

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS**

CAMPUS PALMAS

CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA CIVIL

BRUNO MOTA SOARES

**MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS, DETERIORAÇÃO E INTERVENÇÃO EM
PONTES SOBRE OS CÓRREGOS BREJO COMPRIDO E SUSSUAPARA EM
PALMAS – TO**

PALMAS

2021

BRUNO MOTA SOARES

**MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS, DETERIORAÇÃO E INTERVENÇÃO EM
PONTES SOBRE OS CÓRREGOS BREJO COMPRIDO E SUSSUAPARA EM
PALMAS – TO**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado como requisito parcial
para obtenção do título de Bacharel no
Curso Superior de Engenharia Civil do
Instituto Federal de Educação, Ciência
e Tecnologia do Tocantins, Campus
Palmas.

Orientador: Prof. Dr. Moacyr Salles
Neto

**PALMAS
2021**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins

S676m Soares, Bruno Mota

Manifestações patológicas, deterioração e intervenção em pontes sobre os córregos Brejo Comprido e Sussuapara em Palmas – TO / Bruno Mota Soares. – Palmas, TO, 2021.
137 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Campus Palmas, Palmas, TO, 2021.

Orientador: Dr. Moacyr Salles Neto

1. Deterioração. 2. Manifestações Patológicas. 3. Pontes. I. Salles Neto, Moacyr. II. Título.

CDD 624

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

BRUNO MOTA SOARES

**MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS, DETERIORAÇÃO E INTERVENÇÃO EM
PONTES SOBRE OS CÓRREGOS BREJO COMPRIDO E SUSSUAPARA EM
PALMAS – TO**

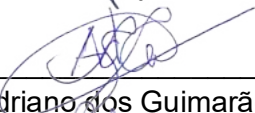
Trabalho de conclusão de curso
apresentado como requisito parcial
para obtenção do título de Bacharel no
Curso Superior de Engenharia Civil do
Instituto Federal de Educação, Ciência
e Tecnologia do Tocantins, Campus
Palmas.

Aprovado em: 24 / 06 / 2021

BANCA AVALIADORA



Prof. Dr. Moacyr Salles Neto



Prof. Dr. Adriano dos Guimarães Carvalho



Prof. Me. Caroline Rezende Couto Luz

À minha esposa, Lara Letícia, com que
tenho vivido os melhores anos da
minha vida, à minha mãe, meu pai e
meus irmãos.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por ter me concedido força e sabedoria para a realização de todas as etapas deste trabalho.

À minha esposa, Lara Letícia, por sempre me motivar a seguir em frente por meio de sua sabedoria.

À minha mãe, Ana, por sempre me apoiar em meus projetos e acreditar que sou capaz de realizá-los.

Ao meu irmão, Robert Júnior, por sempre se mostrar disposto a me ajudar com aquilo que for necessário para a realização dos meus projetos.

Ao meu pai, Robert, por sempre se mostrar interessado em meus projetos e ambições.

A todos os meus familiares, por sempre torcerem por mim.

A todos os meus colegas de curso com quem passei horas estudando, realizando trabalhos, fazendo visitas técnicas e acumulando experiências para o mercado de trabalho.

A todos os professores do curso de engenharia civil do IFTO por me mostrarem a importância de cavar mais fundo e fugir da mediocridade.

A todos aqueles que se fizeram presente de alguma forma durante a realização deste trabalho.

“Não a nós, Senhor, não a nós, mas ao teu nome dá glória, por amor da tua
misericórdia e da tua fidelidade”

Salmo 115:1

RESUMO

SOARES, Bruno Mota. **Manifestações patológicas, deterioração e intervenção em pontes sobre os córregos Brejo Comprido e Sussuapara em Palmas – TO.** 2021. 137f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Civil. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins. Palmas, 2021.

As pontes são consideradas obras de artes especiais e fazem parte do dia-a-dia da população de vários municípios do Brasil. Muitas pontes são construídas em concreto armado devido à facilidade de encontrar os materiais necessários em abundância em várias regiões do país, inclusive no município de Palmas. Contudo, outra realidade comum é a negligência na observação das manutenções necessárias às pontes, pois estas, com o passar do tempo, acabam sofrendo desgaste e ficam sujeitas ao aparecimento de manifestações patológicas, sejam elas por meios internos ou externos. O presente trabalho tem por objetivo apontar boas práticas de intervenção para seis pontes de Palmas, sendo quatro delas sobre o córrego Sussuapara e duas sobre o córrego Brejo Comprido, por meio da identificação das manifestações patológicas e dos mecanismos de deterioração nelas presentes. A metodologia utilizada para tanto implica na realização de um estudo da sintomatologia de cada ponte, na apresentação do diagnóstico de cada situação, e, por fim, na determinação da conduta a ser adotada. Os estudos realizados são acompanhados de registros fotográficos obtidos por câmera de dispositivo móvel ou por veículo aéreo não tripulado (VANT), bem como ensaios de fissuometria, esclerometria e termografia infravermelha, com o objetivo de apresentar diagnósticos mais precisos para o reparo das pontes. No fim do trabalho, serão apresentadas boas práticas de intervenção com o intuito de prevenir uma interdição futura das pontes.

Palavras-chave: Manifestações patológicas. Deterioração. Pontes. Estrutura.

ABSTRACT

SOARES, Bruno Mota. **Pathological manifestations, deterioration and intervention on bridges over the streams Brejo Comprido and Sussuapara in Palmas – TO.** 2021. 137s. Program Conclusion Paper (Undergraduation) – Civil Engineering. Federal Institute of Education, Science and Technology of Tocantins. Palmas, 2021

Bridges are considered special works of art and are part of the day to day of the population of many Brazilian cities. Many bridges are built in reinforced concrete due to the ease of finding the needed materials in abundance in several regions of the country, including the city of Palmas. However, another common reality is the neglect in observing the bridges' needed maintenances, for they, as time goes by, end up wearing out and become prone to the appearance of pathological manifestations, whether by inner or outer means. The current paper aims to point out good intervention practices for six bridges in Palmas, four of them over the stream Sussuapara and two of them over the stream Brejo Comprido, through the identification of the pathological manifestations and the mechanisms of deterioration present in them. The methodology used for such implies in carrying out a study on the symptoms each bridge, in the presentation of the diagnostic of each situation, and, at last, in determining the stance to be adopted. The studies carried out are followed by photographic registers taken by camera from mobile devices or from unmanned aerial vehicles (UAVs), as well as fissure, sclerometry and infrared thermography tests, aiming to present more precise diagnostics in order to repair the bridges. In the end of the paper, good practices of intervention will be presented in order to prevent a future interdiction of the bridges.

Keywords: Pathological manifestations. Deterioração. Bridges. Structure.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ciclo de vida de uma construção	24
Figura 2 – Infraestrutura, mesoestrutura e superestrutura	28
Figura 3 – Encontro	29
Figura 4 – Placa de transição	29
Figura 5 – Dolphins	30
Figura 6 – Elementos constituintes das pontes quanto à seção transversal	31
Figura 7 – Elementos constituintes das pontes quanto à seção longitudinal	32
Figura 8 – Desempenho de uma construção ao longo do tempo	33
Figura 9 – Lei de Sitter	36
Figura 10 – Produto de reação e suas consequências	38
Figura 11 – Processo eletroquímico de corrosão por íons cloreto	39
Figura 12 – Processo de carbonatação e alteração do pH do concreto	40
Figura 13 – Raízes destroem calçada	42
Figura 14 – Bolor em revestimento	42
Figura 15 – Presença de limo em pilar	43
Figura 16 – Assentamento plástico causado por barra de aço	44
Figura 17 – Assentamento plástico por excesso de agregado graúdo	45
Figura 18 – Fissuras por retração por secagem	46
Figura 19 – Fissura por negligência de junta	48
Figura 20 – Desgaste superficial em pista de rolamento	48
Figura 21 – Deterioração o guarda-corpos causada por choque	49
Figura 22 - Fissurômetro	50
Figura 23 – Martelo de Schmidt (corte longitudinal)	51
Figura 24 – Termógrafo infravermelho	52

Figura 25 – Inspeção com termografia infravermelha	52
Figura 26 – Região das pontes em estudo.....	53
Figura 27 – Pontes sobre o córrego Brejo Comprido, próximas ao Capim Dourado Shopping, sentidos oeste-leste e leste-oeste	55
Figura 28 – Pontes sobre o córrego Sussuapara, entre as quadras 203 e 303 norte, sentidos sul-norte e norte-sul	56
Figura 29 – Pontes sobre o córrego Sussuapara, próximas aos Correios, sentidos norte-sul e sul-norte	57
Figura 30 – Organograma de inspeção	58
Figura 31 – Tabuleiro das pontes sobre a NS-03	62
Figura 32 – Desmoronamento da cabeceira norte	63
Figura 33 – Desmoronamento da cabeceira sul	63
Figura 34 – Deslocamento do material do aterro	64
Figura 35 – Armaduras expostas na região do tabuleiro sul-norte em 2018	64
Figura 36 – Armaduras expostas nas nervuras do tabuleiro em 2019	65
Figura 37 – Eflorescência na região das nervuras	65
Figura 38 – Armaduras de contenção expostas	66
Figura 39 – Armadura de pilar exposta	67
Figura 40 – Manchas na parede de contenção e na viga principal. Pista no sentido Norte-Sul	67
Figura 41 – Descalçamento da fundação	68
Figura 42 – Descalçamento da fundação da cabeceira sul	68
Figura 43 – Ponte da Avenida Teotônio Segurado, sobre o córrego Sussuapara em setembro de 2002	73
Figura 44 – Pontes da Avenida Teotônio Segurado, sobre o córrego Sussuapara em 2021	74

Figura 45 – Presença de vegetação em passeio, sentido norte-sul	75
Figura 46 – Ausência de calçamento em passeio, sentido norte-sul.....	76
Figura 47 – Guarda-corpo danificado, sentido sul-norte	77
Figura 48 – Degrau no tabuleiro, sentido sul-norte	78
Figura 49 – Pequeno degrau no tabuleiro, sentido norte-sul.....	78
Figura 50 – Esborcinamento, sentido sul-norte	79
Figura 51 – Armadura exposta na superfície inferior do tabuleiro, sentido sul-norte.....	79
Figura 52 – Formação de limo na superfície inferior do tabuleiro, sentido sul-norte	80
Figura 53 – Rompimento do concreto ao longo da seção longitudinal da armadura, sentido sul-norte	80
Figura 54 – Pilares da mesoestrutura, sentido sul-norte	81
Figura 55 – Parede de contenção norte, sentido sul-norte	82
Figura 56 – Viga de travamento norte, sentido norte-sul.....	82
Figura 57 – Longarina oeste, sentido norte-sul	83
Figura 58 – Descalçamento do bloco de coroamento, sentido sul-norte	84
Figura 59 – Descalçamento do bloco de coroamento do pilar direito, sentido sul-norte	84
Figura 60 – Fissuras na viga de travamento, sentido sul-norte	85
Figura 61 – Fissuras e limo na viga de travamento, sentido sul-norte	85
Figura 62 – Ensaio de fissuometria na pista de rolamento, cabeceira sul, sentido sul-norte, abertura superior a 3 mm	86
Figura 63 – Ensaio de fissuometria na junta de dilatação da pista de rolamento, sentido sul-norte, abertura superior a 3 mm	87
Figura 64 – Ensaio de fissuometria na pista de rolamento, cabeceira norte, sentido sul-norte, abertura superior a 3 mm	87
Figura 65 – Ensaio de fissuometria na pista de rolamento, cabeceira norte, sentido norte-sul, abertura de 1,6 mm	88

Figura 66 – Ensaio de esclerometria na pista de rolamento, cabeceira sul, sentido norte-sul, abertura de 2,3 mm	88
Figura 67 – Ensaio de esclerometria na parede de contenção sul, sentido sul-norte ...	89
Figura 68 – Resistência à compressão equivalente das áreas ensaiadas com esclerômetro nas pontes da Avenida Teotônio Segurado, sobre o córrego Sussuapara	94
Figura 69 – Pontes da Avenida JK, sobre o córrego Brejo Comprido em 2002	96
Figura 70 – Pontes da Avenida JK, sobre o córrego Brejo Comprido em 2021	96
Figura 71 – Região do passeio danificada, sentido oeste-leste	98
Figura 72 – Desgaste superficial na pista de rolamento, sentido leste-oeste	98
Figura 73 – Degrau na cabeceira leste da ponte, sentido oeste-leste	99
Figura 74 – Degrau na cabeceira oeste da ponte, sentido oeste-leste	99
Figura 75 – Formação de limo e eflorescência na superfície inferior do passeio, sentido leste-oeste	100
Figura 76 – Eflorescência na região inferior do tabuleiro, sentido leste-oeste	100
Figura 77 – Eflorescência perto do sistema de drenagem, sentido leste-oeste	101
Figura 78 – Armaduras expostas na longarina, sentido leste-oeste	101
Figura 79 – Vergalhão exposto na longarina, sentido leste-oeste	102
Figura 80 – Desgaste na região entre material de apoio e pilar direito, sentido leste-oeste	102
Figura 81 – Desgaste na região entre material de apoio e pilar esquerdo, sentido oeste-leste	103
Figura 82 – Fenda de 3,0 mm em degrau na cabeceira leste, sentido leste-oeste	104
Figura 83 – Fenda superior a 3,0 mm em degrau na cabeceira oeste, sentido leste-oeste	104
Figura 84 – Fenda de 2,0 mm em degrau na cabeceira oeste, sentido oeste-leste	105

Figura 85 – Fenda superior a 3,0 mm em degrau na cabeceira leste, sentido oeste-leste	105
Figura 86 – Temperatura de 31.7°C em superfície inferior do tabuleiro, sentido leste-oeste	106
Figura 87 – Temperatura de 27.6°C em superfície inferior do tabuleiro, região central, sentido leste-oeste	106
Figura 88 – Ensaio de esclerometria em viga de travamento dos pilares leste, sentido leste-oeste	107
Figura 89 – Resistência à compressão das áreas ensaiadas com esclerômetro nas pontes da Avenida JK, sobre o córrego Brejo Comprido	111

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Gastos com construção e manutenção em países desenvolvidos	22
Quadro 2 – Classes de Agressividade Ambiental	27
Quadro 3 – Classificação da ponte da Avenida JK, sobre o córrego Brejo Comprido, próxima ao Capim Dourado Shopping, sentido leste-oeste	54
Quadro 4 – Classificação da ponte da Avenida JK, sobre o córrego Brejo Comprido, próxima ao Capim Dourado Shopping, sentido oeste-leste	54
Quadro 5 – Classificação das pontes da Avenida NS-03, sobre o córrego Sussuapara, sentidos sul-norte e norte-sul	55
Quadro 6 – Classificação das Pontes da Avenida Teotônio Segurado, sobre o córrego Sussuapara, sentidos norte-sul e sul-norte	56
Quadro 7 – Índices esclerométricos e dureza superficial dos elementos analisados nas pontes da Avenida Teotônio Segurado, sobre a o córrego Sussuapara	90
Quadro 8 – Classificação das aberturas de acordo com o IBAPE-MG e IBAPE-SP	92
Quadro 9 – Índices esclerométricos e dureza superficial dos elementos analisados nas pontes da avenida Teotônio Segurado, sobre o córrego Brejo Comprido	108
Quadro 10 – Manifestações patológicas e graus de risco nas pontes estudadas	114

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	20
2. PROBLEMA DE PESQUISA.....	21
3. JUSTIFICATIVA	22
4. OBJETIVOS	23
4.1. Objetivos geral	23
4.2. Objetivos específicos	23
5. REVISÃO DA LITERATURA	24
5.1. Ciclo de vida das construções	24
5.2. Requisitos de qualidade.....	26
5.3. Elementos constituintes das pontes.....	27
5.4. Manutenção	32
5.4.1. Manutenção corretiva.....	33
5.4.2. Manutenção preventiva	34
5.4.3. Manutenção preditiva	34
5.4.4. Manutenção detectiva	35
5.4.5. Engenharia de manutenção	35
5.4.6. Lei de Sitter	36
5.5. Mecanismos de deterioração e envelhecimento.....	36
5.5.1. Mecanismos de deterioração e química.....	37
5.5.1.1. Corrosão por íons cloreto	38
5.5.1.2. Corrosão por carbonatação	39
5.5.2. Mecanismos de deterioração biológica	41
5.5.2.1. Biodeterioração física ou mecânica	41

5.5.2.2.	Biodeterioração estética	42
5.5.2.3.	Biodeterioração química assimilatória	42
5.5.2.4.	Biodeterioração química não-assimilatória	43
5.5.3.	Mecanismos de deterioração física	43
5.5.3.1.	Retração por assentamento plástico.....	44
5.5.3.2.	Retração por secagem.....	45
5.5.3.3.	Movimentação térmica do concreto	47
5.5.3.4.	Desgaste superficial.....	48
5.5.4.	Mecanismos de deterioração mecânica	49
5.6.	Ensaaios não destrutivos	49
5.6.1.	Fissurometria	50
5.6.2.	Esclerometria	51
5.6.3.	Termografia infravermelha	51
6.	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	53
6.1.	Apresentação da área de estudo.....	53
6.2.	Inspeção	57
6.2.1.	1ª Etapa: Sintomatologia	59
6.2.2.	2ª Etapa: Exames complementares	59
6.2.3.	3ª Etapa: Diagnóstico.....	59
6.2.4.	4ª Etapa: Intervenção.....	59
6.2.5.	5ª Etapa: Entrega de registros	60
7.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	60
7.1.	Problema patológico	60
7.2.	Pontes da Avenida NS-03, sobre o córrego Sussuapara	60
7.2.1.	Sintomatologia	61

7.2.1.1.	Superestrutura	61
7.2.1.2.	Mesoestrutura	66
7.2.1.3.	Infraestrutura.....	68
7.2.2.	Exames complementares	69
7.2.3.	Diagnóstico	69
7.2.3.1.	Descalçamento da fundação.....	69
7.2.3.2.	Deslocamento do maciço do aterro	69
7.2.3.3.	Erosão na pavimentação	70
7.2.3.4.	Rompimento do concreto	70
7.2.3.5.	Exposição das armaduras	70
7.2.3.6.	Manchas e eflorescências	71
7.2.4.	Intervenção	72
7.3.	Pontes da Avenida Teotônio Segurado, sobre o córrego Sussuapara	73
7.3.1.	Sintomatologia	74
7.3.1.1.	Superestrutura	75
7.3.1.2.	Mesoestrutura	81
7.3.1.3.	Infraestrutura.....	83
7.3.2.	Exames complementares	85
7.3.2.1.	Ensaio de fissurometria	86
7.3.2.2.	Ensaio de esclerometria	89
7.3.3.	Diagnóstico	90
7.3.3.1.	Fendas	91
7.3.3.2.	Armaduras expostas e rompimento do concreto.....	92
7.3.3.3.	Manchas e formação de limo	93

7.3.3.4.	Descalçamento da fundação.....	93
7.3.3.5.	Vegetação no passeio	93
7.3.3.6.	Dureza superficial do concreto e resistência à compressão equivalente ..	93
7.3.4.	Intervenção	94
7.4.	Pontes da Avenida JK, sobre o córrego Brejo Comprido	95
7.4.1.	Sintomatologia	97
7.4.1.1.	Superestrutura	97
7.4.1.2.	Mesoestrutura	102
7.4.2.	Exames complementares	103
7.4.2.1.	Ensaio de fissuometria	103
7.4.2.2.	Termografia infravermelha	106
7.4.2.3.	Ensaio de esclerometria	107
7.4.3.	Diagnóstico	108
7.4.3.1.	Degrau e deslocamento do maciço de aterro	108
7.4.3.2.	Desgaste superficial por abrasão.....	109
7.4.3.3.	Exposição e corrosão das armaduras.....	109
7.4.3.4.	Eflorescências, manchas e limo.....	109
7.4.3.5.	Movimentações térmicas	110
7.4.3.6.	Falta de placas no passeio	110
7.4.3.7.	Dureza superficial do concreto e resistência à compressão equivalente	110
7.4.4.	Intervenção	111
8.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	113
9.	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	115
	REFERÊNCIAS	116
	APÊNDICE A - Autorização de voo do SARPAS para ponte sobre o córrego Brejo Comprido, Avenida JK	122

APÊNDICE B - Autorização de voo do SARPAS para ponte sobre o córrego Sussuapara, Avenida NS-03.....	123
APÊNDICE C - Autorização de voo do SARPAS para ponte sobre o córrego Sussuapara, Avenida Teotônio Segurado	124
APÊNDICE D - Índices esclerométricos dos elementos avaliados da ponte da Avenida Teotônio Segurado, sobre o córrego Sussuapara	125
APÊNDICE E - Índices esclerométricos dos elementos avaliados da ponte da Avenida JK, sobre o córrego Brejo Comprido	132

1. INTRODUÇÃO

Uma obra de arte é uma criação humana que tem por objetivo representar um conceito determinado, diferindo de um objeto comum, cuja função é apenas sua utilidade prática. Além disso, uma obra de arte apresenta a capacidade de despertar experiências sensoriais, é marcada por informações estéticas ou conceituais, e não é alheia ao movimento artístico ou à época à qual faz parte (RAMOS, 2020).

