua durabilidade, enquanto esta é a capacidade de os elementos estruturais suportarem as agressões ambientais no qual está inserida. Contribuindo com essa ideia, conforme Moraes, Souza, Dourado (2023), ao construir obras de arte especiais, como pontes e viadutos, é imprescindível avaliar a vida útil da estrutura, no que corresponde ao período estimado para sua eficácia e funcionalidade de serviço. Contudo, a durabilidade dessas construções pode ser impactada por uma variedade de agentes deterioradores, incluindo condições climáticas adversas.

Volland *et al.* (2020) classificam a vida útil de duas formas: técnica e econômica. Segundo os autores, o período no qual um determinado elemento ou estrutura não cumpre a função pretendida de maneira razoável é denominado de vida útil técnica. Os mesmos autores

afirmam que a vida útil econômica equivale a um período específico em que os custos previstos para recuperação de um elemento ou estrutura excedem os considerados na etapa de projeto.

De modo a concluir essa linha de raciocínio, a norma ABNT NBR 15575:2024 afirma que ao serem finalizadas, as construções e suas componentes passam por um processo natural de envelhecimento, que pode ser revertido, em parte, por meio da realização regular e adequada de programas ou planos de manutenção. Variações no clima, contato com substâncias nocivas, ruídos e demais fatores ambientais têm o potencial de influenciar o desempenho, a taxa de desgaste e deterioração, bem como a probabilidade de ocorrência de falhas.

2.2 Patologias em Obras de Arte Especiais

2.2.1 Trincas e Fissuras

Segundo Weimer, Thomas e Dresch (2018), fissuras, trincas, deslocamentos, corrosão, carbonatação e outras são as manifestações patológicas mais comuns em estruturas de concreto armado, como também, desagregação, desgaste, erosão, cavitação, eflorescência e manchas. A deterioração do concreto armado é complexa e afeta tanto o concreto quanto a armadura, sendo influenciada por fatores mecânicos, físicos, químicos ou biológicos, intrínsecos ou extrínsecos.

Diferenciam-se fissuras de trincas, geralmente pela grandeza da abertura. Pode-se considerar fissuras como aberturas finas e alongadas na sua superfície e, trincas, aquelas que provocam a separação do elemento (Santos, 2021). A tabela 1 caracteriza as fissuras de acordo com o grau de abertura.

Tabela 1: Classificação da fissura quanto à abertura.

Tipo de Lesão	Abertura
Fissura	até 0,5 mm
Trinca	de 0,5 mm a 1,5 mm
Rachadura	de 1,5 mm a 5,0 mm
Fenda	de 5,0 mm a 10,0 mm
Brecha	acima de 10,0 mm

Fonte: Adaptado de Oliveira *et al.* (2019).

Winkel (2019) afirma que as manifestações patológicas no concreto são evidenciadas pelas trincas e fissuras, as quais são a principal porta de entrada para diversos outros agentes agressores como gás carbônico, umidade, sais, entre outros.

Conforme Mascarenhas *et al.* (2019), as fissuras são uma das principais patologias causadas por agentes mecânicos em viadutos, surgem devido à sobrecarga na estrutura ou movimentação das fundações, aparecendo na superfície ou no interior da estrutura.

Para que seja possível adotar o meio de tratamento mais adequado, é necessário obter informações sobre o estado atual das manifestações patológicas, ou seja, é de suma importância compreender se as fissuras estão ativas ou estáveis. O principal exemplo deste caso, são as fissuras que quando ativas são consideradas manifestações patológicas, porém quando estas param sua movimentação, tornam-se meios de acesso a outros agentes agressivos ao concreto, resultando assim, causas de manifestações patológicas.

2.2.2 Corrosão

É um dos procedimentos de deterioração mais frequentes em estruturas de concreto armado, resultante da exposição a vários elementos, tais como água, oxigênio e agentes agressivos (Rosa, 2021).

Os principais agentes que desencadeiam a corrosão são o dióxido de carbono (CO_2) e os cloretos (Cl^-). Além disso, há outros elementos que auxiliam para a degradação das estruturas de concreto, como reações álcali-agregadas, danos por sulfatos, biodegradação, ataques por ácidos, entre outros. Cada um desses fatores causa um tipo específico de deterioração, com diferentes consequências (Nascimento, 2021).

De acordo com Alves e Carvalho (2019), a corrosão pode ser dividida em dois tipos: generalizada e localizada. Na generalizada, o desgaste do material pode acontecer de maneira uniforme em grandes áreas do metal. Na localizada, ocorre em superfícies limitadas e geralmente se aprofunda mais rapidamente do que na corrosão generalizada. Essas manifestações da corrosão podem apresentar variações morfológicas, assumindo diferentes formas e aspectos superficiais, podendo ser uniformes ou irregulares, com a criação de pites ou formação de fissuras, como ilustrado na Figura 1.

Figura 1: Tipos de Corrosão.



Fonte: Alves; Carvalho (2019).

2.2.3 Umidade

Conforme Rodrigues e Santos (2022), dentro das várias questões patológicas que podem afetar a estrutura de uma edificação, uma das mais significativas é a umidade. Essa situação é caracterizada pela presença indesejada de água nos materiais ou elementos construtivos em quantidade superior ao equilíbrio hídrico esperado com o ambiente circundante.

Os autores, acima, reforçam que a presença de umidade não só prejudica a qualidade do ar e a sensação de bem-estar dentro das construções, mas também afeta de forma adversa a sua funcionalidade. Ademais, a água desempenha um papel central em diversos outros processos nocivos que podem diminuir a longevidade dos materiais de construção e, por conseguinte, das próprias estruturas e componentes construtivos. Dentre esses processos estão inclusos a corrosão, deterioração, decomposição, eflorescência, bolor, entre outros.