De acordo com Mendes (2017), as pontes e viadutos são estruturas realizadas de acordo com os conceitos de obra de arte. Elas têm por finalidade viabilizar o transporte sobre obstáculos naturais, tais como rios, lagos e baías; e também obstáculos criados pelo ser humano, tais como centros urbanos e vias expressas. Diante do exposto, é possível compreender que pontes e viadutos possuem finalidade tanto prática e útil quanto bela.

Entretanto, é muito comum haver negligência tal com a manutenção de pontes e viadutos que, geralmente, essas obras de arte perdem sua característica do belo e também passam a oferecer riscos à mobilidade tanto de veículos quanto de pedestres. Parafraseando Vitorio (2006), um problema de grande magnitude no Brasil é a falta de programas eficazes destinados à manutenção de pontes e viadutos no sistema rodoviário do país. A ausência de políticas e estratégias voltadas para a conservação dessas obras se constituem em fatores que contribuem para tal.

Com o objetivo de contornar a situação de desgaste e perda de estruturas, surgiu então a ciência que estuda as causas, formas de manifestação, consequência e mecanismos de deterioração das estruturas, conhecida como Patologia das Estruturas (CUNHA, 2011). Partindo do conceito de que nenhum sistema possui duração eterna, é necessário que sejam realizadas manutenções ao longo da vida útil para garantir sua máxima longevidade.

As manifestações patológicas sinalizam que algo fora do esperado ocorreu ou está a ocorrer, sendo as aberturas, tais como fissuras e trincas, as formas mais comuns delas se manifestarem. Diante disso, é necessária a realização de um estudo que caracterize os mecanismos de deterioração dessas manifestações para que sejam elaboradas as

melhores formas de recuperação da estrutura. Do contrário, a negligência poderá evoluir para uma complicação maior e mais onerosa, e por fim, a perda total da estrutura.

Portanto, com o objetivo de garantir a segurança, mobilidade, senso de pertencimento e qualidade sensorial dos cidadãos do município de Palmas, foi realizado um embasamento teórico seguido de inspeções *in situ* para averiguar as manifestações patológicas presentes nas pontes e viadutos da cidade, caracterizando os mecanismos de deterioração e sugerindo as melhores práticas para restauração dessas obras de arte.

2. PROBLEMA DE PESQUISA

Sabe-se que as pontes, embora tenham se tornado construções comuns para os cidadãos do século XXI, possuem um processo de construção bem complexo e que demanda muitos recursos financeiros. Diante disso, faz-se necessária a garantia da durabilidade destas estruturas para que elas não se tornem um prejuízo aos órgãos públicos e à população. Entretanto, devido às condições de exposição, falhas na execução, falta de manutenção e outros, muitas pontes têm sofrido com a aparição de manifestações patológicas que podem acarretar em colapso da estrutura caso as devidas intervenções não sejam feitas.

Portanto, observa-se que é necessário realizar uma investigação para averiguação das manifestações patológicas e mecanismos de deterioração presentes em pontes para que seja possível determinar boas práticas de intervenção, garantindo assim mais durabilidade à estrutura e menos utilização de recursos financeiros.

No município de Palmas isto não é diferente. A cidade é atravessada pelos córregos Brejo Comprido e Sussuapara, dependendo de pontes para que pedestres e veículos possam cruzar as regiões por onde esses córregos passam. Diante disso, é necessário responder a seguinte pergunta: As pontes sobre os córregos Brejo Comprido e Sussuapara encontram-se em bom estado de preservação que garanta sua estabilidade e durabilidade? No momento da presente pesquisa, verificou-se que as pontes analisadas apresentam patogenias decorrentes de falta de manutenção periódica, as quais podem agravar o processo de deterioração de suas estruturas.

3. JUSTIFICATIVA

De acordo com Sitter (1998), toda manutenção e reparo que são postergados podem acarretar em custos que costumam ser no mínimo cinco vezes maiores que o custo original. Nota-se então que a simples falta de cuidado com estruturas pode transformar um pequeno investimento inicial necessário em um gasto exorbitante.

O quadro 1 mostra os custos de manutenção em alguns países da Ásia e da Europa, onde é possível constatar que, em alguns casos, o custo da construção é inferior ao da manutenção quando esta é negligenciada, e que a manutenção pode ser muito menos onerosa quando são feitos acompanhamentos regulares ao longo dos anos.

Quadro 1 – Gastos com construção e manutenção em países desenvolvidos

País	Gastos com novas construções	Gastos com reparos e manutenções	Gastos totais com construção
Japão	472,5 bilhões de dólares (83%)	96,3 bilhões de dólares (17%)	568,8 bilhões de dólares (100%)
Coreia do Sul	103,2 bilhões de dólares (85%)	18,6 bilhões de dólares (15%)	121,8 bilhões de dólares (100%)
França	101,9 bilhões de dólares (52%)	94,7 bilhões de dólares (48%)	196,6 bilhões de dólares (100%)
Alemanha	118,6 bilhões de dólares (50%)	117,8 bilhões de dólares (50%)	236,4 bilhões de dólares (100%)
Itália	69,7 bilhões de dólares (43%)	91,4 bilhões de dólares (57%)	161,1 bilhões de dólares (100%)
Reino Unido	83,8 bilhões de dólares (50%)	84,5 bilhões de dólares (50%)	168,3 bilhões de dólares (100%)

Nota: todos os dados se referem ao ano de 2004, exceto no caso da Itália que se refere ao ano de 2002.

Cotação do dólar realizada no dia 29/06/2021.

Fonte: Ueda e Takewaka (2007)

Levando-se em consideração o que foi mostrado no quadro 1, e associando o fato que os recursos financeiros públicos utilizados em pontes são altos pela natureza da construção, entende-se que é essencial a existência de um cuidado maior para com as pontes. Este cuidado pode ser feito através de manutenções periódicas, as quais ajudam a assegurar menos despesas ao longo da vida útil da estrutura. Desta forma, ao invés de

haverem gastos excessivos com danos causados por negligência, poderá haver a aplicação do capital público em novas construções.

Através de boas práticas de prevenção e intervenção, será possível evitar o agravamento das patologias presentes nas pontes, impedir o colapso das estruturas, garantir sua máxima longevidade, reduzir custos com manutenção e reparos, diminuir o ônus ao poder público e à população, colaborar com o uso eficiente dos recursos públicos e favorecer o desenvolvimento urbano. Todos estes fatores acarretarão em uma cidade mais segura e saudável para os seus habitantes.

Portanto, é possível perceber que o presente trabalho pode colaborar com os órgãos responsáveis pela integridade das pontes do município, os quais poderão utilizar as informações levantadas para agirem com presteza no reparo destas estruturas tão importantes não apenas para o tráfego de veículos, mas também para a estética da cidade.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo geral

O presente trabalho tem por objetivo realizar um levantamento sistemático caracterizando as manifestações patológicas e os mecanismos de deterioração presentes em seis pontes do município de Palmas – TO, sendo quatro delas sobre o córrego Sussuapara e duas sobre o córrego Brejo Comprido.

4.2. Objetivos específicos

- Explicar a importância da manutenção para a vida útil das estruturas;
- Reiterar os conceitos sobre os requisitos de qualidade das estruturas;
- Revisar os tipos de mecanismos de deterioração do concreto;
- Coletar de dados *in situ* com o auxílio de ferramentas;
- Relatar as manifestações patológicas e os mecanismos de deterioração presentes nas pontes analisadas;

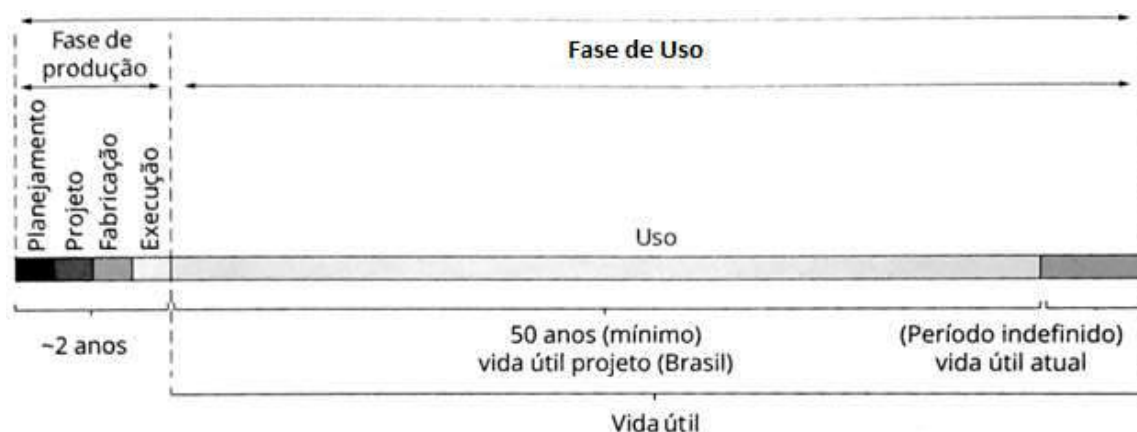
- Sugerir práticas de terapia para restauração das pontes; e
- Informar os órgãos públicos responsáveis sobre o estado de conservação das pontes analisadas.

5. REVISÃO DA LITERATURA

5.1. Ciclo de vida das construções

O ciclo de vida de uma construção é compreendido por duas fases: a de produção e a de uso. A fase de produção é a menor dentro do ciclo vida da construção e encontra-se subdividida em planejamento, projeto executivo, fabricação fora do canteiro e execução (figura 1). De acordo com Bolina, Tutikian e Helene (2019), apesar de compreender um curto período, a qualidade e atenção dedicadas a este estágio causará repercussões diretas ao longo de toda a vida útil da estrutura.

Figura 1 – Ciclo de vida de uma construção



Fonte: Bolina, Tutikian e Helene (2019)

Algo notável dentro do ciclo de vida das edificações é que mais de $\frac{3}{4}$ das manifestações patológicas diagnosticadas durante a etapa de uso da construção tem sua origem em sua fase de produção. Um exemplo disso é que por vezes é possível constatar, durante o período de planejamento, uma aquisição excessiva de materiais, os quais

terminarão sendo armazenados por um longo tempo e poderão sofrer deterioração antes do período de execução (BOLINA, TUTIKIAN E HELENE, 2019).

No período do projeto executivo, como destacam os mesmos autores, infelizmente é comum que alguns profissionais deixem de fazer uma análise mais crítica para dependerem de resultados apresentados por programas de computador. Por mais que o uso de *software* otimize o trabalho do profissional, nada substitui o conhecimento e a visão crítica do ser humano.

Durante o período de fabricação pode acontecer do concreto utilizado ser inadequado à situação na qual é colocado. Às vezes, não são observados rigorosamente os critérios que garantirão tanto a resistência de projeto calculada quanto as demais propriedades do concreto, tais como trabalhabilidade e permeabilidade.

Algumas manifestações patológicas podem também surgir mais tarde devido a erros cometidos durante o período de execução. Nas estruturas de concreto, por exemplo, às vezes acontece de o concreto não ter sido lançado, adensado ou curado apropriadamente; enquanto nas estruturas de aço, às vezes há discrepância entre o projeto e a obra na instalação dos parafusos, soldas má-conduzidas ou pinturas defeituosas (BOLINA; TUTIKIAN; HELENE, 2019).

Partindo para a fase de uso, consideravelmente maior que a de produção, sabe-se que ela é composta pela vida útil de projeto (VUP) juntamente com um período de vida indefinido, chamado de vida útil atual, formando os dois a vida útil (VU) da obra.

A VU de uma construção é uma medida temporal relacionada à durabilidade ou aos seus sistemas (NBR 15575:2018), isto significa que ela se relaciona ao tempo em que esses elementos trabalham de acordo com a finalidade para os quais foram projetados, observando-se o uso apropriado da construção e de suas partes, possíveis alterações no clima, níveis de poluição da região, mudanças no entorno com o passar do tempo e ações de manutenção necessárias ao longo do tempo (SENA, 2020).

A VUP é uma estimativa de tempo teórica para o qual um sistema é projetado, onde se espera que sejam atendidos os parâmetros de desempenho estabelecidos no projeto de acordo com a norma NBR 15575 (BOLINA; TUTIKIAN; HELENE, 2019). Segundo Sena (2020), a observação dos critérios mínimos para a VUP ajuda a garantir que as estruturas entregues terão uma qualidade adequada.

É importante ressaltar que a NBR 15575 também apresenta o conceito de vida útil residual (VUR), que é basicamente o período de tempo entre uma inspeção realizada na estrutura e sua VUP, levando-se em consideração que a estrutura continua a atender os parâmetros de qualidade estabelecidos no projeto.

Para Bolina, Tutikian e Helene (2019), a VUP é altamente influenciada pelo acompanhamento contínuo da obra durante a fase de uso através das manutenções. A NBR 15575 define que a manutenção de obras tem por objetivo a conservação ou reparo do estado de integridade inicial dos sistemas, garantindo assim que a estrutura executada continue a trabalhar dentro de seus critérios de durabilidade e ofereça segurança e conforto aos seus usuários. É importante, portanto, compreender que durabilidade e vida útil são conceitos que se complementam por um influenciar diretamente no outro.

5.2. Requisitos de qualidade

De acordo com Bastos (2014), as estruturas de concreto armado devem apresentar três requisitos básicos de qualidade, que são: capacidade resistente, desempenho em serviço e durabilidade. Estes três requisitos afetam diretamente a vida útil de projeto da estrutura.

O requisito da capacidade resistente diz respeito à capacidade da estrutura de resistir às ações previstas de ocorrerem na construção. Essas ações devem possuir uma margem de segurança conveniente que devem ser majoradas e combinadas, prevenindo a ruína ou a ruptura da estrutura e de suas partes (BASTOS, 2014).

O requisito do desempenho em serviço diz respeito à preservação das condições plenas de utilização da estrutura durante sua vida útil. Portanto, a estrutura não deve apresentar danos que possam comprometê-la parcial ou totalmente.

Por fim, o requisito de durabilidade está atrelado à resistência da obra às condições ambientais em que será colocada (quadro 2). Essa resistência deve ser definida em projeto observando-se a classe de agressividade do ambiente de acordo com a NBR 6118.

Quadro 2 – Classes de Agressividade Ambiental

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{1), 2)}	Pequeno
III	Forte	Marinha ¹⁾	Grande
		Industrial ^{1), 2)}	
IV	Muito forte	Industrial ^{1), 3)}	Elevado
		Respingos de maré	

¹⁾ Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (um nível 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).

²⁾ Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) em: obras em regiões de clima seco, com umidade relativa do ar menor ou igual a 65%, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos, ou regiões onde chove raramente.

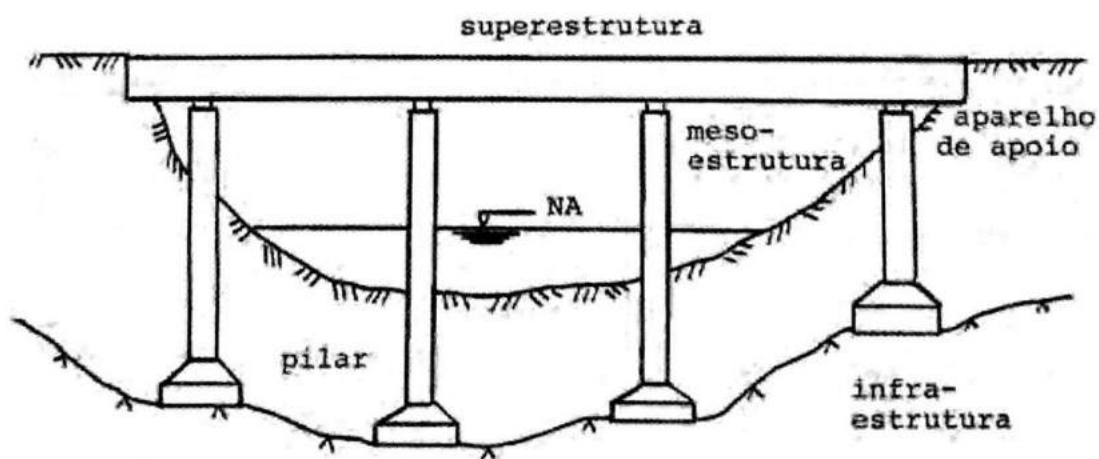
³⁾ Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Fonte: ABNT NBR 6118 (2014)

5.3. Elementos constituintes das pontes

As pontes são compostas de três partes: superestrutura, mesoestrutura e infraestrutura (figura 2). A correta interação entre essas estruturas é fundamental para o funcionamento adequado da obra de arte.

Figura 2 – Infraestrutura, mesoestrutura e superestrutura

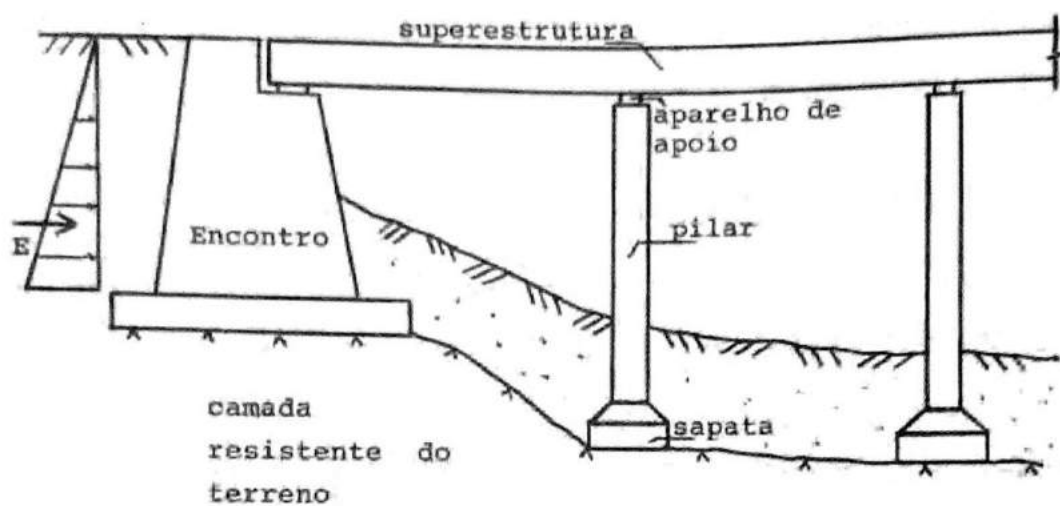


Fonte: Mendes (2017)

A superestrutura é composta por elementos como as lajes, as vigas principais, as transversinas, as cortinas, os dentes entre outros. Ela tem como função receber as cargas do tráfego e transmiti-las para a mesoestrutura. A mesoestrutura, por outro lado, tem por finalidade transmitir os esforços da superestrutura para a infraestrutura, sendo composta de aparelhos de apoio, pilares e vigas de contraventamento dos pilares. Por fim, a infraestrutura é caracterizada pelos elementos de fundação, os quais transmitem os esforços da mesoestrutura para o solo.

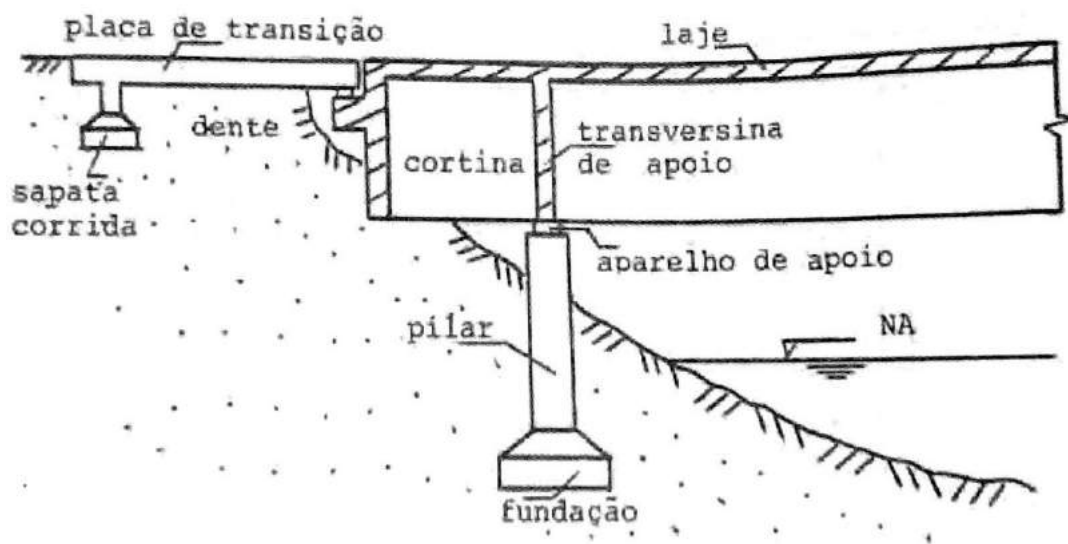
Além das estruturas mencionadas acima as pontes podem conter, a depender da situação, elementos complementares para garantia de sua estabilidade, tais como encontros (figura 3), placas de transição (figura 4) e dolphins (figura 5).

Figura 3 – Encontro



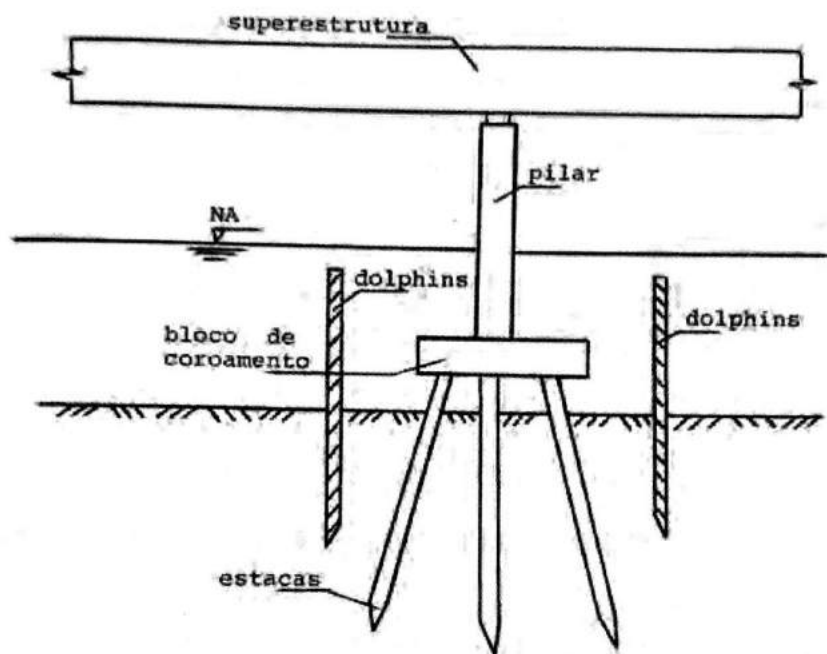
Fonte: Mendes (2017)

Figura 4 – Placa de transição



Fonte: Mendes (2017)

Figura 5 – Dolphins

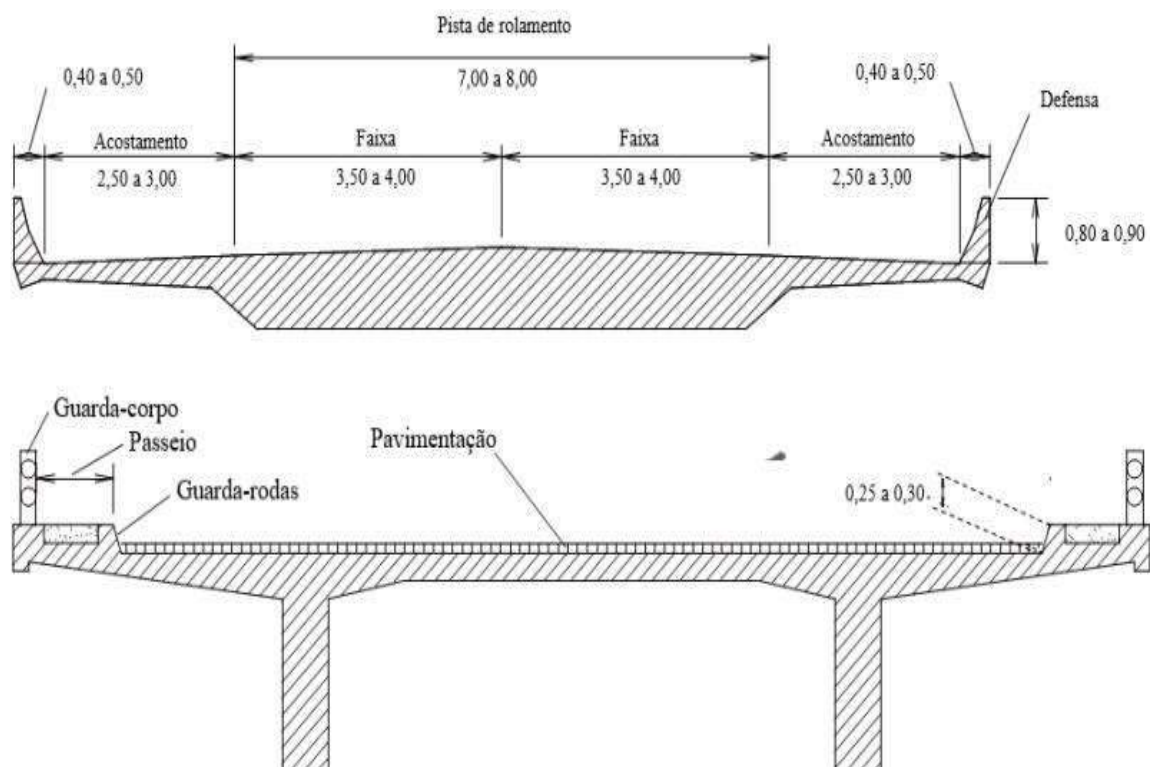


Fonte: Mendes (2017)

Os encontros têm por finalidade receber os empuxos dos aterros de acessos e impedir que se transmitam aos outros pilares da ponte; enquanto as placas de transição servem para acompanhar o assentamento do terreno quando este sofre muito recalque. Por fim, os dolphins são utilizados para proteger os pilares de choques causados por embarcações.

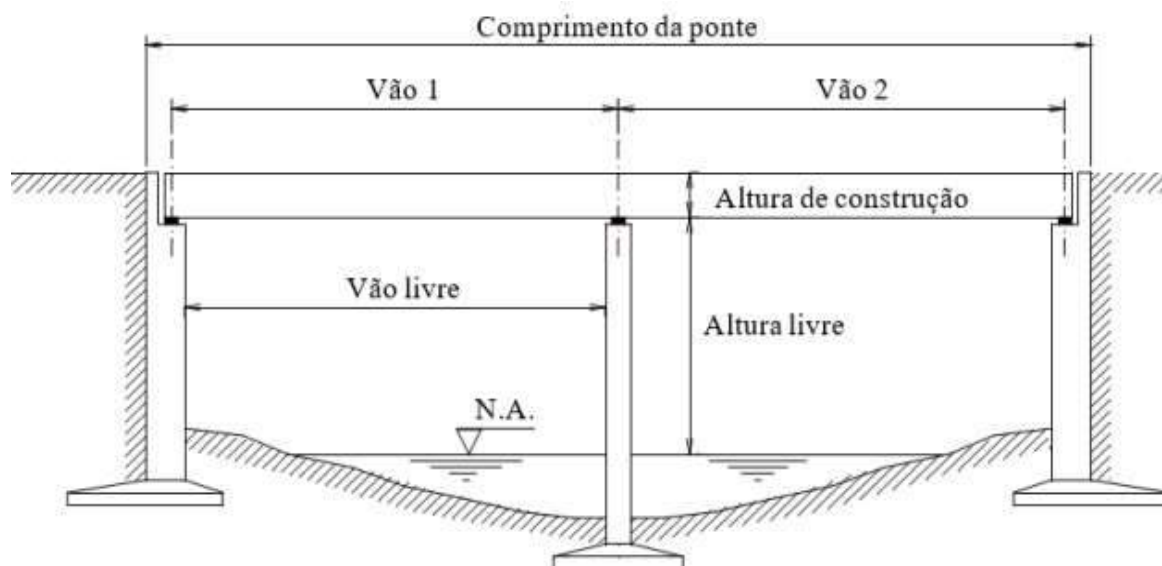
As pontes também são caracterizadas por seus elementos constituintes nas seções longitudinal e transversal. Nesta temos elementos como pista de rolamento, acostamento, defesa, passeio, guarda-rodas e guarda corpo (figura 6); enquanto naquela temos o comprimento da ponte, o vão teórico, o vão livre, a altura de construção e a altura livre (figura 7).

Figura 6 - Elementos constituintes das pontes quanto à seção transversal



Fonte: Adaptado de DNER (1996)

Figura 7 - Elementos constituintes das pontes quanto à seção longitudinal



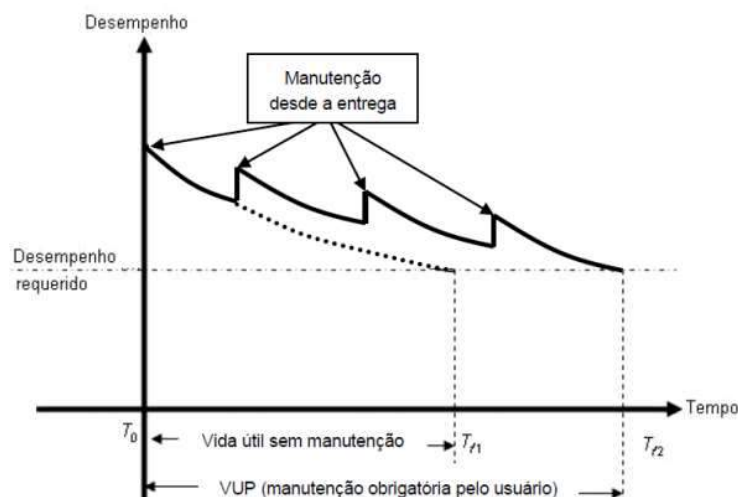
Fonte: Adaptado de DNER (1996)

5.4. Manutenção

De acordo com Bolina, Tutikian e Helene (2019), as atividades de manutenção começam pelo acompanhamento de um sistema ao longo de sua vida útil. Desta forma, será possível averiguar a necessidade ou não da adoção de ações corretivas ou substitutivas de elementos que não se encontram mais dentro dos requisitos de projeto, com o objetivo de preservar ou corrigir a plenitude do desempenho de cada sistema.

Quando as ações de manutenção são corretamente elaboradas e executadas, haverá uma recuperação do desempenho perdido pelo sistema, conforme a figura 8:

Figura 8 – Desempenho de uma construção ao longo do tempo



Fonte: ABNT NBR 15575-1 (2013)

Pode-se constatar no gráfico que, no momento em que um sistema ou uma construção é entregue, este possui um desempenho acima do requerido, o qual tende a diminuir ao longo de sua vida útil, sendo necessárias atividades de manutenção para recuperação do desempenho. Embora essas atividades não consigam retornar o sistema ou construção ao desempenho inicial, elas garantem que, no fim do tempo de vida útil de projeto, as condições de uso ainda estarão sendo atendidas.

É importante frisar que as atividades de manutenção não se limitam apenas a atividades corretivas e preventivas. De acordo com Bolina, Tutikian e Helene (2019), ainda há outros tipos de manutenção que estão relacionados, por vezes, às formas de monitoramento fundamentadas no acompanhamento rigoroso do desempenho do sistema ao longo do tempo. Estas manutenções são chamadas de detectiva, preditiva e engenharia de manutenção.

5.4.1. Manutenção corretiva

Entende-se por manutenção corretiva aquela que tem por objetivo corrigir um elemento ou sistema que apresenta desempenho inferior ao esperado ou algum tipo de falha. A correção desse problema dá-se pelo reparo ou substituição do elemento

defeituoso, restaurando-se assim a plena funcionalidade e segurança definidos previamente em projeto.

A manutenção corretiva pode ser dividida em planejada e em não planejada. A necessidade desta é constatada através da observação da falha de algum elemento, como por exemplo, a existência de oxidação nas armaduras de concreto armado, situação que requer tratamento das armaduras. Por outro lado, a manutenção corretiva planejada é elaborada quando se nota, não necessariamente uma falha, mas uma queda no desempenho do sistema ou do material, sendo tal constatação feita, por vezes, através de manutenções preditivas e detectivas (BOLINA; TUTIKIAN; HELENE, 2019).

5.4.2. Manutenção preventiva

De acordo com Bolina, Tutikian e Helene (2019), a manutenção preventiva é realizada antes do surgimento de falhas no sistema ou na estrutura durante sua vida útil com o intuito de preservar seu desempenho. Esse tipo de manutenção é feito através da substituição de peças ou da renovação dos sistemas de proteção, como por exemplo, a renovação da pintura de um edifício.

5.4.3. Manutenção preditiva

Entende-se por manutenção preditiva aquela que é elaborada de forma sistematizada de acordo com a monitoração e acompanhamento contínuos dos parâmetros de desempenho de um elemento ou sistema. Segundo Bolina, Tutikian e Helene (2019), esse tipo de manutenção é mais fundamentado do que a preventiva porque envolve a comparação, análise, e interpretação de muitos dados e índices.

Esse tipo de manutenção só é viável quando tanto os equipamentos ou sistemas quanto a causa das falhas permitem algum tipo de monitoramento. Após o monitoramento, é possível determinar se o grau de degradação do sistema em análise atingiu um limite predefinido, e então, estabelecer se a intervenção deverá ser feita de imediato ou se poderá ser postergada.

Um exemplo de manutenção preditiva é quando há a utilização de equipamentos para realização de acompanhamento do potencial de corrosão em um elemento estrutural de concreto armado e sua umidade, algo muito importante para estruturas situadas em ambientes com alta classe de agressividade ambiental.

5.4.4. Manutenção detectiva

Segundo Bolina, Tutikian e Helene (2019), a manutenção detectiva é realizada através de dispositivos ou sistemas de detecção geralmente computadorizados, com o objetivo de identificar falhas que são visualmente imperceptíveis em um primeiro contato. Este tipo de manutenção, diferente da manutenção preditiva, é feito de modo automatizado.

5.4.5. Engenharia de manutenção

A engenharia de manutenção tem por objetivo propor uma visão multidisciplinar, sistêmica e concentrada no que diz respeito ao controle de qualidade de sistemas e edificações ao longo de suas vidas úteis (BOLINA; TUTIKIAN; HELENE, 2019).

Começando pela etapa de projeto, existe a necessidade da elaboração de um programa assertivo de manutenção estabelecido pelo projetista em conformidade à NBR 5674, a qual atesta que esse programa deve determinar as atividades essenciais de manutenção, sua periodicidade, os responsáveis pela execução, os documentos de referência, as referências normativas e os recursos necessários.

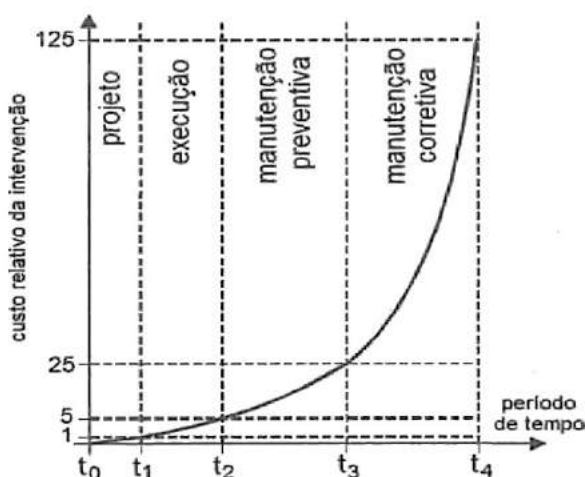
Após a determinação do plano de manutenção e conclusão da obra, é necessário haver um rigoroso controle da qualidade da execução e dos materiais fornecidos para a realização das atividades de manutenção, as quais têm por objetivo garantir que um sistema ou uma obra alcance a vida útil determinada em projeto, evitando e corrigindo qualquer perda de desempenho que comprometa a integridade deles (BOLINA; TUTIKIAN; HELENE, 2019).

5.4.6. Lei de Sitter

Também conhecida como a lei dos 5, a lei de Sitter é uma progressão geométrica de razão 5 que mostra que os custos de intervenção em um empreendimento são maiores quanto mais tardia for a realização dela. Uma alteração realizada na fase de projeto, por exemplo, será cinco vezes mais econômica do que se fosse feita na fase de execução. Por conseguinte, uma manutenção corretiva costuma ser 125 vezes mais onerosa do que uma estratégia de prevenção realizada durante a etapa de projeto.

A figura 9 ilustra a relação da lei de Sitter com as fases de projeto, execução, manutenção preventiva e manutenção corretiva:

Figura 9 – Lei de Sitter



Fonte: Sitter (1984)

5.5. Mecanismos de deterioração e envelhecimento

Os mecanismos de deterioração podem ser físicos, químicos, biológicos ou mecânicos. Eles podem ser compreendidos como a justificativa científica que explica o desenvolvimento da deterioração, mas não explicam sua origem ou natureza. Ainda assim, a compreensão deles é indispensável para evitar o surgimento de anomalias nos sistemas das edificações, prevendo assim uma forma de profilaxia eficiente (BOLINA; TUTIKIAN; HELENE, 2019).

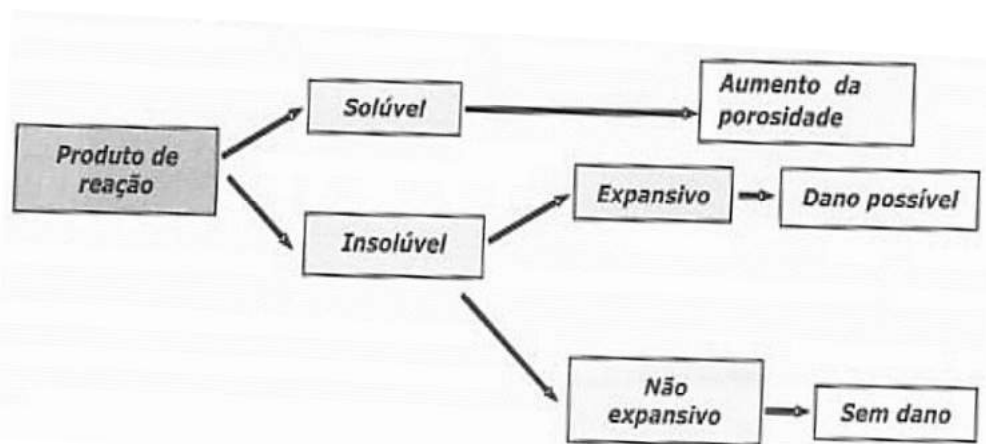
A NBR 6118 (2014) classifica os mecanismos de deterioração e envelhecimento do concreto armado em três categorias: mecanismos preponderantes na deterioração do concreto, mecanismos preponderantes de deterioração relativos à armadura, e, por fim, mecanismos de deterioração da estrutura propriamente dita. Há ainda a influência da agressividade do meio, a qual independe de ações mecânicas, de variações volumétricas de origem térmica, de retração hidráulica e de outras previstas no dimensionamento de estruturas, encontrando-se, então, relacionadas a ações físicas e químicas que atuam sobre as estruturas de concreto (TOMAZELI; HELENE, 2017).