2.3 Ensaios (Não Destrutivos)

Os ensaios não destrutivos (END) foram desenvolvidos de maneira a auxiliar na obtenção de informações acerca das propriedades efetivas dos materiais usados numa estrutura real. A obtenção de estimativas de resistência através de técnicas de END se constitui numa possibilidade alternativa de controle bastante interessante (Lorenzi *et al.*, 2019).

Dada sua natureza predominantemente não invasiva, os END's se constituem em uma das principais ferramentas de controle da qualidade de materiais e produtos, e são amplamente utilizados em diversas atividades (Lorenzi *et al.*, 2019). Para o presente estudo, foram definidos dois experimentos deste âmbito, com a finalidade de obter resultados com maior exatidão, sem que altere as propriedades do componente estrutural analisado.

2.3.1 Esclerometria

O Ensaio Esclerométrico é um END que mede a dureza superficial do concreto, fornecendo elementos para a avaliação da qualidade do concreto em estruturas novas ou antigas, auxiliando na identificação e prevenção de danos associados à durabilidade e segurança estrutural (Paiva *et al.*, 2021).

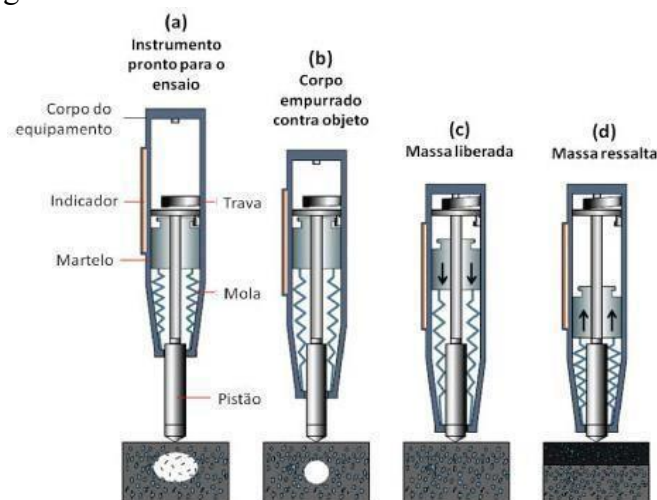
Comparado com outros métodos não-destrutivos, o esclerômetro proporciona uma rápida obtenção de grande quantidade de dados sem causar danos na superfície do concreto, sendo além disso, considerado um equipamento versátil por ser leve e de fácil manuseio, incluindo o seu baixo custo de aquisição (Paiva *et al.*, 2021).

O esclerômetro de reflexão consiste em uma massa-martelo que, impulsionada por uma mola, choca-se através de uma haste, com ponta e forma de calota esférica, em uma área de ensaio (ABNT NBR 7584:2012).

Segundo a ABNT NBR 7584:2012, o índice esclerométrico é um valor obtido através do impacto de um esclerômetro de reflexão sobre uma área de ensaio, fornecido diretamente pelo aparelho correspondente ao número de recuo do martelo.

Após o impacto, a deformação da mola é medida por extensômetros presentes no interior do equipamento, fornecendo o índice esclerométrico, que pode ser correlacionado empiricamente com ensaios de compressão (Silva *et al.*, 2017). Os processos operacionais deste equipamento estão caracterizados na figura 2.

Figura 2: Mecanismo de funcionamento do esclerômetro.



Fonte: Medeiros (2012).

Cardoso (2022) afirma que o resultado do esclerômetro é influenciado principalmente pela camada superficial de concreto, portanto esse teste pode não representar o interior do elemento estrutural em análise. Além das propriedades superficiais do concreto, outros fatores podem influenciar os resultados: dosagem de cimento, natureza e dimensões dos agregados.

Além desses mencionados, outros fatores podem afetar o resultado do ensaio, a ABNT NBR 7584 (2012) cita alguns: superfícies úmidas, tipo de cimento, tipo de agregado, tipo de superfície, idade do concreto, operador, massa específica do concreto, esbeltez do elemento estrutural, proximidade entre a área de ensaio e uma falha no concreto, estado de tensão do concreto, temperatura do esclerômetro e do concreto, dosagem do concreto, tipo de cura, superfícies calcinadas por altas temperaturas, dentre outros.

Para Cardoso (2022), o esclerômetro se apresenta vantajoso para a avaliação da uniformidade do concreto e para a delimitação de regiões de uma estrutura que esteja deteriorada ou o concreto seja de má qualidade. Entretanto, o esclerômetro só deve ser utilizado como ferramenta para estimar a resistência do concreto quando existir uma curva de calibração apropriada, a qual tenha sido obtida a partir de testemunhos extraídos da própria estrutura (Andrade *et al.*, 2023).

2.3.2 Termografia Infravermelha

A termografia infravermelha é uma técnica não destrutiva capaz de detectar defeitos internos no concreto através da análise da temperatura da superfície, incluindo produtos de corrosão, bem como destacamentos e vazios (Hiasa *et al.*, 2017).

Essa técnica não permite o contato direto com a estrutura e é capaz de analisar áreas maiores, o que permite inspeções mais eficazes. Além disso, seu uso inclui diferentes aplicações na engenharia civil, sendo cada vez mais uma ferramenta consolidada na área das inspeções (Barreira *et al.*, 2016; Watase *et al.*, 2015; Washer, 2012).

Para a identificação de estruturas e manifestações patológicas de uma edificação, pode-se utilizar o mecanismo de radiação empregando a termografia digital (sem contato) ou de condução, por meio de termopares (com contato) (Lopes *et al.*, 2019).