5.5.1. Mecanismos de deterioração química

De forma geral, os mecanismos de deterioração química podem ser entendidos como aqueles que causam alteração química irreversível nos materiais de um sistema e são provenientes de combinações entre um agente agressor e os compostos do material. Tais alterações promovem mudanças nas propriedades intrínsecas do elemento, desencadeando modificações em seu comportamento mecânico ou em sua aparência física. No caso do concreto, as alterações ocorrerão nos compostos hidratados da pasta do cimento Portland (BOLINA; TUTIKIAN; HELENE, 2019).

Segundo Salles Neto (2016), as manifestações patológicas provenientes desta forma de deterioração dependerão do produto de reação formado. Em casos onde o produto de reação é solúvel, sua dissolução acarretará no aumento gradativo dos poros no material, o que facilitará a entrada de agentes agressivos e, consequentemente, seu desgaste. Também haverá dano na estrutura nos casos onde o produto de reação for insolúvel, expansivo e fixados nos poros do material, pois o processo de expansão fará com que surjam pressões internas que, quando excedem a resistência do material à tração, levam à formação de fissuras. Em contrapartida, quando o produto de reação é insolúvel e não expansivo, não haverá dano ao material (figura 10).

Figura 10 – Produto de reação e suas consequências



Fonte: Adaptado de Salles Neto (2016)

5.5.1.1. Corrosão por íons cloreto

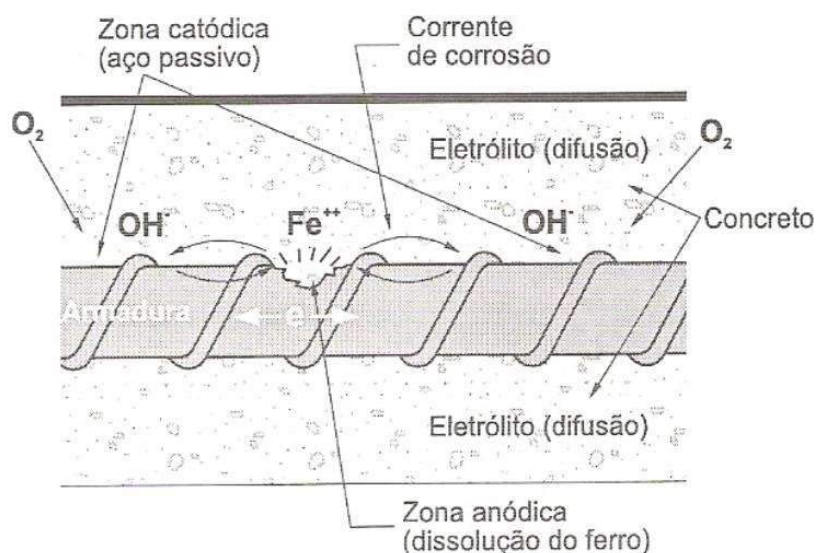
De acordo com Lima et al (2020), a corrosão de armadura do concreto é um dos processos de degradação mais comuns nas estruturas de concreto armado. O processo de corrosão acontece quando há a presença de um conjunto de fatores que tornam o ambiente favorável para tal, sendo eles: água, ar, área anódica, área catódica, um condutor metálico (a armadura) e um eletrólito (solução aquosa presente no concreto).

Segundo Salles Neto (2016), a presença de íons cloreto no concreto armado pode acontecer de forma interna ou externa. Os casos de contaminação interna ocorrem quando, durante o processo de confecção do concreto, são misturados acidentalmente aditivos inadequados ou agregados (ricos em cloretos) e águas contaminados; enquanto os casos de contaminação externa ocorrem quando os íons penetram o concreto através de seus poros, se estabelecendo na superfície das armaduras. Vale ressaltar que a corrosão provocada por íons cloreto acontece de forma localizada.

O processo de corrosão é demonstrado na figura 11 e consiste em um processo eletroquímico, onde há o surgimento de uma diferença de potencial entre as regiões anódicas e catódicas da armadura. A zona anódica é a região com menor concentração

de O_2 e também onde ocorrerá a corrosão, pois haverá transporte de íons dessa zona para a outra (LIMA et al, 2020).

Figura 11 – Processo eletroquímico de corrosão por íons cloreto



Fonte: Cunha e Helene (2001)

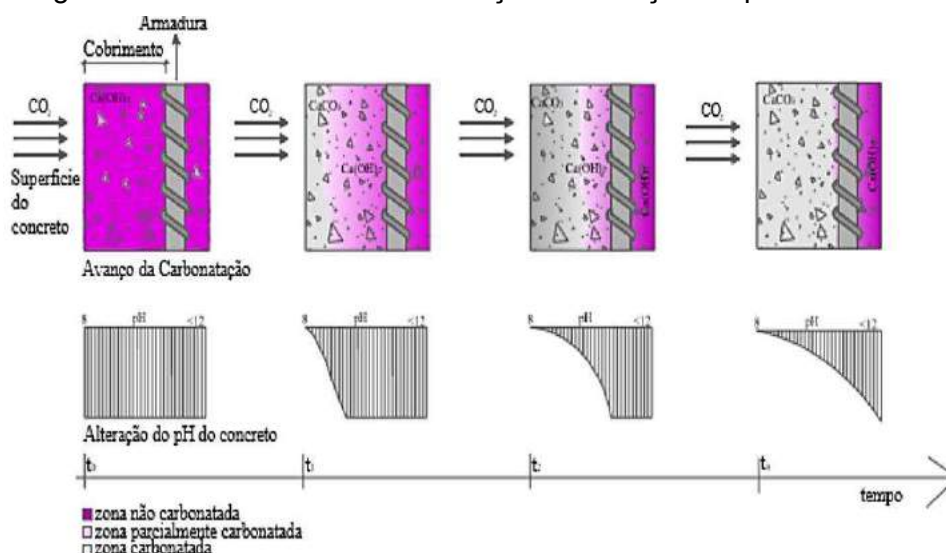
Contudo, é necessário pontuar que nem sempre a presença de cloretos no cimento é importuna, pois cloretos presentes no cimento podem torná-lo mais resistente a sulfatos, visto que processo de formação da etringita se torna mais lento. Entretanto, concretos que estão sob carbonatação apresentam mais dificuldades em combinar cloretos, havendo nesses casos a presença de cloretos livres que causarão danos ao material.

5.5.1.2. Corrosão por carbonatação

Como o nome sugere, a carbonatação é o processo onde o dióxido de carbono (CO_2) presente na atmosfera reage com o hidróxido de cálcio ($Ca(OH)_2$) presente no cimento hidratado. Como demonstra a figura 12, essa reação forma o carbonato de cálcio ($CaCO_3$), sendo também responsável pela redução do pH do concreto de 12,5-13,5 para valores inferiores a 9, retirando assim a proteção alcalina que o mesmo fornece à

armadura (LIMA et al, 2020). Desta forma, ocorrerá a despassivação do aço, e, consequentemente, sua oxidação generalizada (SALLES NETO, 2016).

Figura 12 – Processo de carbonatação e alteração do pH do concreto



De acordo com Cascudo (1997), a relação água/cimento atua de forma direta na intensidade da carbonatação, pois quanto maior essa relação, maior será a carbonatação, visto que o concreto será mais poroso. Entretanto, é importante ressaltar que outros fatores também devem ser levados em consideração, tais como o lançamento, adensamento e cura do concreto, condições ambientais, umidade do ambiente e tipo do cimento.

Segundo Rodrigues (2008), a presença de carbonatação no concreto é facilmente detectada através da aspersão de solução de fenolftaleína na região onde se suspeita estar ocorrendo a corrosão. Após isso, é necessário observar se houve mudança na coloração da solução de incolor para rosa. Caso isso não aconteça, terá sido provado que a região onde não há a coloração rosada houve decréscimo em seu pH e está sofrendo carbonatação.

Por fim, vale pontuar que a despassivação das armaduras, seja pela presença de cloretos ou pela carbonatação, é considerada um mecanismo preponderante de deterioração relativo à armadura, causando a expansão diametral do aço. Esta expansão

gerará tensões de tração que, quando excedem a resistência à tração do concreto causam o surgimento de fissuras paralelas às barras longitudinais, deslocamento da camada superficial do concreto, redução da seção da barra, perda de aderência entre a armadura e o concreto, e, caso não haja recuperação da estrutura, o colapso (LIMA et al, 2020).

5.5.2. Mecanismos de deterioração biológica

Os mecanismos de deterioração biológica estão relacionados à ação de macro ou microrganismos provenientes do ambiente em que um empreendimento está situado. Esses organismos atuam de forma a alterar propriedades do material base, fazendo com que ocorra sua biodeterioração (PEREIRA, 2012). De acordo com Bolina, Tutikian e Helene (2019), ambientes ou regiões que apresentam umidade elevada, longos ciclos de umidificação e secagem, e baixa insolação, podem ser considerados como potencializadores no processo de fixação e proliferação dos organismos.

Os danos causados pela biodeterioração podem ser agrupados em quatro classes: física ou mecânica, estética, química assimilatória e não-assimilatória.

5.5.2.1. Biodeterioração física ou mecânica

Segundo Pereira (2012), esse tipo de biodeterioração é visto em casos onde o organismo exerce pressão na superfície do material acima do suportado por este, o que acaba por rompê-lo, algo que pode ser observado em situações onde raízes conseguem destruir estruturas próximas (figura 13).

Figura 13 – Raízes destroem calçada



Fonte: <<https://www.condominiosverdes.com.br/>>

5.5.2.2. Biodeterioração estética

A biodeterioração estética (figura 14) é marcada pelo surgimento de microrganismos que não comprometem o desempenho do material base, porém empobrecem seu valor estético. Isso acontece em casos onde se constata o surgimento de bolor e manchas, os quais, segundo Lima et al (2020), surgem quando há umidade elevada e pouca ventilação no ambiente.

Figura 14 – Bolor em revestimento



Fonte: Salles Neto (2016)

5.5.2.3. Biodeterioração química assimilatória

A biodeterioração química assimilatória, segundo Pereira (2012), ocorre quando o organismo se alimenta de nutrientes provenientes do material base, fazendo com que

este sofra uma redução em sua massa, e, por conseguinte, perca parte de sua capacidade estrutural (figura 15).

Figura 15 – Presença de limo em pilar



Fonte: Bolina, Tutikian e Helene (2019)

5.5.2.4. Biodeterioração química não-assimilatória

A biodeterioração química não-assimilatória é decorrente do processo de alimentação dos organismos, os quais formam e liberam ácidos que reagem quimicamente sobre o material e têm a capacidade de deteriorá-lo. (BOLINA; TUTIKIAN; HELENE, 2019).

5.5.3. Mecanismos de deterioração física

De acordo com Bolina, Tutikian e Helene (2019), os mecanismos de deterioração física estão relacionados às variações volumétricas que os materiais sofrem causadas por dilatação térmica ou por variações higroscópicas diante de ciclos de absorção e evaporação de água.

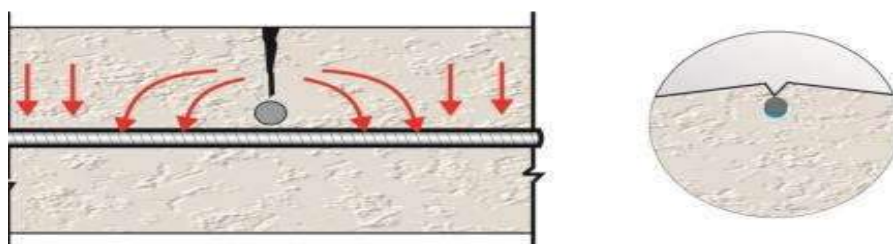
A porosidade do material e também a interconexão entre seus poros afetam diretamente na intensidade da deterioração física, pois, quanto mais poros e quanto mais interconectados eles se encontram, maior será a quantidade de água absorvida de ambientes externos, e, conseqüentemente, maior será o seu inchamento. Esses ciclos de absorção e evaporação submeterão o material a tensões que, quando superam a resistência à tração do concreto, produzem fissuras. Entretanto, é importante pontuar que, como a armadura ajuda na absorção dos esforços, quanto mais armada for a peça, menos ela sofrerá com as tensões de tração produzidas (BOLINA; TUTIKIAN; HELENE, 2019).

Segundo Nascimento (2020), as regiões de interface ou zonas de transição em uma estrutura devem receber um cuidado maior por conta das fissuras que podem surgir devido à diferença no coeficiente de dilatação térmica entre os materiais envolvidos.

5.5.3.1. Retração por assentamento plástico

A retração por assentamento plástico acontece, segundo Meneghetti (2016), quando há assentamentos diferenciais dentro da massa do concreto, os quais ocorrem quando sua movimentação, após adensado, é impedida por elementos fixos e rígidos presentes na estrutura (figura 16), fazendo com que surjam fissuras próximas a esses elementos.

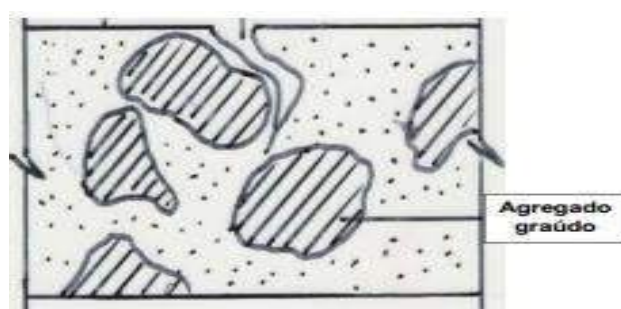
Figura 16 – Assentamento plástico causado por barra de aço



Fonte: Meneghetti (2016)

De acordo com Salles Neto (2016), esse tipo de retração pode ocorrer por conta de uma granulometria irregular, mais precisamente, quando há excesso de agregados graúdos (figura 17). Quando isso acontece, formam-se fissuras ao redor dos agregados, fazendo com que haja a possibilidade da resistência do concreto aos 28 dias acabe sendo inferior que sua resistência aos 7 dias.

Figura 17 – Assentamento plástico por excesso de agregado graúdo



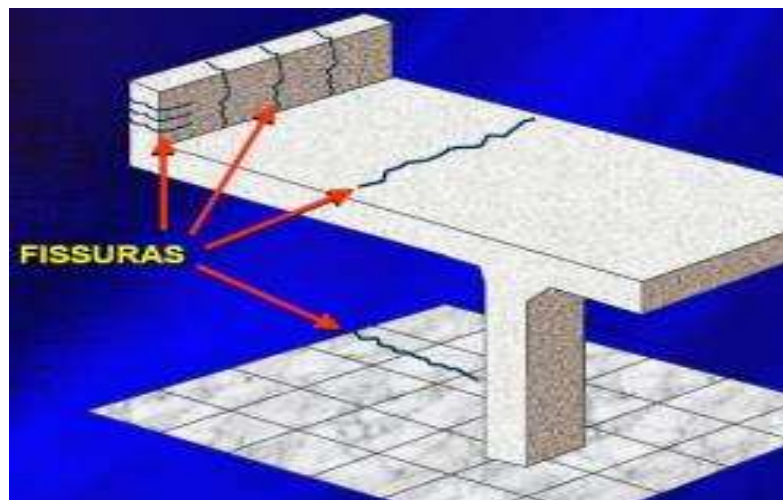
Fonte: Salles Neto (2016)

Segundo Meneghetti (2016), a retração por assentamento plástico também pode acontecer por conta de vibração prolongada, pois tal ação acarreta na segregação dos agregados. Além disso, o excesso de água de amassamento, falta de estanqueidade das formas, barras com grandes bitolas, cobrimento pequeno das armaduras, malhas densas e excesso de exsudação também são apontados como fatores para o surgimento de fissuras por retração por assentamento plástico.

5.5.3.2. Retração por secagem

A retração por secagem, de acordo com Meneghetti (2016), é causada pela rápida evaporação de água. De forma resumida, a taxa de evaporação de água se torna maior que a taxa de água exsudada. Esse tipo de retração acontece dentro das primeiras 48 horas da confecção do concreto e se estende até seus dois primeiros anos. Como a retração começa bem cedo, em etapas onde o concreto ainda não tem resistência suficiente para resistir aos esforços produzidos, ele acaba fissurando (figura 18).

Figura 18 – Fissuras por retração por secagem



Fonte: Meneghetti (2016)

Salles Neto (2016) pontua que as fissuras produzidas por esse tipo de retração são mais frequentes em concretos com grande superfície horizontal livre e pouca espessura, com alta relação água/cimento, com cimentos que possuem alto teor de finos, e com presença de argila contaminada ou muita areia fina.

Vale também ressaltar que as condições ambientais possuem um papel importante na prevenção de fissuras por retração por secagem. Portanto, quando a concretagem se dá em ambientes com climas quentes, deve-se manter a temperatura abaixo de 35°C e umidade relativa do ar maior que 50%. Em casos onde as temperaturas sejam superiores a 40°C e a velocidade do vento se encontre acima de 60 m/s, é recomendável suspender a concretagem (SALLES NETO, 2016).

Em casos onde não é possível realizar a suspensão da concretagem, há algumas estratégias que podem ser adotadas para minimizar os impactos oriundos das condições ambientais. Segundo Bolina, Tutikian e Helene (2019), pode-se optar por dar início à concretagem com antecedência, embeber os agregados na central de concreto, umedecer as formas, utilizar aditivos estabilizadores de hidratação ou retardadores de pega, ou fazer uso de gelo para substituição total ou parcial da água de amassamento.

5.5.3.3. Movimentação térmica do concreto

O concreto, assim como qualquer outro sólido, está sujeito a expansão quando submetido a altas temperaturas e a retração quando resfriado. Quando essas retrações ou expansões são restringidas, seja pelas armaduras ou pelas vinculações, há o surgimento de tensões diferenciais no elemento, podendo causar a deflagração de fissuras. Diante disso, temos as solicitações de natureza térmica, as quais atuam sobre as solicitações de uso ou carregamento existentes na peça estrutural (BOLINA; TUTIKIAN; HELENE, 2019).

De acordo com Salles Neto (2016), a baixa condutividade do concreto é um fator primordial no surgimento de fissuras por movimentações térmicas, pois essa baixa condutividade propicia a existência de um gradiente térmico entre o interior da massa e a superfície, e, segundo Meseguer, Cabré e Portero (2009), quando esse gradiente supera a temperatura de 20°C, é esperado que ocorram fissuras na superfície da peça de concreto caso esta não esteja armada.

As fissuras de movimentação térmica são comuns em soleiras, pavimentos de concreto e muros de grande comprimento. Essas fissuras, como pontua Salles Neto (2016), são “perpendiculares ao eixo principal dos elementos, de largura constante e produzindo o seccionamento do elemento”. Vale ressaltar que é comum encontrar fissuras desta natureza em lugares onde deveriam haver as juntas de dilatação. Sempre que elas são negligenciadas, uma fissura surgirá naturalmente no local onde deveria haver uma junta (figura 19).

Figura 19 – Fissura por negligência de junta



Fonte: Salles Neto (2016)

5.5.3.4. Desgaste superficial

O desgaste superficial, como pontuam Bolina, Tutikian e Helene (2019), ocorre por conta do contato entre partículas ou materiais sólidos com o concreto (figura 20). Esta situação acontece com mais frequência em pavimentos rígidos de concreto, pois há o constante atrito entre os pneus dos veículos e o pavimento, fazendo com que surjam buracos de erosão. Diante disso, existe a recomendação do uso de lábios poliméricos nas juntas das placas de pavimentos rígidos para prevenir a erosão e também a quebra de arestas próximas à junta de movimentação ou dilatação, fenômeno conhecido como esborcinamento.

Figura 20 – Desgaste superficial em pista de rolamento



Fonte: Silva e Souza (2018)

5.5.4. Mecanismos de deterioração mecânica

Segundo Brandão (1998), os mecanismos de deterioração mecânica estão relacionados aos esforços mecânicos que atuam sobre os elementos de uma estrutura. Esses mecanismos são iniciados por fatores externos, como por exemplo, a carga excessiva provocada pelo uso de veículos automotivos em pontes destinadas ao uso de pedestres. Quando esses esforços ultrapassam os valores resistentes dos elementos, há o surgimento de fissuras, e, quando há a extrapolação contínua, há o colapso da estrutura.

Souza e Ripper (1998) classificam como mecanismos de deterioração mecânica as solicitações causadas por choque e impactos, o recalque diferencial das fundações, e também acidentes como inundações, incêndios, ventanias e outras ações imprevistas (figura 21).

Figura 21 – Deterioração o guarda-corpos causada por choque



Fonte: Soares (2015)

5.6. Ensaios não destrutivos

Um ensaio não destrutivo, como seu nome diz, consiste em um método de obter informações sobre as características das estruturas de concreto armado sem que haja a necessidade de extrair testemunhos da própria estrutura, causando-lhe pouco ou nenhum dano. Contudo, essa não é a única vantagem desta modalidade de ensaio, pois, além de fornecerem rápida obtenção de dados, os ensaios não destrutivos podem ser

realizados durante o período de uso da estrutura e facilitam a identificação de problemas nos estágios iniciais da obra (MEDEIROS et al, 2014).

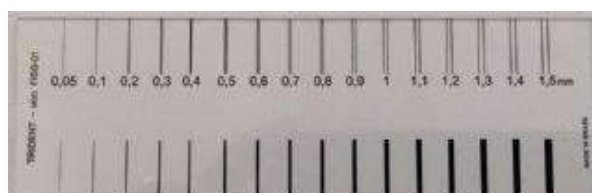
Os ensaios não destrutivos mais comuns na engenharia civil são: fissurometria, esclerometria, ultrassom, pacometria, resistividade elétrica, permeabilidade e termografia infravermelha. É importante mencionar que esses ensaios, por mais vantajosos que sejam, podem necessitar da complementação de ensaios semidestrutivos para a identificação da origem ou dos mecanismos de deterioração de uma manifestação patológica. (BOLINA; TUTIKIAN; HELENE, 2019)

5.6.1. Fissurometria

O ensaio de fissurometria consiste na utilização de um equipamento chamado fissurômetro para medir a magnitude da abertura da fissura em uma peça de concreto armado, em um revestimento ou também em alvenarias. O fissurômetro (figura 22) se assemelha a uma régua graduada que indica, em milímetros, o tamanho de uma abertura, sendo colocada contra a fissura para facilitar a mensuração (SALLES NETO, 2020).

Este ensaio, quando realizado sucessivas vezes na mesma fissura, pode ajudar a compreender se esta se encontra em um estado ativo ou passivo, facilitando na determinação da origem e causa da manifestação patológica. Contudo, é necessário lembrar que, por se tratar de um ensaio simples, é recomendável a utilização de outros ensaios para complementar as informações obtidas através da análise das fissuras (BOLINA; TUTIKIAN; HELENE, 2019).

Figura 22 – Fissurômetro



Fonte: O Projetista (2019)

5.6.2. Esclerometria

O ensaio de esclerometria é um ensaio que pode ser realizado in loco com a finalidade de medir a dureza superficial do concreto, obtendo assim elementos que facilitam a avaliação da qualidade do concreto endurecido (ABNT NBR 7584, 2012). Este ensaio é realizado com o auxílio de um equipamento chamado Martelo de Schmidt (figura 23), o qual possui uma mola com rigidez conhecida que impulsiona o martelo, o qual se choca com a superfície de concreto através de uma haste com ponta esférica. A força de retorno sofrida pelo martelo é registrada no equipamento, obtendo-se assim o índice esclerométrico, o qual se relaciona com a dureza superficial do elemento (MEDEIROS et al, 2014).

Figura 23 – Martelo de Schmidt (corte longitudinal)



Fonte: Duarte (2016)

A realização do ensaio dá-se primeiramente pela caracterização da superfície do concreto, depois pela determinação da área de ensaio, e então pela realização dos impactos. É importante mencionar que a área de ensaio deve distar de 50 mm dos cantos e das arestas dos elementos estruturais, convenientemente evitando bases e topos de pilares, regiões próximas de apoios e regiões interiores de vigas. Em relação aos impactos, devem ser efetuados 16 impactos sobre a área de ensaio em pontos distintos, com seus centros distando no mínimo de 30 mm entre um e outro ponto, não podendo um mesmo ponto receber mais que um impacto (ABNT NBR 7584, 2012).

5.6.3. Termografia infravermelha

O ensaio de termografia infravermelha é feito através da utilização de equipamento infravermelho (figuras 24 e 25) capaz de analisar a temperatura superficial das estruturas

de concreto. Tal equipamento possibilita a localização de anomalias não aparentes e vícios construtivos que, de acordo com Cortizo (2007), não seriam identificados sem aparato específico ou ensaio destrutivo. Desta forma, é possível detectar fissuras, vazamentos em drenos e tubulações, falhas no isolamento térmico, infiltrações em coberturas, e perda de energia elétrica (FRAZÃO, 2018).

O princípio da termografia infravermelha está na perturbação do fluxo de calor gerado interna ou externamente à peça estrutural, produzindo desvios na distribuição da temperatura sobre a superfície do objeto. Esses desvios são captados pelo equipamento e são transformados em imagem. Estas imagens, por mais que não sejam conclusivas, facilitam o processo de tomada de decisões e na identificação de pontos onde se faz necessária uma investigação mais profunda (BOLINA; TUTIKIAN; HELENE, 2019, p, 176).

Como vantagens deste ensaio, pode-se elencar sua rapidez de execução e também sua facilidade de inspeção, haja vista que os dados obtidos são transformados em imagem em tempo real. Como desvantagem, a interpretação das imagens pode ser prejudicada por conta de irregularidades na temperatura superficial da estrutura, causada pelas condições térmicas do objeto e do meio, pela condição de medição, e pela presença de sombreamento e reflexão (BARREIRA, 2004).

Figura 24 – Termógrafo



Fonte: <<https://www.jroma.pt/>>

Figura 25 – Inspeção com termografia infravermelha



Fonte: <<https://www.jroma.pt/>>

6. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

6.1. Apresentação da área de estudo

O trabalho consiste na realização de um estudo de caso em seis pontes que se encontram na região norte do município de Palmas, sendo indicadas na Figura 26. Essas pontes costumam ter um volume de tráfego bastante elevado devido ao grande número de pessoas que precisam se deslocar de e para locais de estudo como as Universidades Federal e Estadual do Tocantins; para locais de habitação, como o bairro Luzimangues; e também para regiões de lazer como a Praia da Graciosa e a Praia das Arnos. Vale ressaltar que quatro dessas pontes se encontram em duas das avenidas principais de Palmas, a avenida Teotônio Segurado e a Juscelino Kubitschek.

Figura 26 – Região das pontes em estudo



Fonte: Adaptado de Google Earth (2020)

Para melhor detalhamento do estudo em questão, foram levantadas algumas características das pontes. Estas informações se encontram nos Quadros de 3 a 6, acompanhados das figuras 27, 28 e 29.

Quadro 3 – Classificação da ponte da Avenida JK, sobre o córrego Brejo Comprido, próxima ao Capim Dourado Shopping, sentido leste-oeste

Comprimento	40 m
Classificação	Ponte de médio vão
Largura	13,00 m
Área do tabuleiro	520 m ²
Quantidade de faixas	3
Largura das faixas	3,5 m
Largura do passeio	2,5 m
Desenvolvimento altimétrico	Retas apresentam eixo reto horizontal
Desenvolvimento planimétrico	Retas apresentam eixo reto esconso
Natureza do tráfego	Rodoviário
Material da superestrutura	Concreto armado

Fonte: Autor (2021)

Quadro 4 – Classificação da ponte da Avenida JK, sobre o córrego Brejo Comprido, próxima ao Capim Dourado Shopping, sentido oeste-leste

Comprimento	40 m
Classificação	Ponte de médio vão
Largura	14,00 m
Área do tabuleiro	560 m ²
Quantidade de faixas	3
Largura das faixas	3,5 m
Desenvolvimento altimétrico	Retas apresentam eixo reto horizontal
Desenvolvimento planimétrico	Retas apresentam eixo reto esconso
Natureza do tráfego	Rodoviário
Material da superestrutura	Concreto armado

Fonte: Autor (2021)

Figura 27 – Pontes da Avenida JK, sobre o córrego Brejo Comprido, próxima ao Capim Dourado Shopping, sentidos oeste-leste e leste-oeste



Fonte: Adaptado de Google Earth (2020)

Quadro 5 – Classificação das pontes da Avenida NS-03, sobre o córrego Sussuapara, sentidos sul-norte e norte-sul

Comprimento	11 m
Classificação	Ponte de pequeno vão
Largura	13,20 m
Área do tabuleiro	145,20 m ²
Quantidade de faixas	3
Largura das faixas	3,4 m
Largura do passeio	3 m
Desenvolvimento altimétrico	Retas apresentam eixo reto em rampa
Desenvolvimento planimétrico	Retas apresentam eixo reto esconso
Natureza do tráfego	Rodoviário
Material da superestrutura	Concreto armado

Fonte: Autor (2021)

Figura 28 – Pontes da Avenida NS-03, sobre o córrego Sussuapara, sentidos sul-norte e norte-sul



Fonte: Adaptado de Google Earth (2020)

Quadro 6 – Classificação das Pontes da Avenida Teotônio Segurado, sobre o córrego Sussuapara, sentidos norte-sul e sul-norte

Comprimento	30 m
Classificação	Ponte de médio vão
Largura	18 m
Área do tabuleiro	540 m ²
Quantidade de faixas	4
Largura das faixas	3,75 m
Largura do passeio	3 m
Desenvolvimento altimétrico	Retas apresentam eixo reto horizontal
Desenvolvimento planimétrico	Retas apresentam eixo reto ortogonal
Natureza do tráfego	Rodoviário
Material da superestrutura	Concreto armado

Fonte: Autor (2021)

Figura 29 – Pontes da Avenida Teotônio Segurado, sobre o córrego Sussuapara, sentidos norte-sul e sul-norte



Fonte: Adaptado de Google Earth (2020)

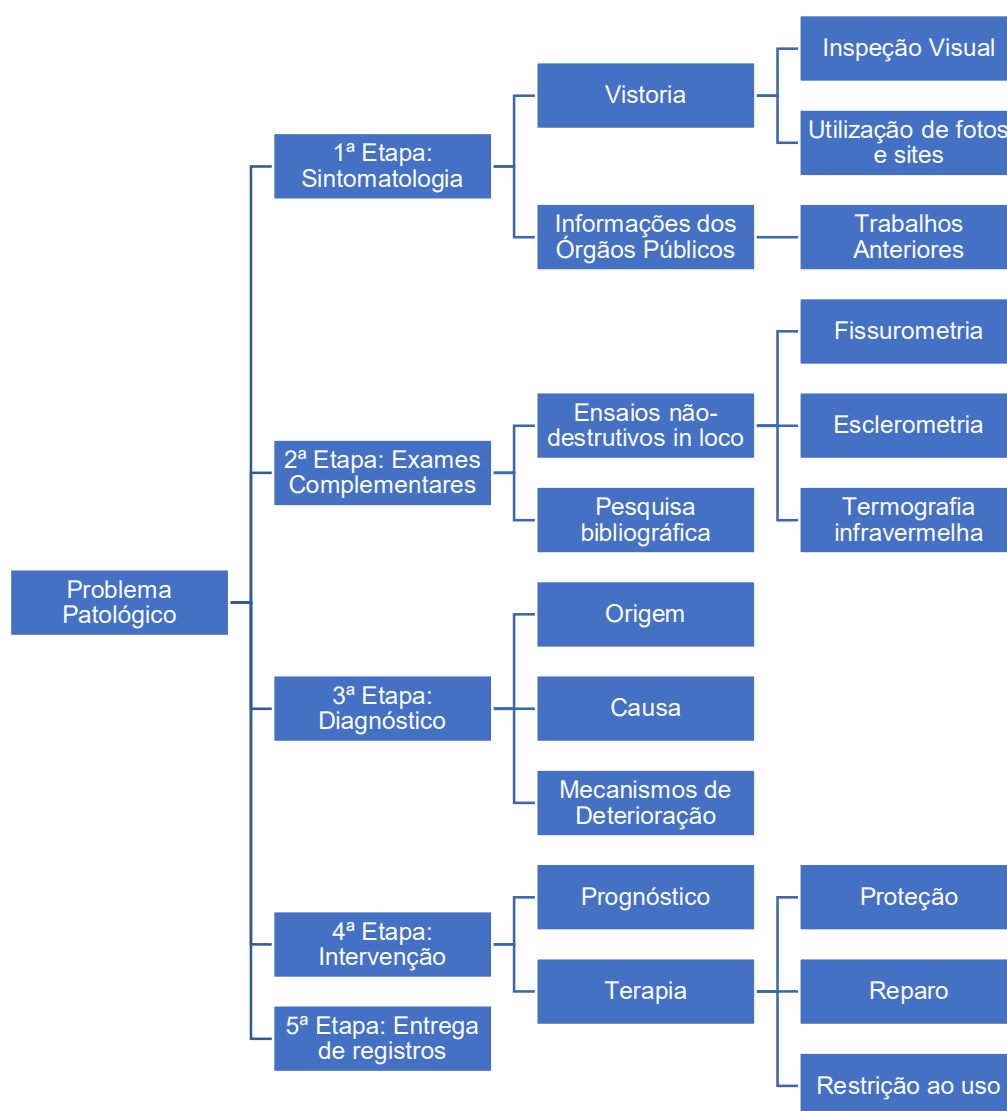
6.2. Inspeção

A inspeção é parte fundamental do estudo da patologia das construções. Sem ela, é impossível haver uma compreensão genuína da origem, natureza e causa das manifestações patológicas, muito menos estabelecer diagnóstico, prognóstico e terapia precisos para reparo da estrutura. Portanto, entende-se que é necessária a realização de inspeção em cada ponte do estudo em questão com o intuito de assegurar que os objetivos desta pesquisa sejam alcançados.

Diante disso, será feito uso da metodologia de Lichtenstein (1985) com o objetivo de garantir um plano de atividades sistematizado e preciso para melhor compreensão do problema patológico. Além disso, ensaios não destrutivos e semidestrutivos serão realizados nas regiões acessíveis para determinação de agentes de deterioração. Por fim, também será utilizado veículo aéreo não tripulado (VANT) para coleta de imagens

das regiões inspecionadas. Na Figura 30 abaixo há uma adaptação do fluxograma de Lichtenstein que será utilizado na pesquisa.

Figura 30 – Organograma de inspeção



Fonte: Autor (2021)

6.2.1. 1ª Etapa: Sintomatologia

A primeira etapa da inspeção consistirá no levantamento de informações por meio de vistoria e anamnese. A vistoria será feita por meio de inspeção visual bem como pela utilização de fotos, capturadas por dispositivos móveis e VANTs, e sites, tais como Google Maps e Google Earth; enquanto a anamnese será feita através de consulta a materiais disponibilizados por órgãos públicos e também a trabalhos acadêmicos anteriores.

6.2.2. 2ª Etapa: Exames complementares

A segunda etapa será realizada através do procedimento de ensaios não destrutivos in loco, bem como pesquisa bibliográfica para garantir mais respaldo nas conclusões que haverão de ser feitas. Os ensaios não destrutivos serão os de fissuometria, esclerometria e termografia infravermelha.

6.2.3. 3ª Etapa: Diagnóstico

A terceira etapa consiste no diagnóstico determinado após as duas etapas anteriores. Serão levantadas as informações quanto a origem, causa e mecanismos de deterioração que causam as manifestações patológicas. Vale ressaltar que a origem de uma manifestação pode ser congênita, construtiva, acidental ou adquirida (SALLES NETO, 2016); enquanto os mecanismos de deterioração podem ser físicos, mecânicos, biológicos ou químicos.

6.2.4. 4ª Etapa: Intervenção

A quarta etapa se resumirá na determinação do prognóstico e da terapia. Sabe-se que o prognóstico é a previsão do que irá acontecer à estrutura caso nenhuma intervenção seja realizada, enquanto a terapia são as medidas de intervenção corretiva

que possuem a finalidade de resgatar o desempenho e qualidade do empreendimento (BOLINA; TUTIKIAN; HELENE, 2019).

6.2.5. 5ª Etapa: Entrega de registros

A quinta e última etapa consiste na entrega das informações levantadas nas etapas anteriores aos órgãos públicos responsáveis pela segurança e garantia da durabilidade das pontes no município de Palmas, tendo como objetivo o pronunciamento e ação destes para evitar ônus ao estado e à população.

7. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Serão agora apresentados os resultados obtidos e discussões elaboradas a partir da observação das manifestações patológicas, dedução dos mecanismos de deterioração e sugestão de práticas de intervenção.

7.1. Problema patológico

Serão descritas a seguir as manifestações patológicas acompanhadas de registro fotográfico encontradas nas pontes que foram delimitadas nesta pesquisa.

As manifestações patológicas encontradas nas pontes da pesquisa foram deslocamento do maciço de aterro, exposição das armaduras, manchas e eflorescências no tabuleiro, erosão na pavimentação, rompimento do concreto, falta de placas no passeio, degraus e descalçamento de fundação. Todas essas manifestações serão devidamente caracterizadas e pontuadas por meio de registro fotográfico.

7.2. Pontes da Avenida NS-03, sobre o córrego Sussuapara

As pontes sobre o córrego Sussuapara são pontes executadas em concreto armado e estão situadas entre a 203 e 303 norte. Elas se encontram interditadas desde

o ano de 2020, tendo seu acesso ao público restrito. Diante disso, as vistorias só puderam ser realizadas por meio de veículo aéreo não tripulado (VANT).

7.2.1. Sintomatologia

A avaliação da sintomatologia constitui a primeira etapa do presente trabalho e será feita por meio de vistoria e anamnese. Conforme mostrado no organograma de inspeção, estas ações serão realizadas por meio de inspeção visual, fotos, informações obtidas dos órgãos públicos e trabalhos anteriores.

Os registros fotográficos mostram a situação de suas superestruturas, mesoestruturas e infraestruturas, e, por meio deles, será possível inferir os mecanismos de deterioração causadores das manifestações patológicas e sugerir boas práticas de intervenção.

Por meio de inspeção visual, foi possível detectar os seguintes problemas patológicos: descalçamento da fundação, deslocamento do maciço do aterro, erosão na pavimentação, rompimento do concreto nas cabeceiras, armaduras expostas na superfície inferior dos tabuleiros, manchas e eflorescências.

De acordo com Sousa (2018), em seu trabalho de vistoria das pontes, naquele ano era possível constatar a falta de calçamento nas cabeceiras, manchas de infiltração, armaduras expostas em pontos localizados das nervuras do tabuleiro, eflorescência na superfície do concreto e degraus próximos às cabeceiras.

7.2.1.1. Superestrutura

A superestrutura, composta pelo tabuleiro e vigas principais, encontra-se visivelmente danificada. A magnitude das aberturas, muitas delas superiores a 20 cm, indica a impossibilidade do uso da obra de arte, justificando sua interdição.

No mês de abril de 2021, um motociclista se acidentou após tentar atravessar a ponte com sua motocicleta. É notável que mesmo após a interdição da ponte, muitos pedestres, ciclistas e motociclistas se aventuram na tentativa atravessá-la. Diante do

acidente, a Prefeitura de Palmas se pronunciou afirmando que o processo de licitação para substituição da estrutura presente está em tramitação (G1, 2021).

As figuras 31 a 34 mostram a intensidade das manifestações patológicas nessa região.

Figura 31 – Tabuleiro das pontes sobre a NS-03



Fonte: Salles Neto (2021)

Figura 32 – Desmoronamento da cabeceira norte



Fonte: Salles Neto (2020)

Figura 33 – Desmoronamento da cabeceira sul



Fonte: Salles Neto (2020)

Figura 34 – Deslocamento do material do aterro



Fonte: Salles Neto (2021)

Também foi possível constatar a presença de armaduras expostas na região das nervuras do tabuleiro. As figuras 35 e 36 mostram tal fato com mais detalhes.