Segundo Brique (2016), a identificação da patologia após sua manifestação visual restringe as alternativas de correção e de minimização do problema, as vezes comprometendo a durabilidade da estrutura. Algumas patologias como a corrosão são bastante discretas até o momento da sua manifestação visual, logo, a necessidade de um método de pesquisa mais ágil

e eficaz é imprescindível, a fim de garantir a identificação da patologia antes dela tornar-se extremamente danosa à estrutura.

O processo de transferência de calor ocorre por mecanismos de radiação, condução e convecção. Embora a radiação seja medida pela câmera infravermelha, a condutividade térmica dentro do concreto e a convecção do concreto com o ar podem influenciar esta medição (Rocha *et al.*, 2017). A radiação que alcança uma superfície é transmitida, refletida e absorvida, dependendo das características do objeto (Rocha *et al.*, 2017).

O funcionamento das câmeras infravermelhas se dá a partir da medição da radiação emitida pela superfície de um objeto, e posterior conversão em sinais elétricos, que são processados numa imagem térmica, conhecida como termograma (Rocha *et al.*, 2017).

Conforme Lorenzi *et al.* (2016), uma área com defeito, por possuir uma condutividade térmica diferente do material íntegro, apresenta-se no termograma, isto é, na imagem de calor gerada, como uma área com manchas quentes ou resfriadas, a depender do período do dia em que seja realizado o ensaio. Desta maneira, devido às imagens térmicas se apresentarem em uma escala em que cada cor corresponde a uma gama de temperaturas, é possível a identificação das zonas com variação de temperatura de maneira extremamente objetiva (Garcia, 2014).

A termografia pode ser classificada em quantitativa ou qualitativa. A quantitativa é aplicada quando a temperatura é fundamental para análise da situação, e a qualitativa é aplicável quando o principal parâmetro a ser analisado é a “morfologia da distribuição térmica”, que apresenta maior relevância para construção civil (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2021; Rocha; Tavares, 2017).

3 METODOLOGIA

Conforme Del-Masso *et al.* (2014), a pesquisa qualitativa envolve a exploração aprofundada para compreender e interpretar o contexto do objeto de estudo através da análise detalhada de seu conteúdo.

Assim, sob caráter qualitativo, esse estudo aborda o assunto tanto em âmbito teórico quanto prático. A princípio, realizou-se um embasamento conceitual a partir de um levantamento científico bibliográfico (monografias, artigos, periódicos, normas técnicas, etc.). Posteriormente, com o intuito de melhor compreender o propósito apresentado na introdução, efetuou-se uma inspeção de campo com abordagem qualitativa descritiva no Viaduto do Café em São Luís - MA, definido como campo de estudo devido a sua importância significativa para o modal rodoviário da cidade e suas condições precárias aparentes. A vistoria *in loco* foi dividida

em duas etapas: inicialmente de caráter observacional com registro fotográfico; em seguida, efetivou-se a realização de ensaios experimentais de esclerometria e termografia infravermelha com o objetivo de identificar a resistência estimada do concreto e manifestações patológicas comumente apresentadas em estruturas dessa natureza. Além do mais, a partir dos resultados dos ensaios, realizou-se uma classificação de acordo com o estado de conservação e uma análise de como a falta de manutenção regular impacta na degradação precoce dessas estruturas de concreto armado. Na figura 3, apresenta-se um fluxograma das etapas descritas acima.



Fonte: Autores (2024).

4 ESTUDO DE CASO

4.1 Caracterização do campo de estudo

O Viaduto do Café é uma obra de arte especial localizada no bairro Outeiro da Cruz, situado sobre a Av. dos Franceses e compoendo a Av. João Pessoa, construído na época do governo de Epitácio Cafeteira (1987 – 1990). Tornou-se uma importante via de ligação para importantes bairros, como Sacavém, Anil, Filipinho e Santo Antônio. Na Figura 4, pode-se observar o funcionamento do tráfego sob o viaduto.

Figura 4: Tráfego sob viaduto do café



Fonte: Autores (2024)

Possuindo uma extensão de aproximadamente 60 metros, o viaduto foi executado pelo método construtivo de Concreto Armado. Além disso, seu sistema é formado por tabuleiros, vigamentos longitudinais de metal, seis colunas com formato retangular, dispositivos de suporte, juntas de expansão, dois aterros, revestimento de asfalto, além de sistema de segurança. Sua estrutura detém duas vias em sentidos opostos ligadas à quatro anéis de contorno, tornando-se uma importante opção de mobilidade e fluidez para o trânsito da região, conforme demonstrado na figura 5.

Figura 5: Vista aérea do Viaduto do Café.



Fonte: Google Earth Pro (2024).

4.2 Ensaios realizados in loco

Após uma análise visual da estrutura, sucedeu-se a execução de dois ensaios não destrutivos que, como mencionado anteriormente, consistem em técnicas de inspeção de materiais pouco invasivas de modo a não causar nenhuma alteração das propriedades características do elemento analisado. Os ensaios de esclerometria e de câmera termográfica infravermelha foram os experimentos definidos para verificação dos elementos estruturais do viaduto.

4.2.1 Ensaio esclerométrico

A princípio, foram determinadas as estruturas onde seriam executados os testes, sendo escolhidos quatro pilares e uma laje, ou seja, cinco ensaios no total, com o intuito de verificar a resistência superficial do concreto. Para isso, antes de tudo, utilizou-se uma pedra abrasiva,

representada na figura 6, com o objetivo de tornar a superfície dos pilares mais lisa, evitando que impurezas ou irregularidades causem alterações nos resultados obtidos.

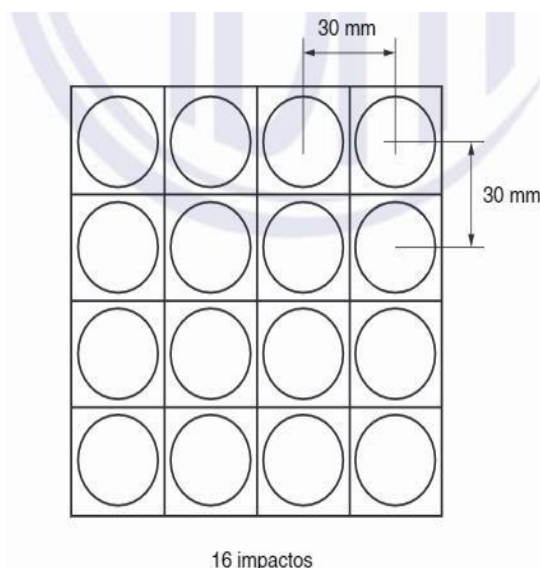
Figura 6: Uso de pedra abrasiva para suavizar superfícies.



Fonte: Autores (2024).

Uma vez limpa, foram efetuadas marcações nos elementos estruturais, formando uma área com aporte para 16 impactos, estes que foram uniformemente distribuídos respeitando uma distância mínima de 30 mm de acordo com a norma ABNT NBR 7584:2012, como demonstrada nas figuras 7a e 7b.

Figuras 7a e 7b: Áreas de ensaio normativa e demarcada, respectivamente.



Fonte: ABNT NBR 7584 (2012).



Fonte: Autores (2024).

Posteriormente a todos estes procedimentos preparatórios executados, deu-se início ao ensaio com o esclerômetro de reflexão (representado nas figuras 8a e 8b), evitando impactos sobre armaduras, bolhas e áreas similares que não representem o concreto em avaliação, segundo o que rege a norma ABNT NBR 7584:2012.

Figura 8a e 8b: Esclerômetro usado no teste e processo de ensaio em execução, respectivamente.



Fonte: Autores (2024).

4.2.2 Ensaio termográfico

De caráter complementar, com o intuito de elevar o nível de exatidão das análises realizadas nas peças estruturais do viaduto, também foi realizado um teste de termografia infravermelha, visando adquirir conhecimento e elucidações sobre a temperatura superficial dos elementos abordados com o auxílio de uma câmera termográfica da marca Flir, caracterizada na imagem 9.

Figura 9: Câmera termográfica utilizada no ensaio.



Fonte: Autores (2024).

Neste tipo de ensaio, o método utilizado no campo de estudo desta pesquisa, deu-se de caráter qualitativo, no qual enfatiza-se prioritariamente o perfil ao invés dos valores térmicos apresentados. Nesse sentido, o propósito é investigar a presença de possíveis anomalias e sua localização. Na análise qualitativa, em determinadas situações, não é necessária a determinação precisa da temperatura, ou seja, os dados de temperatura coletados são considerados apenas como referências aparentes, facilitando uma interpretação mais ágil. Essa característica torna a termografia infravermelha uma técnica capaz de emitir laudos instantâneos (Juliani *et al.*, 2020).

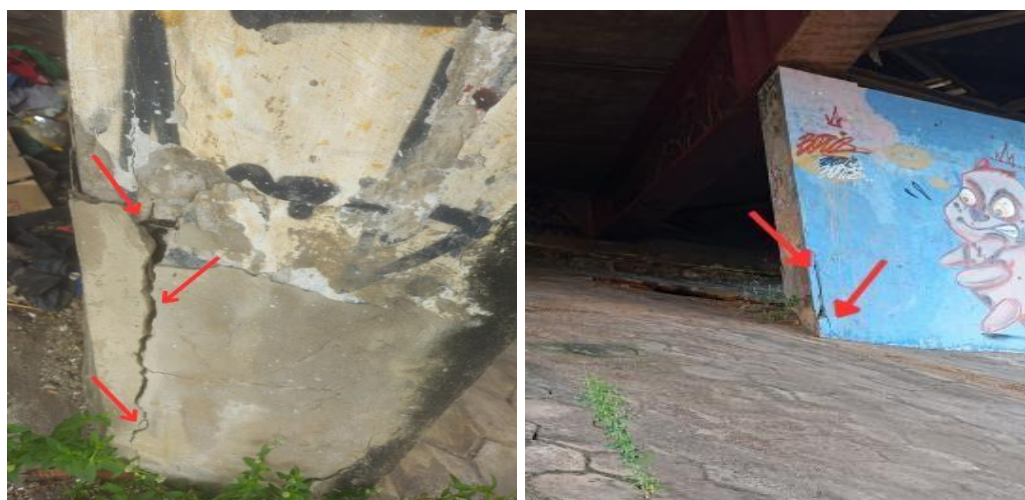
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Manifestações patológicas identificadas

No dia da inspeção, 17 de Fevereiro de 2024, observou-se uma série de manifestações patológicas, tais como, fissuras, trincas, rachaduras, corrosão, desprendimento do substrato (concreto), eflorescência, mal compactação do solo, este último, gera como consequência falhas de assentamento e desprendimento dos paralelepípedos hexagonais nos dois encontros do viaduto, podendo ser causados principalmente por falta de manutenção e falhas durante a própria execução da estrutura.

As fissuras, trincas e rachaduras foram encontradas na parte da mesoestrutura (pilares), sendo sinais possivelmente de sobrecarga, má qualidade do concreto ou a mais plausível para este caso que seria a oxidação das armaduras, assunto abordado sucintamente abaixo, tornando o viaduto ainda mais vulnerável no que diz respeito à sua integridade estrutural. Nas Figuras 10a e 10b, observa-se claramente o surgimento de rachaduras em alguns pilares do viaduto.

Figuras 10a e 10b: Surgimento de rachaduras nos pilares de sustentação.



Fonte: Autores (2024).