Figura 35 – Armaduras expostas na região do tabuleiro sul-norte em 2018



Fonte: Sousa (2018)

Figura 36 – Armaduras expostas nas nervuras do tabuleiro em 2019



Fonte: Salles Neto (2020)

Algumas regiões do tabuleiro estavam marcadas com eflorescência, assim como mostra a figura 37

Figura 37 – Eflorescência na região das nervuras



Fonte: Sousa (2018)

7.2.1.2. Mesoestrutura

A mesoestrutura, composta pelos pilares, vigas de contraventamento e contenção, encontra-se com muitas aberturas, manchas e armaduras expostas, como mostram as figuras 38 a 40.

Figura 38 – Armaduras de contenção expostas



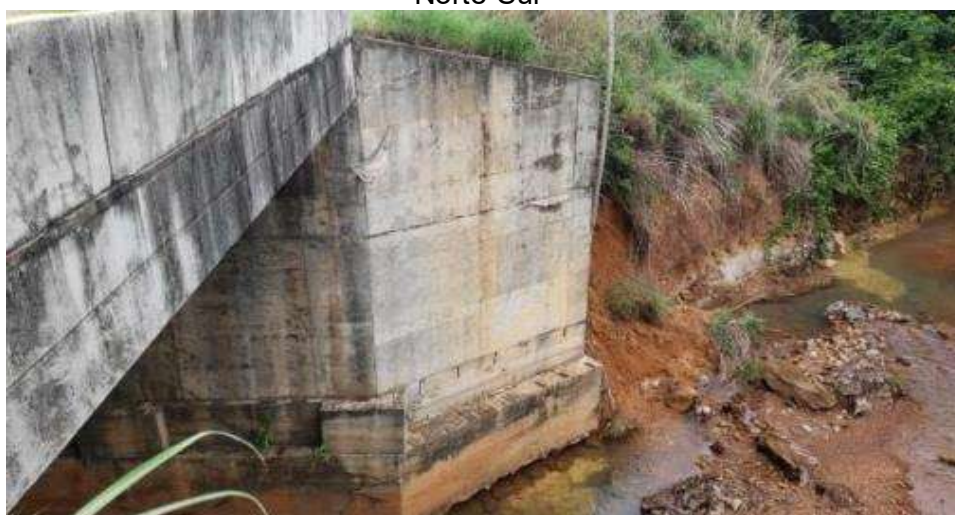
Fonte: Salles Neto (2019)

Figura 39 – Armadura de pilar exposta



Fonte: Salles Neto (2019)

Figura 40 – Manchas na parede de contenção e na viga principal. Pista no sentido Norte-Sul



Fonte: Sousa (2018)

7.2.1.3. Infraestrutura

A infraestrutura, composta por elementos de fundação, encontra-se com fissuras em alguns blocos de coroamento e também com descalçamento. As figuras 41 e 42 mostram com mais detalhes as manifestações mencionadas.

Figura 41 – Descalçamento da fundação



Fonte: Salles Neto (2019)

Figura 42 – Descalçamento da fundação da cabeceira sul



Fonte: Sousa (2018)

7.2.2. Exames complementares

Devido ao risco apresentado pelas pontes em questão, não foi possível a realização dos ensaios de esclerometria e termografia infravermelha. Contudo, por ser possível constatar a ruína em alguns elementos da ponte, pode-se afirmar que a qualidade do concreto se encontra em estado avançado de deterioração, ou seja, com qualidade inferior à esperada para o uso das obras de arte.

7.2.3. Diagnóstico

A etapa do diagnóstico, como mostrado no organograma de inspeção, envolve as atividades reconhecimento da origem e causa do problema patológico, bem como os mecanismos de deterioração. Como visto na etapa da sintomatologia, as pontes em questão apresentam descalçamento da fundação, deslocamento do maciço do aterro, erosão na pavimentação, rompimento do concreto, armaduras expostas, manchas e eflorescências.

7.2.3.1. Descalçamento da fundação

O descalçamento da fundação pode ser entendido como uma perda de parte do material suporte do elemento de fundação. Essa perda ocorre comumente por conta de erosão no leito do córrego após uma rápida cheia, onde parte do solo é solapado pela força das águas. Tal situação coloca em risco a estabilidade da ponte, pois a fundação como um todo é parte essencial para a distribuição dos esforços solicitantes ao solo.

7.2.3.2. Deslocamento do maciço do aterro

O deslocamento do maciço do aterro ocorre quando há perturbação no equilíbrio das solicitações existentes no solo, trazendo prejuízo à estrutura, a qual terá parte de seus elementos danificados, tais como os encontros e cabeceiras. O deslocamento pode ser causado por erosão, acarretando na cedência do maciço.

Segundo Sousa (2018), a ponte no sentido Sul-Norte sofreu um colapso no dia 3 de dezembro de 2018, quando, por conta do descalçamento da fundação, surgiram fissuras entre a cabeceira norte e a ala norte, fazendo com que a ala direita norte cedesse. Este colapso fez com que o maciço de aterro sucumbisse, provocando erosão no mesmo e na pista de rolamento.

7.2.3.3. Erosão na pavimentação

Como mencionado anteriormente, a erosão é um desgaste superficial classificado como um mecanismo de deterioração mecânico. A princípio, os prejuízos causados pela erosão na pavimentação são poucos, mas podem escalar rapidamente no caso de não haver manutenção na ponte, podendo surgir buracos que danificam os veículos e também concentração de água em pontos específicos em dias chuvosos.

7.2.3.4. Rompimento do concreto

O rompimento do concreto é extremamente prejudicial à estrutura pois compromete sua resistência e expõe as armaduras. O colapso se torna iminente pois o concreto perde uma parte de sua seção transversal. Vale ressaltar que o rompimento das cabeceiras das pontes por conta de fuga de material do aterro pode ter prejudicado os demais componentes das estruturas.

7.2.3.5. Exposição das armaduras

A exposição de armaduras é muito prejudicial a qualquer estrutura de concreto armado, pois a mesma fica sujeita a ataques de elementos químicos que podem causar sua deterioração, podendo acarretar posteriormente no colapso da estrutura, haja vista que as armaduras são elementos essenciais para garantia da resistência da estrutura aos esforços solicitados.

A exposição de armaduras pode acontecer devido ao deslaqueamento, rompimento ou fissuração do concreto, permitindo que elementos externos alcancem a

armadura e a deteriore. Nas pontes em questão, uma possível explicação para a exposição das armaduras é a infiltração de águas pluviais por meio de fissuras presentes no tabuleiro ou por falta de sistema eficiente de drenagem. É possível que a água tenha percolado a estrutura e iniciado um processo de corrosão, pelo qual a armadura pode ter se expandido e causado tensões de tração no concreto superiores ao suportado, acarretando em seu rompimento e perda de seção transversal.

É importante frisar que fissuras e armaduras expostas em pontes costumam ser comuns quando as espessuras mínimas de cobrimento do concreto para o ambiente da construção não são observadas corretamente. É comum em ambientes fluviais a presença de elementos que podem danificar o concreto e alcançar a armadura, deflagrando um processo de corrosão da armadura, ocasionando em degradação e deslaqueamento do concreto.

7.2.3.6. Manchas e eflorescências

As manchas mais comuns existentes nas estruturas são os bolores, limos e eflorescências. Embora não sejam a mesma coisa, todas têm um ponto em comum: a necessidade de água para sua manifestação.

O bolor é classificado como um mecanismo biológico de deterioração, trazendo danos estéticos à estrutura. Seu surgimento está condicionado à presença de umidade, à temperatura do ambiente, à insuficiência de ventilação, à permeabilidade do concreto à umidade exterior, e também à composição química do substrato.

O limo também é um mecanismo de deterioração biológico, contudo, diferente do bolor, além de trazer prejuízo estético traz também prejuízo estrutural, pois o ele tem a capacidade de se alimentar de componentes do material base.

As eflorescências são manchas esbranquiçadas que surgem pela lixiviação do hidróxido de cálcio, que, quando em contato com o CO_2 da atmosfera, forma uma crosta esbranquiçada de carbonato de cálcio, trazendo prejuízo tanto estético quanto estrutural (SALLES NETO, 2016). O processo de lixiviação nas pontes em questão pode ter sido iniciado pela percolação de águas pluviais por meio de aberturas no tabuleiro, havendo assim manchas esbranquiçadas na região das nervuras.

7.2.4. Intervenção

A etapa da intervenção consiste no prognóstico, onde será mostrada a evolução dos problemas patológicos caso os mesmos não sejam tratados, e também na terapia, onde serão apontadas as boas práticas da construção para se lidar com as manifestações patológicas apresentadas.

Como mencionado anteriormente as pontes em questão se encontram interditas pelo poder público desde 2020. Diante disso, o presente trabalho, por meio do registro fotográfico, mostra um pouco da evolução do problema, onde pode-se constatar uma maior fuga de material do aterro, causando um desmoronamento de proporções maiores que os iniciais, um agravamento no descalçamento das fundações, um aumento nas manchas e eflorescência, maior exposição das armaduras devido ao processo de corrosão e deslaqueamento do concreto, e rompimento gradativo do concreto das pontes. Todos esses problemas patológicos têm o potencial de causar o colapso total das pontes.

No que diz respeito ao reparo das pontes, uma das formas de iniciar esse processo seria através do reforço dos elementos de fundação, haja vista que o rompimento das cabeceiras se deu por conta do solapamento do concreto da fundação. Para tanto, seria necessário primeiramente desenvolver um projeto de reforço que preveja a possibilidade de cheias, para que não ocorra mais erosão no leito do córrego que seja prejudicial à estrutura.

Após o reforço da fundação, seria necessário lidar com o concreto rompido e as armaduras expostas. Para tanto, seria necessário determinar a profundidade da frente de carbonatação e também de corrosão por íons cloreto, remover a parte afetada, e proceder a uma nova concretagem com reforço das armaduras na região.

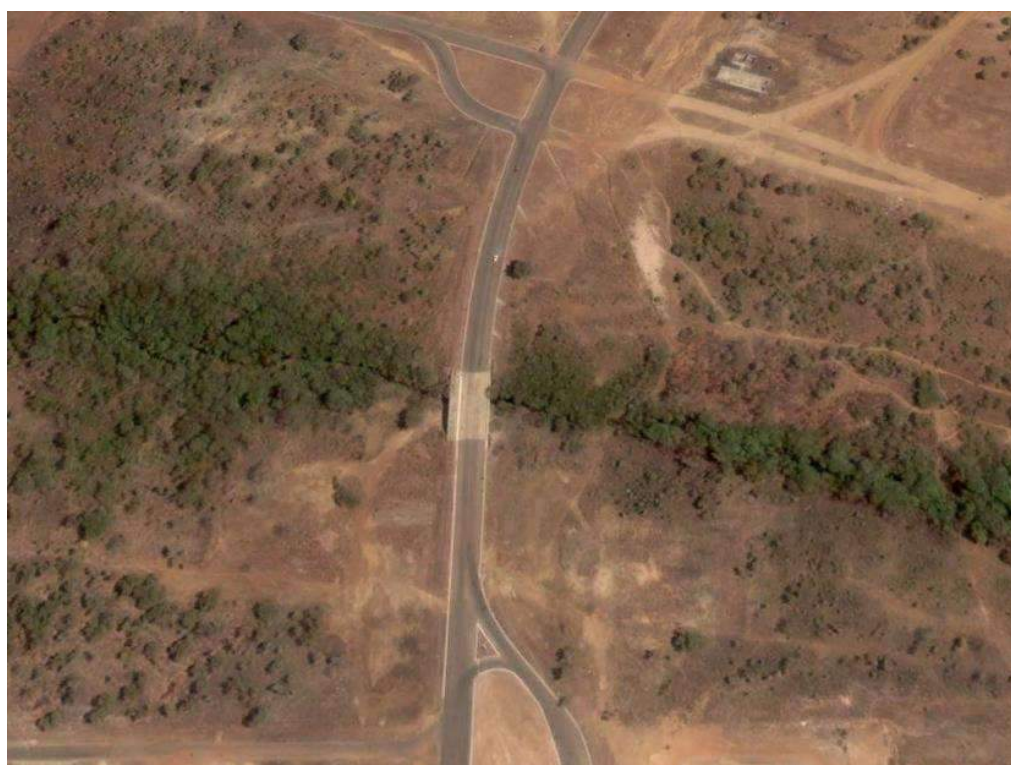
Em seguida, seria necessário realizar o reaterro da região onde houve deslocamento de material com o objetivo de assegurar as devidas interações no solo, mantendo-o estável para não haver futuros deslocamentos.

Por fim, seria necessário averiguar o sistema de drenagem para que não houvesse acúmulo de água em uma região específica que pudesse percolar o tabuleiro e entrar em contato com a armadura.

7.3. Pontes da Avenida Teotônio Segurado, sobre o córrego Sussuapara

As pontes que serão agora analisadas foram executadas em concreto armado e estão situadas na avenida Teotônio Segurado, próximas aos Correios e à estação Apinajé. Estas duas pontes eram apenas uma até o ano de 2016, quando houve o término do projeto de duplicação de via iniciado no ano anterior. Até então, havia apenas a ponte que hoje é responsável pelo sentido norte-sul do tráfego (figuras 43 e 44).

Figura 43 – Ponte da Avenida Teotônio Segurado, sobre o córrego Sussuapara em



setembro de 2002

Fonte: Google Earth (2002)

Figura 44 – Pontes da Avenida Teotônio Segurado, sobre o córrego Sussuapara em 2021



Fonte: Salles Neto (2021)

7.3.1. Sintomatologia

As obras de arte em questão foram inspecionadas presencialmente por meio de esclerômetro e fissurômetro nas partes onde tais ações eram possíveis. Estas pontes encontram-se em uso sem apresentar manifestações patológicas alarmantes. Contudo, devido à falta de manutenção, é possível encontrar algumas aberturas que podem se tornar um veículo para a degradação das estruturas de concreto armado.

Por meio de inspeção visual, pode-se constatar a formação de degraus nas cabeceiras dos tabuleiros, exposição de material polimérico em juntas de dilatação, regiões do guarda-corpo danificadas, presença de vegetação ao longo da região do passeio, deslaqueamento de concreto e armaduras expostas na região inferior ao tabuleiro e descalçamento da fundação.

Um trabalho anterior realizado por Sousa (2018), constatou que, naquele ano, o aterro da cabeceira norte apresentava fuga de material e que a pista de rolamento próxima à cabeceira norte continha fissuras e degrau. Contudo, a maior parte das estruturas das pontes se encontrava preservada.

7.3.1.1. Superestrutura

Começando pela região do passeio, é possível notar alguns efeitos da negligência de manutenção: presença de vegetação, perda do calçamento em alguns pontos específicos e danos ao guarda-corpo, conforme mostram as figuras 45 a 47.

Figura 45 – Presença de vegetação em passeio (sentido norte-sul)



Fonte: Autor (2021)

Figura 46 – Ausência de calçamento em passeio (sentido norte-sul)



Fonte: Autor (2021)

Figura 47 – Guarda-corpo danificado (sentido sul-norte)



Fonte: Autor (2021)

Enquanto isso, no tabuleiro das pontes, foi possível detectar a existência de degraus e aberturas (figuras 48 e 49), sendo que uma destas possibilitava a exposição do material polimérico da junta de dilatação (figura 50).

Figura 48 – Degrau no tabuleiro (sentido sul-norte)



Fonte: Autor (2021)

Figura 49 – Pequeno degrau no tabuleiro (sentido norte-sul)



Fonte: Autor (2021)

Figura 50 – Esborcinamento (sentido sul-norte)



Fonte: Autor (2021)

Na parte inferior ao tabuleiro, foi possível armaduras expostas, manchas e limo, e rompimento do concreto, conforme mostram as figuras 51 a 53.

Figura 51 – Armadura exposta na superfície inferior do tabuleiro, sentido sul-norte



Fonte: Autor (2021)

Figura 52 – Formação de limo na superfície inferior do tabuleiro, sentido sul-norte



Fonte: Autor (2021)

Figura 53 – Rompimento do concreto ao longo da seção longitudinal da armadura, sentido sul-norte



Fonte: Autor (2021)

7.3.1.2. Mesoestrutura

A mesoestrutura (pilares e parede de contenção) se encontra bem preservada, apresentando apenas sinais de deslocamento de material do aterro na região próxima da parede de contenção sul, sentido norte-sul.

As figuras 54 a 57 fazem parte da vistoria presencial.

Figura 54 – Pilares da mesoestrutura, sentido sul-norte



Fonte: Autor (2021)

Figura 55 – Parede de contenção norte, sentido sul-norte



Fonte: Autor (2021)

Figura 56 – Viga de travamento norte, sentido norte-sul



Fonte: Autor (2021)

Figura 57 – Longarina oeste, sentido norte-sul



Fonte: Autor (2021)

7.3.1.3. Infraestrutura

A infraestrutura da ponte no sentido norte-sul, como se pode ver pelas fotos acima, não é de fácil visualização como a da ponte no sentido sul-norte. Portanto, não foi possível realizar um registro fotográfico ou uma vistoria presencial no sentido norte-sul, apenas na ponte do sentido sul-norte.

A vistoria presencial na ponte do sentido sul-norte revelou a existência de descalçamento abaixo do bloco de coroamento da fundação e fissuras e limo nas vigas de travamento, como pode ser visto pelas figuras 58 a 61.

Figura 58 – Descalçamento do bloco de coroamento, sentido sul-norte



Fonte: Autor (2021)

Figura 59 – Descalçamento do bloco de coroamento do pilar direito, sentido sul-norte



Fonte: Autor (2021)

Figura 60 – Fissuras na viga de travamento, sentido sul-norte



Fonte: Autor (2021)

Figura 61 – Fissuras e limo na viga de travamento, sentido sul-norte



Fonte: Autor (2021)

7.3.2. Exames complementares

Foram realizados os ensaios de fissurometria na pista de rolamento em ambas as pontes e o de esclerometria na parede de contenção e na viga de travamento dos blocos de coroamento da ponte no sentido sul-norte.

7.3.2.1. Ensaio de fissurometria

O ensaio de fissurometria foi realizado com um fissurômetro com amplitude máxima de 3 mm. Para facilitar na compreensão do tamanho das aberturas, foi utilizada uma caneta de 14 cm de comprimento juntamente com o fissurômetro no registro fotográfico, como mostram as figuras 62 a 66.

Figura 62 – Ensaio de fissurometria na pista de rolamento, cabeceira sul, sentido sul-norte, abertura superior a 3 mm



Fonte: Autor (2021)

Figura 63 – Ensaio de fissurometria na junta de dilatação da pista de rolamento, sentido sul-norte, abertura superior a 3 mm



Fonte: Autor (2021)

Figura 64 – Ensaio de fissurometria na pista de rolamento, cabeceira norte, sentido sul-norte, abertura superior a 3 mm



Fonte: Autor (2021)

Figura 65 – Ensaio de fissurometria na pista de rolamento, cabeceira norte, sentido norte-sul, abertura de 1,6 mm



Fonte: Autor (2021)

Figura 66 – Ensaio de esclerometria na pista de rolamento, cabeceira sul, sentido norte-sul, abertura de 2,3 mm



Fonte: Autor (2021)

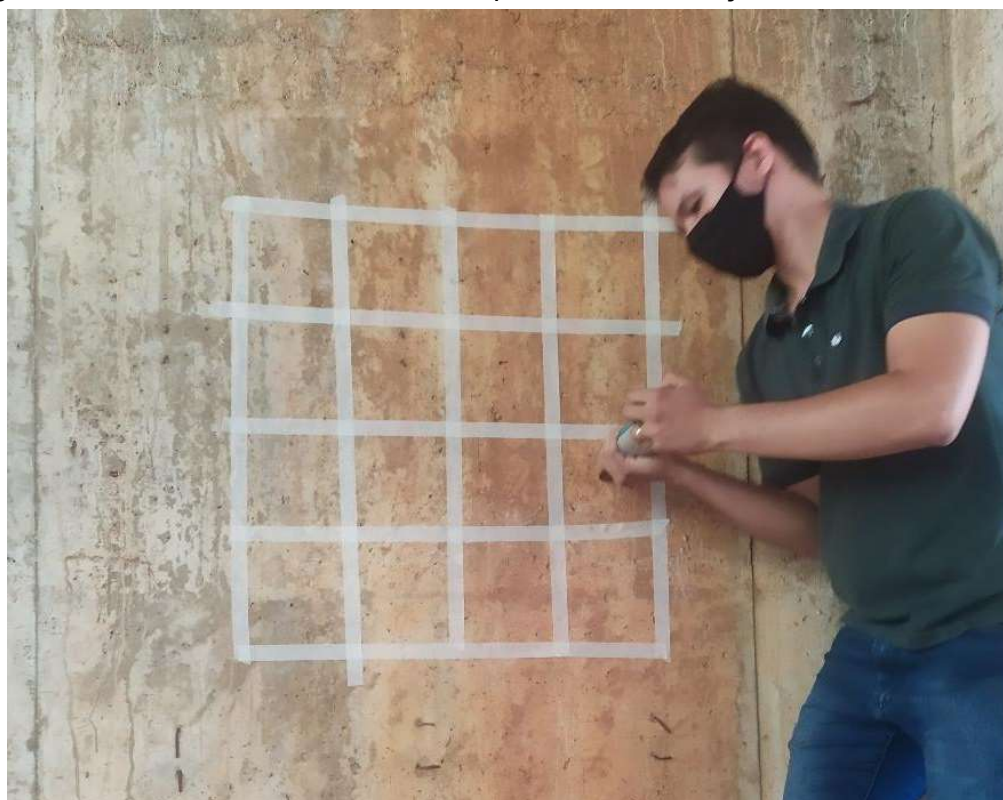
7.3.2.2. Ensaio de esclerometria

O ensaio de esclerometria foi realizado com o objetivo de averiguar a dureza superficial do concreto. Ele foi realizado com 16 golpes em uma área mínima de 400 cm², distando 5 cm dos cantos e arestas dos elementos estruturais, conforme estabelece a NBR 7854:2012. Após a realização do ensaio, calculou-se índice esclerométrico efetivo (I_{Ee}) por meio do produto entre o coeficiente de correção do esclerômetro (k) e o índice esclerométrico médio (I_E), conforme a fórmula (i):

$$i) \quad I_{Ee} = k \cdot I_E$$

A figura 67 é um registro fotográfico que mostra como os ensaios foram realizados.

Figura 67 – Ensaio de esclerometria na parede de contenção sul, sentido sul-norte



Fonte: Autor (2021)

O quadro 7 mostra os índices esclerométricos e a dureza superficiais dos elementos analisados das pontes.

Quadro 7 - Índices esclerométricos e dureza superficial dos elementos analisados nas pontes da Avenida Teotônio Segurado, sobre a o córrego Sussuapara

	Elemento	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	Dureza superficial (Mpa)
Sul-norte	Parede de contenção sul (Esclerometria 1)	68,5	69,5	73,5	60	61,5	64	69	58,5	68	55,5	65	53,5	72,5	70,5	63,5	66	52,5
	Viga de travamento (Esclerometria 2)	63,5	58,5	56,5	57	56	51	55	56,5	51,5	58	55,5	56	51	55	49,5	56	31,4
	Bloco de coroamento, pilar direito (Esclerometria 3)	65,5	63	64	62,5	58	60,5	66,5	58,5	67,5	67,5	61,5	68,5	68	65	62,5	68	48,3
	Bloco de coroamento, pilar central (Esclerometria 4)	59	70	66	64,5	60,5	54	58	63	54	60	62	62	62,5	58	68,5	59	42,3
	Parede de contenção norte (Esclerometria 5)	49	48	54	53	52,5	59	66,5	50	51	58	61	55	62	64	64,5	65	32,4
Norte-sul	Longarina oeste (Esclerometria 6)	53	57	56	53	52	51,5	53	54	53	58,5	59	55	55	48,5	53	49	29,6
	Parede de contenção sul (Esclerometria 7)	55	52	52,5	52	54,5	56	52,5	62	58,5	54,5	58,5	52,5	56,5	55,5	54,5	53,5	30,4

Fonte: Autor (2021)

7.3.3. Diagnóstico

Através da vistoria presencial e dos exames complementares foi possível chegar a alguns pareceres sobre a situação das pontes em questão. Primeiramente, como um ensaio de fissuometria foi realizado nas pontes para verificação da magnitude das aberturas, é necessário utilizar algum parâmetro para classificação das mesmas. Em segundo lugar, os ensaios de esclerometria forneceram dados que mostram a dureza superficial juntamente com a resistência à compressão do concreto nas regiões analisadas.

7.3.3.1. Fendas

O termo fissura não é o único existente para falar sobre aberturas no estudo da patologia das construções. Termos como trincas, rachaduras e fendas também são utilizados para se referir às aberturas que surgem por conta de alguma anormalidade na estrutura.

De acordo com o Frazão (2020), a diferença entre um termo e outro se encontra em sua amplitude. Entretanto, é necessário compreender que não há consenso no limite de amplitude para que uma abertura seja considerada uma fissura, trinca, rachadura, fenda, ou ainda brecha.

Segundo a Norma ABNT NBR 9575 (2003), uma fissura é classificada como uma abertura inferior ou igual a 0,5 mm causada pela ruptura de um material ou componente, enquanto uma trinca possui um limite que varia entre aberturas de 0,5 mm a 1,0 mm. É fácil observar que, de acordo com a Norma, aberturas com amplitude superiores a 1,0 mm não possuem termos específicos para serem classificadas.

Entretanto, a Norma ABNT NBR 13755 (2017), determinou que uma trinca não estava limitada a amplitudes até 1,0 mm, mas que era, na verdade, uma expressão coloquial utilizada para se referir a fissuras com amplitudes superiores a 0,6 mm. Portanto, diferindo da NBR 9575, as fissuras agora possuíam limite superior de 0,6 mm, enquanto o termo trinca poderia ser utilizado para aberturas com amplitude superior a 1,0 mm.

O Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia de São Paulo (IBAPE-SP) e sua correspondente em Minas Gerais (IBAPE-MG) adotam os termos previamente mencionados para classificação de aberturas. Contudo, vale ressaltar que nem mesmo essas duas instituições entram em consenso a respeito das amplitudes de abertura para cada termo utilizado, como é possível observar no quadro 8:

Quadro 8 – Classificação das aberturas de acordo com o IBAPE-MG e IBAPE-SP

Termo	Amplitude de abertura (IBAPE-MG)	Amplitude de abertura (IBAPE-SP)
Fissura	Até 0,5 mm	Até 0,5 mm
Trinca	0,5 mm a 1,5 mm	0,5 mm a 1,0 mm
Rachadura	1,5 mm a 5,0 mm	1,0 mm a 1,5 mm
Fenda	5,0 mm a 10,0 mm	Acima de 1,5 mm
Brecha	Acima de 10,0 mm	

Fonte: Adaptado de Frazão (2020)

Diante do exposto, nota-se que, utilizando os intervalos adotados pelo IBAPE-SP, as aberturas presentes nas pistas de rolamento em ambos os sentidos podem ser classificadas como fendas, enquanto aquelas encontradas nas vigas de travamento podem ser classificadas como trincas por possuírem amplitude inferior a 1,0 mm.

As fendas encontradas nas cabeceiras das pontes podem ter sido causadas por uma fuga de material do aterro, causando um desnível no solo que acarreta no surgimento de um degrau. Por outro lado, as fissuras encontradas nas vigas de travamento têm um aspecto muito semelhante àqueles encontrados onde há nicho de concretagem.

É importante lembrar que em uma das fendas o elastômero, material polimérico colocado nas juntas de dilatação, está exposto e sujeito a deterioração. Isso pode ter acontecido porque, segundo Andrade (2019), pode ter havido uma má interação entre o pavimento de asfalto, a laje, o berço de concreto, o lábio polimérico e o elastômero, fazendo com o constate tráfego sobre a ponte, associado à fadiga, tenha gerado um esforço de tração maior do que o sistema consegue resistir, havendo a deterioração da junta.

7.3.3.2. Armaduras expostas e rompimento de concreto

As armaduras expostas e o concreto rompido ao longo da armadura da nervura podem ter sido causadas pelo mesmo mecanismo de deterioração. É possível que devido ao surgimento dos degraus, uma boa quantidade de águas pluviais tenha percolado a estrutura do tabuleiro e entrado em contato com as armaduras, deflagrando um processo de corrosão que aumentou a seção transversal da armadura, gerando tensões de tração no concreto superiores às que ele pudesse suportar. Portanto, a origem de ambos os

problemas seria a infiltração, a qual possibilitou o contato da armadura com agentes patológicos.

7.3.3.3. Manchas e formação de limo

A explicação que se pode dar para o surgimento de manchas e formação de limo em algumas regiões da ponte é que por conta da falta de manutenção, associada ao fato de que a ponte está em uma região de muita umidade e com aberturas em sua estrutura, criou-se um ambiente ideal para a proliferação dessas algas.

7.3.3.4. Descalçamento da fundação

A explicação para o descalçamento da fundação na ponte em questão pode ser a mesma utilizada no caso das pontes entre as antigas 203 e 303 norte, onde uma possível cheia pode ter causado erosão no leito do córrego, solapando parte do concreto do bloco de coroamento.

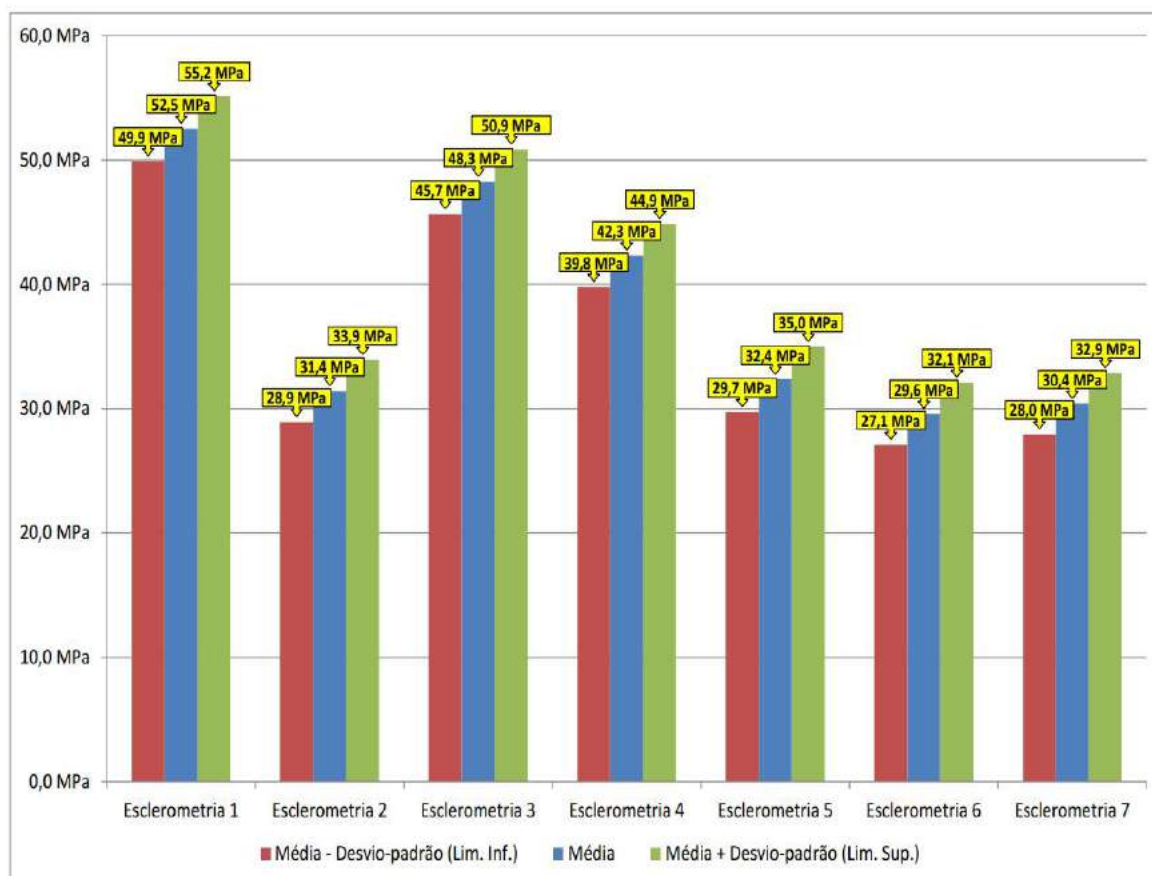
7.3.3.5. Vegetação no passeio

O passeio é uma parte importante da ponte destinada ao uso dos pedestres. A falta de placas de pavimentação ou calçamento traz prejuízo estético à ponte e pode também acarretar em acidente de transeuntes. A presença de vegetação no passeio indica a falta de manutenção da ponte, o que permite o surgimento de um ambiente favorável para a proliferação da vegetação.

7.3.3.6. Dureza superficial do concreto e resistência à compressão equivalente

Através dos ensaios de esclerometria, foi possível relacionar a dureza superficial do concreto com sua resistência à compressão equivalente. A figura 68 mostra as resistências à compressão de cada área analisada nos ensaios, dentro de seus limites inferiores, superiores e seus valores médios.

Figura 68– Resistência à compressão equivalente das áreas ensaiadas com esclerômetro nas pontes da Avenida Teotônio Segurado, sobre o córrego Sussuapara



Fonte: Autor (2021)

7.3.4. Intervenção

Caso nada seja feito em relação aos mecanismos de deterioração descritos acima, pode-se esperar uma evolução das manifestações patológicas nas pontes, a ponto de chegar a ser necessária sua interdição. Diante disso, serão expostos tanto o prognóstico quanto a terapia de cada problema patológico registrado nas pontes em questão.

Quando o processo de corrosão das armaduras segue sem ser reparado há a perda de muito volume de concreto e também de partes da armadura, diminuindo consideravelmente a resistência da estrutura, tornando-a inutilizável. Diante disso, deve-

se proceder à solução deste problema, que, conforme explicitado mais acima, pode ter relação com as aberturas existentes no tabuleiro. Tais aberturas podem ter surgido por conta de uma fuga do material do aterro, causada pela instabilidade provocada pelo descalçamento da fundação. Portanto, o reparo da fundação é essencial na solução dos demais problemas expostos acima.

Para realizar o reparo da fundação, será necessário escorar a ponte e reforçar o elemento de fundação. Após isso, pode-se proceder à remoção e reforço das regiões de concreto e armadura destruídas pelo processo de corrosão, para depois então proceder ao fechamento dos degraus nas cabeceiras das pontes. Algo importante a se lembrar é que a região do elastômero, que se encontra danificada, deverá ser devidamente analisada para verificação da interação entre os elementos do sistema e se eles foram executados da forma correta para alcançar a resistência mínima necessária.

Por fim, é necessário também reparar as regiões do passeio, onde há vegetação e partes do guarda-corpo danificadas. A vegetação deve ser retirada rapidamente pois as raízes das plantas podem danificar as placas de concreto do passeio bem como o guarda-corpo. Após a remoção, deve-se aplicar solução de vinagre e sal para esterilizar a região, impedito um novo surgimento de vegetação. Contudo, deve-se observar um período de manutenção, pois o abandono das pontes resultará novamente na criação de um ambiente ideal para o surgimento de algas e plantas.

7.4. Pontes da Avenida JK, sobre o córrego Brejo Comprido

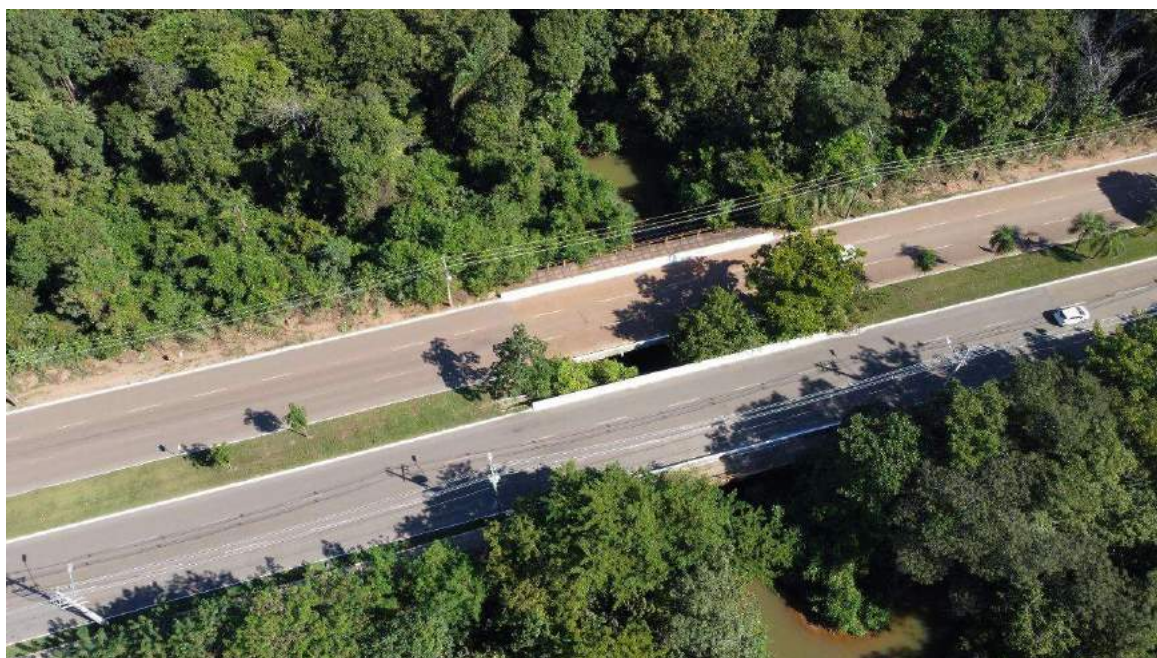
As pontes próximas ao Capim Dourado Shopping foram executadas em concreto armado antes do ano de 2002 (figura 69) e, até o momento da presente pesquisa, não há relatos de qualquer interdição realizada por conta de manifestações patológicas (figura 70). Essas pontes estão situadas sobre o córrego Brejo Comprido e possibilitam o acesso da população a pontos de muita importância para a capital, tais como as Universidades Federal e Estadual do Tocantins, bem como ao shopping Capim Dourado, maior centro de compras da capital.

Figura 69 – Pontes da Avenida JK, sobre o córrego Brejo Comprido em 2002



Fonte: Google Earth (2002)

Figura 70 – Pontes da Avenida JK, sobre o córrego Brejo Comprido em 2021



Fonte: Salles Neto (2021)

Assim como as outras pontes analisadas neste trabalho, estas pontes sofrem com o problema de falta de manutenção, fazendo com que problemas patológicos pequenos progridam ao longo do tempo e se tornem mais custosos para a Prefeitura do Município, tais como a corrosão de armaduras, rompimento de concreto surgimento de degraus e etc..

É importante mencionar que não foi possível realizar qualquer estudo na infraestrutura das pontes em questão pois as mesmas não possuem nenhum elemento de fundação que seja acessível ao público.

7.4.1. Sintomatologia

O estudo da sintomatologia nas pontes em questão foi feito por meio de vistoria, ensaios de fissurometria, ensaios de esclerometria e também por termografia infravermelha. As primeiras impressões que a ponte passa é que ela não apresenta problema grave quanto seu uso, porém é possível constatar na superestrutura, nas regiões do tabuleiro e nas regiões de passeio, que a ponte se encontra sem manutenção devida.

Nas regiões de passeio, algumas placas de concreto encontram-se danificadas e é possível ver o aprofundamento de degraus nas cabeceiras sul e norte de ambas as pontes, oferecendo perigo tanto para pedestres quanto para motoristas.

De acordo com uma pesquisa realizada por Sousa em 2018, naquele ano as pontes apresentavam eflorescências de depósitos salinos, manchas, fissuras no encaixe das placas dos tabuleiros, deslocamento do maciço de aterro, rompimento do concreto, armaduras expostas e alta suscetibilidade a empossamentos.