Foi detectado também a corrosão, processo natural no qual o metal é deteriorado por meio de reações entre ele e agentes naturais, principalmente o oxigênio do ar. No caso analisado, o processo de corrosão dividiu-se em duas fases, iniciação e propagação. A fase de iniciação, dar-se pelo processo de difusão de (CO_2), onde o gás carbônico penetra na matriz porosa do concreto reagindo com os hidróxidos de cálcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$ presente na pasta de cimento, levando a formação do carbonato de cálcio $\text{Ca}(\text{CO}_3)$, conforme descrito por Kōliō *et al.*, (2017).

No viaduto, essa manifestação deu-se principalmente nas vigas longarinas (Figuras 11a e 11b), deixando ainda mais em situação emergencial a sua manutenção, visto que é uma estrutura que compõe a sustentação do viaduto, pois os tabuleiros ficam apoiados sobre elas.

Figuras 11a e 11b: Processo de corrosão nas vigas longarinas do viaduto.



Fonte: Autores (2024).

Além do mais, através de inspeção visual, percebeu-se facilmente a ocorrência de eflorescência em grande parte da estrutura, que conforme Ribeiro (2018), consistem em depósitos salinos que se formam na superfície de revestimentos, alvenarias, concretos e argamassas devido à exposição à umidade, seja por infiltrações ou pela ação de intempéries. Em certas situações, este fenômeno patológico pode ser agressivo e causar degradação significativa das estruturas. Esse quadro também pode modificar drasticamente a aparência, gerando um contraste evidente entre a cor dos sais e a do substrato onde se acumulam, como pode ser observado na Figura 12.

Figura 12: Ocorrência de eflorescência na laje do viaduto.



Fonte: Autores (2024).

É importante relatar a má compactação do solo, que foi encontrada durante a vistoria, causando desprendimento dos paralelepípedos hexagonais e uma crescente erosão do solo, como pode-se observar nas Figuras 13a e 13b. Possíveis causas para este problema podem ser a própria falha de execução ou o tipo de material utilizado no aterro ser inadequado. Além do mais, atos de vandalismo do próprio ser humano também podem ser considerados como um dos fatores principais para a ausência dos paralelepípedos.

Figuras 13a e 13b: Solo do encontro mal compactado apresentando desprendimento dos paralelepípedos hexagonais.



Fonte: Autores (2024).

5.2 Ensaio de Esclerometria

Para obter os valores definitivos deste experimento, mostrou-se necessário a realização de alguns cálculos conforme estabelecido pela norma ABNT NBR 7584:2012. Destaca-se que a metodologia explicada a seguir configura-se de forma individualizada para cada elemento explorado, ou seja, este mesmo procedimento foi executado cinco vezes.

A princípio, soma-se todos os 16 valores do índice esclerométrico obtidos da forma indicada no tópico anterior, para que em seguida possa ser tirada a média aritmética. Deve-se descartar todos valores que excedem para mais ou para menos os 10% da média que foi tirada, com o objetivo de diminuir a margem de erro dos resultados finais. Em seguida, foi calculado uma nova média com a exclusão desses valores que excederam, chamada de índice esclerométrico médio.

Por conseguinte, realiza-se o cálculo para obter o valor do índice esclerométrico efetivo. Ele se dá pela multiplicação entre o índice esclerométrico médio e o coeficiente de correção (dado no próprio esclerômetro), que se configura no valor de 0,996. A partir da Tabela 2, pode-se observar os respectivos valores obtidos em cada ensaio realizado.

Tabela 2: Resultados dos índices esclerométricos dos elementos analisados

Local de Ensaio		Viaduto do Café				
Janela de ensaio		1	2	3	4	5
Peça ensaiada		Pilar	Pilar	Laje	Pilar	Pilar
Posição do esclerômetro		Horizontal	Horizontal	Vertical	Horizontal	Horizontal
Índice esclerométrico individual	1	32	42	53	36	39
	2	40	41	51	33	39
	3	35	35	52	30	33
	4	47	35	52	30	36
	5	33	39	54	32	40
	6	36	38	52	32	40
	7	38	37	60	27	36
	8	34	38	52	31	39
	9	30	41	54	32	36
	10	32	40	48	30	42
	11	40	42	52	29	41
	12	35	39	50	29	40
	13	33	40	52	34	44
	14	36	44	52	30	37
	15	43	38	48	29	40
	16	44	41	57	32	39
Soma		588	630	839	496	621
Média aritmética		36,75	39,38	52,44	31,00	38,81
+10%		40,43	43,31	57,68	34,10	42,69
-10%		33,08	35,44	47,19	27,90	34,93
Índice esclerométrico médio		36,75	39,69	51,93	30,93	38,86
Índice esclerométrico efetivo		36,60	39,53	51,73	30,80	38,70

Fonte: Autores (2024).

Antes de analisarmos os resultados dos índices esclerométricos efetivos obtidos, é essencial que seja abordado alguns requisitos normativos, primeiramente quanto à classificação de agressividade ambiental cujo a construção está inserida, ou seja, refere-se às ações físicas e químicas que operam sobre as peças estruturais, esta condição conduzida pela norma ABNT NBR 6118:2023, dispõem ao estudo de caso em questão uma classe de grau II, ou seja, moderada com pequeno risco de degradação da estrutura, conforme a Figura 14.

Figura 14: Classificação de gravidade ambiental.

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fracas	Rural	Insignificante
		Submerso	
II	Moderada	Urbano ^{a, b}	Pequeno
III	Forte	Marinho ^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 (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, elementos em contato com solo contaminado ou água subterrânea contaminada.

Fonte: ABNT NBR 6118 (2023)

Além disso, também conforme a norma supracitada, deve-se verificar se a estrutura está em conformidade com os requisitos mínimos exigidos, no que diz respeito à resistência à compressão do concreto e sua durabilidade. No presente estudo, como os elementos estruturais examinados são pertencentes a uma classificação de agressividade de grau II, tem-se como mínimo um f_{ck} de 25 MPa, assinalado na figura 15. É imprescindível enfatizar que os resultados podem apresentar uma certa imprecisão, devido à ausência do projeto estrutural do viaduto, no qual torna-se inviável o conhecimento sobre os parâmetros mínimos que foram previstos pelo projetista, logo é conveniente aos autores deste trabalho, seguir como orientação, os valores impostos pela norma responsável por orientar esse tipo de construção.

Figura 15: 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	$\leq 0,65$	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,45$
	CP	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,50$	$\leq 0,45$
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	$\geq C20$	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C40$
	CP	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C35$	$\geq C40$

^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.

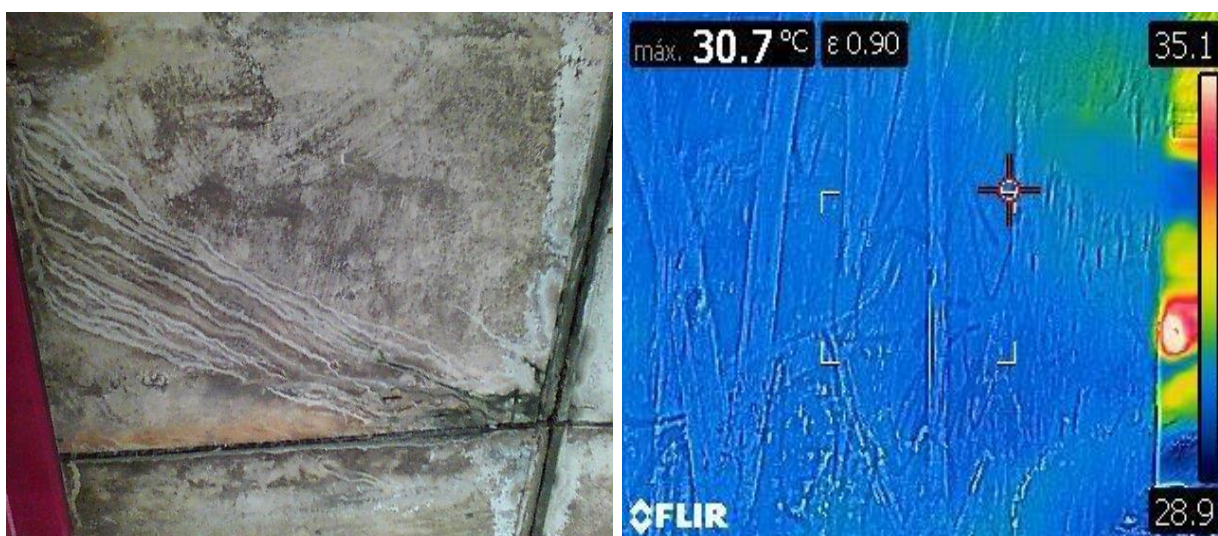
Fonte: ABNT NBR 6118 (2023)

Somente após ao término de averiguação destes parâmetros, foi possível analisar tecnicamente os valores obtidos anteriormente na Tabela 1, portanto, ao investigar os valores dos índices esclerométricos efetivos constatou-se que apesar da infraestrutura do viaduto apresentar condições alarmantes, os resultados mostraram-se satisfatórios nos elementos construtivos explorados, na qual os componentes P1; P2; Laje; P4 e P5 apresentaram números de resistência à compressão do concreto de 36,60 MPa; 39,53 MPa; 51,73 MPa; 30,80 MPa e 38,70 MPa respectivamente, todos superiores ao parâmetro mínimo de 25 MPa exigido pela norma ABNT NBR 6118:2023.

5.3 Ensaio de Termografia Infravermelha

Neste ensaio, a partir da análise termográfica, observou-se algumas anomalias na condição da estrutura, como por exemplo, os tabuleiros do viaduto, que apresentaram um excesso considerável de umidade, caracterizando uma região mais fria, demonstrado na Figura 16b, com a coloração azul. Essa situação indica a significativa gravidade estrutural do mesmo, pois acarreta na sua perda de resistência inicial, além de proporcionar o surgimento de patologias, como especificamente nesse caso, a eflorescência, citada anteriormente. Pode-se observar na Figura 16a esses acometimentos.

Figuras 16a e 16b: Ensaio termográfico no tabuleiro do viaduto que apresenta eflorescência evidenciando região fria.



Fonte: Autores (2024).

Este caso requer um acompanhamento mais rigoroso, pois a patologia resulta de fissuras que surgem frequentemente no asfalto devido à intensa movimentação de veículos e à exposição às intempéries. É crucial corrigir essas fissuras rapidamente para evitar o acúmulo excessivo de água na estrutura. Após reparar a origem do problema, procede-se à remoção mecânica das eflorescências, que envolve sua eliminação da superfície porosa com o uso de escovas. Este é um método simples de executar e tem como principal vantagem a não reabsorção dos sais pelo material poroso.

Além disso, impermeabilizar a região que se encontra o tabuleiro é, nesse caso, fundamental, pois ao evitar a passagem de água ou umidade, quebra-se desde o início todo o processo de formação da patologia, o que inibe o surgimento da lixiviação (acúmulo de hidróxido de cálcio na superfície) que ajudará na manifestação da própria eflorescência.

Nesta mesma análise, foi feita uma inspeção termográfica em um pilar com a armadura consideravelmente exposta, o que pode ser causada por cobrimento insuficiente, falhas de concretagem, materiais inadequados ou a falta de uma impermeabilização adequada da fundação desse elemento, a mais provável para este caso, ocasionando a redução de pH do concreto (carbonatação), deixando esta armadura suscetível ao processo de corrosão. A termografia demonstrou pontos de medição de temperatura intermediária em tons amarelos e verdes (Figura 17b), deixando evidente, que a área ensaiada estava sob condição para surgimento de patologias, como nesse caso, a oxidação das ferragens (Figura 17a), situação que já estava em ocorrência.

Figuras 17a e 17b: Análise termográfica em área de pilar com armadura exposta em processo de oxidação.



Fonte: Autores (2024).

Uma forma de tratamento para combater essa patologia, conforme Pellicer et al. (2016), quanto a recuperação das armaduras, deve-se primeiramente retirar a camada de cobertura onde o concreto está em mau estado, posteriormente, por jateamento de areia ou água as superfícies da mesma são completamente limpas, sem vestígios de resíduos de concretos ou manchas de corrosão (etapa 1). Ainda nessa fase de recuperação, destinado a passivação das armaduras, é aplicado uma ou duas camadas de revestimento anticorrosivos a base de resinas de epóxi, de acordo com a necessidade, sendo que a segunda, caso precise, deve ser aplicada a partir do momento que a primeira estiver completamente seca (etapa 2). Por conseguinte (etapa 3), é executada a camada de regeneração do concreto utilizando argamassas a base de sílica ativa, cimento e reforçadas com fibras permitindo um acabamento liso. E por fim, é executado uma camada protetora de tinta contra carbonatação (etapa 4).

6 CONCLUSÃO

O presente estudo pretendeu estimular a atenção dos órgãos competentes em relação às condições alarmantes na qual se encontra o Viaduto do Café, a partir de uma inspeção técnica realizada in loco. De modo a atingir a compreensão da situação negligenciada, foram definidos três objetivos específicos: Primeiramente, ao realizar registros fotográficos do local, verificou-se diversas patologias presentes na estrutura; Depois, com as manifestações patológicas identificadas, demonstrou-se suas possíveis causas; por conseguinte, ao executar ensaios de esclerometria e termografia infravermelha, permitiu-se apresentar uma investigação técnica

mais minuciosa dos elementos estruturais do viaduto, através de dados obtidos referentes à resistência à compressão superficial do concreto e a temperatura do mesmo, respectivamente.

Com isso, torna-se imprescindível as realizações de manutenções e reparos em vários pontos da estrutura. Fato é, que por estar sempre sob condições de fluxo de tráfego intenso e exposto às ações da natureza, a tendência é o agravamento dessas patologias. Ressalta-se ainda, que os problemas presentes no objeto de estudo deste trabalho, são comuns de se encontrarem em Obras de Arte Especiais (OAE's) com baixo índice de manutenções, além do fato de serem inerentes a fatores internos e externos, isso faz com que as construções nesse estado estejam em um estágio constante de deterioração, comprometendo a sua vida útil e a segurança dos usuários que a utilizam diariamente.

Por último, reconhecem-se as limitações desta pesquisa, a partir de reflexões sobre questões metodológicas, sobretudo no que se refere ao processo burocrático para se ter acesso aos projetos estruturais do Viaduto do Café, impossibilitando análises com maior exatidão. Dessa forma, são sugeridas pesquisas futuras voltadas à inserção de tecnologias, com o intuito de buscar melhorias em planejar um acompanhamento eficaz em obras desse porte na cidade de São Luís, propiciando agilidade nos serviços de manutenção.

REFERÊNCIAS

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 7584: Concreto Endurecido - Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão - Método de Ensaio**. Rio de Janeiro, 2012.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 15575-1: Edificações habitacionais – Desempenho Parte 1: Requisitos gerais**. Rio de Janeiro, 2024.

ALMEIDA, Fernando do Couto R; SALES, Almir. Ação do meio ambiente sobre as estruturas de concreto: efeitos e considerações para projeto. In: RIBEIRO, Daniel Vêras (coord.). Corrosão e degradação em estruturas de concreto. **Teoria, controle e técnicas de análise e intervenção**. 2 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2018, p. 97-123.

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, pp. 16-28. Outubro de 2019.

ANDRADE, Matheus Sant’Anna, *et al.* Aplicabilidade de ensaios não-destrutivos para obtenção de dados de projeto e avaliação da condição estrutural de pontes de concreto armado *in*: XIV Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas, 2023, Viçosa.

ARAÚJO, Ciro José Ribeiro Villela. Principais aspectos abordados na ABNT NBR 9452: 2016, a importância das atividades de manutenção em pontes e viadutos e as dificuldades das condições de acesso às inspeções. **IPT, São Paulo**, v. 1, n. 5, p. 17-40, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7584: Concreto endurecido — Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão — Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9452: Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto**. Rio de Janeiro: ABNT, 2023. 48p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16969: ensaios não destrutivos: termografia infravermelha: princípios gerais**. Rio de Janeiro: ABNT, 2021. 20 p.

BORGES, Paulo Eduardo Varanda; DE MATOS PEDREIRO, Marcelo Rodrigo. Análise Das Principais Patologias Recorrentes Em Estruturas De Concreto Armado Devido À Ação Da Umidade. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 9, n. 10, p. 6007-6028, 2023.

BARREIRA, E.; ALMEIDA, R.; DELGADO, J. Infrared Thermography For Assessing Moisture Related Phenomena in Building Components. *Construction and Building Materials*, v. 101, p.251-269, 2016.

BOTELHO, Manoel Henrique Campo; MARCHETTI, Osvaldemar. **Concreto armado-Eu te amo**. Editora Blucher, 2018.

BRIQUE, S. K. Emprego da termografia infravermelha no diagnóstico de falhas de aderência de peças cerâmicas utilizadas em fachadas de edifícios (Dissertação de Mestrado, Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina). 2016.

CARDOSO, Marco Antônio Nakata. Metodologia de avaliação da segurança estrutural de pontes de concreto armado. 2022.

CARVALHO, Aldo Ribeiro de. Obras de arte especiais: durabilidade e vida útil no contexto normativo. (Trabalho de conclusão de curso, Engenharia Civil, Universidade Federal De Juiz De Fora, Juiz de Fora), 2021.

DEL-MASSO, Maria Candida Soares; COTTA, Maria Amélia de Castro; SANTOS, Marisa Aparecida Pereira. Ética em pesquisa científica: conceitos e finalidades. **São Paulo: UNESP**, 2014.

GARCIA, João Ricardo Rodrigues. Potencialidades da termografia para o diagnóstico de patologias em edifícios. 2014. 159 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2014.

HIASA, Shuhei; BIRGUL, Recep; CATBAS, F. Necati. A data processing methodology for infrared thermography images of concrete bridges. **Computers & Structures**, v. 190, p. 205-218, 2017.

JULIANI, Bárbara Boger Tolentino *et al.* Avaliação da utilização e viabilidade da termografia infravermelha em inspeções de revestimentos e estruturas na construção civil. 2020.

LOPES, M. H; Perez, S. B. S & Brito, J. N. (2019). Inspeção termográfica no antigo prédio DCTEF-USFJ. In: IX COEN – **Congresso de Engenharias da UFSJ – Interconexão**. Minas Gerais.

LORENZI, Alexandre, et al. Inspeção de obras através da aplicação de ensaios não destrutivos. In: **XV Congreso Latino-Americano De Patología De Construcción- Xvii Congreso De Control De Calidad En La Construcción**. 2019.

MASCARENHAS, Fernando Júnior Resende, *et al.* Patologias e inspeção de pontes em concreto armado: **Estudo de caso da ponte Governador Magalhães Pinto**. *Engevista*, 2019, 21.2: 288-302.

MORAES, Raissa de Araujo; SOUZA, Verena Nery de; DOURADO, Sibelle Dantas Neri. Análise das manifestações patológicas em estrutura de concreto armado: estudo de caso de três viadutos em Salvador-BA. 2023.

NASCIMENTO, Letícia Maria de Oliveira *et al.* Análise de manifestações patológicas em estruturas de concreto armado: corrosão das armaduras. 2021.

OLIVEIRA, MG de et al. Ocorrência de lixiviação no concreto das galerias da UHE de TucuríPará. **Brazilian Journal od Development**, v. 8, n. 4, 2022.

OLIVEIRA, Gustavo Martins Valamiel *et al.* Análise de fissuras em alvenaria de colocação– Estudo de caso: UEMG–Unidade de João Monlevade. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, v. 8, n. 12, pág. e368121617-e368121617, 2019.

PAIVA, Mayanne Vieira de; FREITAS, Marcus Vinícius Pereira; SOARES, Carlos Eduardo. Uma revisão bibliográfica dos fatores de influência no ensaio esclerométrico. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, v. 7, n. 1, p. 12100-01-09, 2021.

PELLICER, Teresa M.; CALDERÓN GARCÍA, Pedro Antonio; ORTEGA, A. Irene. Reparación de pilares de hormigón armado: proyecto y ejecución. **Construction pathology, rehabilitation technology and heritage management: REHABEND 2016**, p. 2298-2305, 2016.

PINHEIRO, Guilherme Delgado de Castro. Mapeamento das manifestações patológicas da ponte General Osório localizada em Manoel Viana/RS. 2022.

RIBEIRO, IJ da C. *et al.* Implantação de métodos de tratamento para combater as eflorescências. Revista Principia-Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB, v. 38, p. 4353, 2018.

ROCHA, Joaquin Humberto Aquino *et al.* Análise da Profundidade de Fissuras em Concreto com Termografia Infravermelha. **Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada**, v. 2, n. 3, 2017.

RODRIGUES, Arthur Azevedo; SANTOS, Maiky Morgan Almeida dos. Revisão sistemática das manifestações patológicas causadas por infiltração e umidade. 2023.

SANTOS, Caio Henrique Saraiva dos. Avaliação de obras de arte especiais pela metodologia do grau de deterioração estrutural desenvolvida pela Universidade de Brasília. 2021.

SILVA, Clayton José Gomes. Uso do método dos fatores e da análise de sobrevivência na estimativa de vida útil da superestrutura de pontes e viadutos rodoviários. 2022.

SOUZA, J. D., *et al.* Obtenção da resistência à compressão do concreto de viadutos localizados na região de Curitiba por métodos de ensaios não destrutíveis: esclerometria e ultrassom. **44ª Reunião Anual de Pavimentação e 18º Encontro Nacional de Conservação Rodoviária**, 2015.

VOLLAND, B.; FARSI, M.; LASVAUX, S.; PADEY, P. Service life of building elements: an empirical investigation. IRENE Working Paper, 2020. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10419/213486>. Acesso em: 10 jun. 2024.

WATASE, Azusa *et al.* Practical identification of favorable time windows for infrared thermography for concrete bridge evaluation. **Construction and Building Materials**, v. 101, p. 1016-1030, 2015.

Winkel, R. L. (2019). Análise das manifestações patológicas em pontes na cidade de Teutônia/RS. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) –Universidade do Vale do Taquari -Univates. Disponível em: < <http://hdl.handle.net/10737/2760>.>. Acesso em: 05 mai. 2024.

WEIMER, Bianca F.; THOMAS, Maurício; DRESCH, Fernanda. Patologia das estruturas. Grupo A, 2018. E-book. ISBN 9788595023970. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595023970/>>. Acesso em: 07 abr. 2024.