7.4.1.1. Superestrutura

Como falado logo acima, a região do passeio encontra-se muito suscetível a empossamentos devido à destruição de algumas placas de concreto como mostra a figura 71

Figura 71 – Região do passeio danificada, sentido oeste-leste



Fonte: Autor (2021)

Na pista de rolamento no sentido oeste-leste, é possível encontrar imperfeições que podem ser caracterizadas como desgaste superficial, como mostra a figura 72.

Figura 72 – Desgaste superficial na pista de rolamento, sentido leste-oeste



Fonte: Autor (2021)

As pistas de rolamento também apresentam formação de degraus em suas cabeceiras, como mostram as figuras 73 e 74.

Figura 73 – Degrau na cabeceira leste da ponte, sentido oeste-leste



Fonte: Autor (2021)

Figura 74 – Degrau na cabeceira oeste da ponte, sentido oeste-leste



Fonte: Autor (2021)

As figuras 75 a 77 mostram a formação de limo e a presença de eflorescência.

Figura 75 – Formação de limo e eflorescência na superfície inferior do passeio, sentido leste-oeste



Fonte: Autor (2021)

Figura 76 – Eflorescência na região inferior do tabuleiro, sentido leste-oeste



Fonte: Autor (2021)

Figura 77 – Eflorescência perto do sistema de drenagem, sentido leste-oeste



Fonte: Autor (2021)

As figuras 78 e 79 mostram vergalhões expostos por conta de rompimento de concreto.

Figura 78 – Armaduras expostas na longarina, sentido leste-oeste



Fonte: Autor (2021)

Figura 79 – Vergalhão exposto na longarina, sentido leste-oeste



Fonte: Autor (2021)

7.4.1.2. Mesoestrutura

A mesoestrutura, composta pelos materiais de apoio, vigas de travamento e pilares se encontra bem preservada, apresentando apenas sinais de desgaste na região entre o material de apoio e os pilares, como mostram as figuras 80 e 81 abaixo.

Figura 80 – Desgaste na região entre material de apoio e pilar direito, sentido leste-oeste



Fonte: Autor (2021)

Figura 81 – Desgaste na região entre material de apoio e pilar esquerdo, sentido oeste-leste



Fonte: Autor (2021)

7.4.2. Exames complementares

Foram realizados ensaios de fissurometria, termografia infravermelha e esclerometria para melhor diagnóstico dos problemas patológicos encontrados.

7.4.2.1. Ensaio de fissurometria

Para realização deste ensaio, foi utilizado um fissurômetro de abertura máxima de 3 mm, e, como discutido anteriormente, fissuras com amplitude superior a 1,5 mm serão chamadas de fendas, conforme especifica o IBAPE-SP. As figuras 82 a 85 mostram o ensaio de fissurometria realizado nas pistas de rolamento de ambas as pontes.

Figura 82 – Fenda de 3,0 mm em degrau na cabeceira leste, sentido leste-oeste



Fonte: Autor (2021)

Figura 83 – Fenda superior a 3,0 mm em degrau na cabeceira oeste, sentido leste-oeste



oeste

Fonte: Autor (2021)

Figura 84 – Fenda de 2,0 mm em degrau na cabeceira oeste, sentido oeste-leste



Fonte: Autor (2021)

Figura 85 – Fenda superior a 3,0 mm em degrau na cabeceira leste, sentido oeste-leste

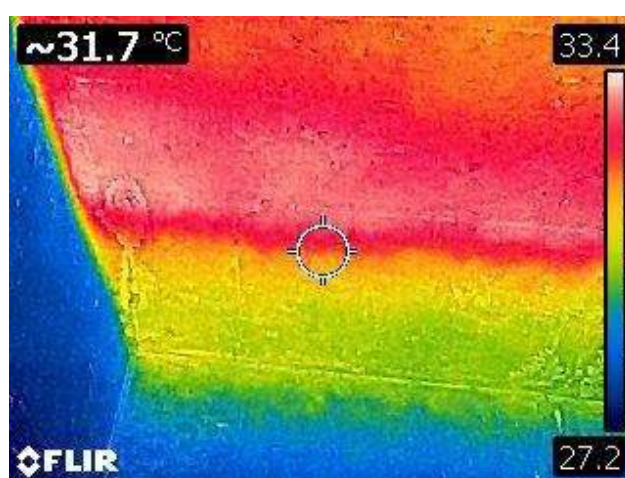


Fonte: Autor (2021)

7.4.2.2. Termografia infravermelha

O ensaio de termografia infravermelha serve para detecção de problemas patológicos invisíveis a olho nu. As figuras 86 e 87 mostram o ensaio realizado na região inferior do tabuleiro da ponte no sentido leste-oeste.

Figura 86 – Temperatura de 31.7°C em superfície inferior do tabuleiro, sentido leste-oeste



Fonte: Autor (2021)

Figura 87 – Temperatura de 27.6°C em superfície inferior do tabuleiro, região central, sentido leste-oeste



Fonte: Autor (2021)

7.4.2.3. Ensaio de esclerometria

O ensaio de esclerometria foi realizado apenas nas vigas de travamento da mesoestrutura pois eram as únicas estruturas com seções retangulares que permitiam fácil acesso ao público.

A seguir, serão colocadas tabelas para indicar os valores obtidos durante o ensaio. Com estes valores será calculada a dureza superficial do concreto com o intuito de encontrar a resistência à compressão equivalente.

A figura 88 é um registro fotográfico que mostra como as informações foram coletadas.

Figura 88 – Ensaio de esclerometria em viga de travamento dos pilares leste, sentido leste-oeste



Fonte: Autor (2021)

O quadro 9 contém os índices esclerométricos juntamente com a dureza superficial dos elementos analisados.

Quadro 9 - Índices esclerométricos e dureza superficial dos elementos analisados nas pontes da avenida Teotônio Segurado, sobre o córrego Brejo Comprido

	Elemento	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	Dureza superficial (Mpa)
Leste-oeste	Longarina norte (Esclerometria 1)	64,1	66,5	71,5	70	65	72,5	67,5	65,5	62	68,5	68	70	68	65,5	63,5	72	56,6
	Viga de travamento leste (Esclerometria 2)	66,5	75	65	64	64	66	63,5	70,5	60	62,5	62	67	65	71,5	66,5	57	50,9
	Viga de travamento oeste (Esclerometria 3)	64,5	63,5	67	66,5	69	48,5	67	73	69	67,5	68,5	68,5	54,5	63,5	66	58	54,5
Oeste-leste	Longarina norte (Esclerometria 4)	54,5	57	63,5	57	57	49,5	55	55	58	54,5	67	63	65	52	63	55,5	35,4
	Viga de travamento leste (Esclerometria 5)	73,5	68,5	67,5	71	68	74,5	68	67	70	65,5	64	69,5	75	76	66,5	70,5	62,8
	Viga de travamento oeste (Esclerometria 6)	76	73,5	73	65,5	73,5	78	74	75	74	66	72,5	70,5	71	70	63	64	71,3

7.4.3. Diagnóstico

Através da vistoria e dos ensaios realizados, pode-se constatar que muitas das patologias podem ter sido causadas pela infiltração de águas pluviais nas estruturas de concreto armado, algo que ocorre com muita facilidade quando se há problemas com o sistema de drenagem e muitas aberturas, deixando as armaduras e o concreto suscetíveis a ataques de agentes patológicos. Diante disso, serão listadas a seguir os diagnósticos obtidos através da realização dos ensaios expostos logo acima.

7.4.3.1. Degrau e deslocamento do maciço de aterro

Através do ensaio de fissuometria foi possível constatar a existência de degraus com aberturas superiores a 3,0 mm. De acordo com Souza (2018), a formação desses

degraus deu-se por conta de deslocamento do maciço de aterro, que pode ter sido causado por um possível carreamento do solo provocado por infiltração de águas pluviais.

7.4.3.2. Desgaste superficial por abrasão

Uma das possíveis explicações para a existência de regiões com desgaste superficial por abrasão no tabuleiro é que a pavimentação utilizada tenha resistência à abrasão inferior à necessária para o comportar o tráfego das pontes em questão. Outra possível explicação é que devido à falta de um recapeamento regular, a pavimentação, por mais que tenha sido executada de acordo com a necessidade do ambiente, acabe não resistindo ao atrito constante causado pelos veículos.

7.4.3.3. Exposição e corrosão das armaduras

Os casos de exposição e corrosão das armaduras podem ter ocorrido por conta de infiltração águas pluviais, facilitada pela existência de regiões onde há falta de placas de concreto, regiões danificadas por conta de desgaste por abrasão, e também pela existência de fendas no tabuleiro. As duas primeiras situações possibilitam o empossamento da água da chuva, a qual acaba percolando o tabuleiro e alcançando a região das armaduras, enquanto a terceira situação permite que mais rapidamente a água entre em contato com as armaduras, deflagrando um processo de corrosão no qual a armadura gera tensões de tração superiores às do concreto, fazendo com que este seja rompido e exponha as armaduras.

7.4.3.4. Eflorescências, manchas e limo

As eflorescências, manchas e limo encontrados nas pontes em questão foram causadas por infiltrações de água pluviais. Outro fator agravante é que como as pontes em questão encontram-se em áreas fluviais, o teor de umidade do ambiente é muito grande, e pode-se associar a isso também a existência de muitas zonas sombreadas, criando um ambiente ideal para a proliferação das patogenicias mencionadas.

7.4.3.5. Movimentações térmicas

A região inferior do tabuleiro da ponte no sentido leste-oeste apresentou uma temperatura acima do normal comparada às outras regiões. Com uma temperatura superior a 31°C, a ponte dá indícios de que há movimentações térmicas acontecendo naquela região específica, causando uma certa instabilidade nos esforços resistidos pela estrutura que ainda não são aparentes, pois puderam ser detectados apenas por termografia infravermelha.

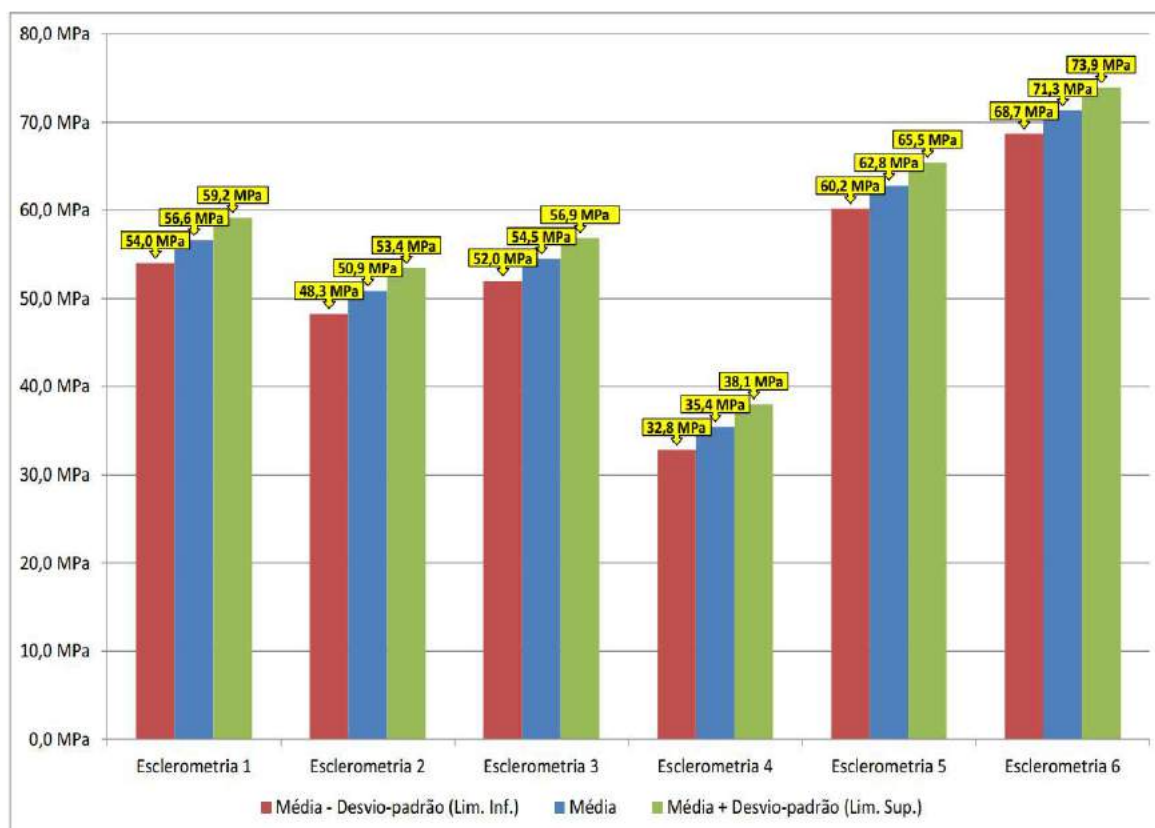
7.4.3.6. Falta de placas no passeio

A falta de placas no passeio é explicada pela falta de manutenção regular. O que acontece é que com o passar do tempo, associado às questões climáticas, as placas acabam perdendo parte de seu desempenho, podendo ser facilmente removidas. Quando isso acontece, cria-se uma região ideal para o empossamento da água da chuva e proliferação de vegetação.

7.4.3.7. Dureza superficial do concreto e resistência à compressão equivalente

Por meio dos ensaios esclerométricos foi possível determinar a resistência à compressão equivalente das áreas ensaiadas. A figura 89 mostra os valores da resistência à compressão em seus valores médios e limites superior e inferior.

Figura 89 – Resistência à compressão das áreas ensaiadas com esclerômetro nas pontes da Avenida JK, sobre o córrego Brejo Comprido



Fonte: Autor (2021)

7.4.4. Intervenção

Através das etapas anteriores, pode-se perceber o quão prejudicial é a falta de manutenção regular em pontes: um pequeno problema se torna o veículo para a existência de um outro maior.

A expectativa é que caso a ponte continue sem manutenção adequada, os problemas existentes no tempo desta pesquisa se agravem de tal forma que possam acarretar na completa interdição da estrutura, pois, como mostrado neste estudo e em anteriores, o deslocamento do material de aterro, causado por carreamento do solo, fará com que a proporção das aberturas dos degraus aumente de tal forma que será impossível a passagem de veículos futuramente.

Além disso, com a ampliação das aberturas dos degraus, mais água da chuva terá acesso às estruturas interiores das pontes, provocando mais corrosão nas armaduras e consequentemente mais rompimento de concreto. Deve-se adicionar a isso o fato de que as eflorescências e o limo têm prejudicado a estrutura por estarem danificando seu material base, reduzindo lentamente o volume de concreto na estrutura.

Em relação ao desgaste superficial na ponte no sentido leste-oeste, é importante lembrar que uma pavimentação danificada prejudica não apenas na frenagem, mas também no controle do veículo durante a condução. Tal situação pode facilmente causar um acidente, que, por conta do ambiente circundante, pode se tornar fatal.

Diante do que foi exposto acima, é necessário que além de reparos, seja elaborado um plano regular de manutenção para as pontes em questão. O primeiro reparo que deve ser feito está relacionado ao carreamento do solo, pois qualquer instabilidade gerada nele causará mudanças nos esforços sobre as estruturas da ponte, causando diversos tipos de manifestações patológicas. Portanto, deve-se garantir que o solo permanecerá dentro das condições de uso estabelecidas em projeto.

O segundo reparo a ser feito diz respeito às situações que permitem o empossamento de águas pluviais: a falta de placas de concreto no passeio, o desgaste superficial no tabuleiro e a falha no sistema de drenagem. Há a possibilidade de o sistema de drenagem se encontrar danificado ou ter sido subdimensionado, não conseguindo escoar por completo a água da chuva. Além disso, os buracos causados por abrasão devem ser recapeados com pavimentação que seja capaz de comportar o tráfego existente, para que não haja reaberturas ao longo do tempo.

Por fim, deve-se reparar a parte da estrutura danificada pelo processo de corrosão das armaduras. Portanto, deve-se proceder à remoção e posterior reforço das regiões onde há armaduras corroídas, havendo então substituição das armaduras e nova concretagem, tomando-se o cuidado para que haja prejuízo na interação entre o velho e o novo concreto.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As pontes analisadas neste trabalho foram todas executadas em concreto armado e todas possuíam manifestações patológicas relacionadas à falta de manutenção. Esta falta de cuidado proporcionou situações ideais para a ação de mecanismos de deterioração que acabaram por danificar regiões das pontes.

É importante ressaltar que danos causados às estruturas das pontes prejudicam sua estabilidade e podem ocasionar na necessidade de sua interdição, assim como ocorreu com duas das pontes em estudo, haja vista que patologias costumam progredir ao longo do tempo, acarretando no surgimento de novas manifestações patológicas.

Os mecanismos de deterioração mais comuns encontrados nas pontes foram os químicos e biológicos, visto que a maior parte das patologias relatadas neste trabalho foram de alguma forma causadas pela presença de água, a qual é um veículo para agentes químicos e um elemento essencial para o surgimento de vegetação. Além desses dois mecanismos, também foram encontrados sinais de deterioração mecânica e também física, pois haviam regiões dos guarda-corpos danificadas, bem como desgaste superficial e esborcinamento na pista de rolamento de algumas pontes.

Através de ensaios de fissuometria, esclerometria e termografia infravermelha, bem como por meio de estudos bibliográficos, foi possível levantar um perfil das pontes em questão com o objetivo de obter um diagnóstico mais preciso sobre a conduta a ser adotada para o reparo dessas pontes. É importante lembrar que não há boa terapia sem um acompanhamento regular, as chamadas manutenções. Portanto, qualquer reparo feito sem um acompanhamento ao longo do tempo servirá apenas de paliativo.

Vale ressaltar que, como obras de arte especiais, as pontes possuem um alto custo de execução ao Poder Público e à população. Diante disso, quando há negligência no cuidado dispensado a essas estruturas, os custos, como explica a Lei de Sitter, podem aumentar consideravelmente e haver a necessidade de realocação de gastos. Isso pode trazer situações onde, ao invés de haver investimentos em novas benfeitorias, haverá despesas, até 125 vezes mais onerosas, com o reparo das pontes.

De acordo com o IBAPE (2012), anomalias podem ser classificadas em críticas, médias ou mínimas. Para ser classificada como crítica, uma anomalia deve apresentar

potencial de risco para pessoas e para o meio ambiente, causar perda excessiva de desempenho e funcionalidade que necessitem paralizações, gerar custos excessivos em reparos e manutenções, ou comprometer gravemente a vida útil da estrutura.

Enquanto isso, anomalias médias resultam na perda parcial de desempenho e funcionalidade, sem causar, porém, a paralização da estrutura. Por fim, anomalias mínimas estão associadas aos prejuízos estéticos ou aos pequenos danos que podem prejudicar atividades programadas, mas sem a necessidade de paralização, e que possuem baixo custo de reparo.

O quadro 10 mostra as manifestações patológicas encontradas nas pontes do estudo ordenadas de acordo com seus respectivos graus de risco.

Quadro 10 – Manifestações patológicas e graus de risco nas pontes estudadas

Ponte	Sentido	Manifestação patológica	Grau de risco
NS-03, sobre o córrego Sussuapara	Sul-norte e norte-sul	Descalçamento da fundação nas cabeceiras e alas	Crítico
		Armadura exposta nas nervuras do tabuleiro	Crítico
		Eflorescência nas nervuras do tabuleiro	Crítico
		Deslocamento do maciço de aterro nas cabeceiras	Crítico
		Erosão na pavimentação	Crítico
		Manchas nas paredes de contenção	Médio
Avenida Teotônio Segurado, sobre o córrego Sussuapara	Norte-sul	Fuga do material de aterro	Crítico
		Degrau nas cabeceiras	Médio
		Vegetação em passeio	Médio
	Sul-norte	Armadura exposta na região inferior do tabuleiro	Crítico
		Esborcimento	Crítico
		Descalçamento da fundação	Crítico
		Fuga do material de aterro	Crítico
		Degrau nas cabeceiras	Médio
		Limo na região inferior do tabuleiro	Médio
Avenida JK, sobre o córrego Brejo Comprido	Oeste-leste	Guarda-corpo danificado	Mínimo
		Falta de placas no passeio	Médio
		Degrau nas cabeceiras	Médio
	Leste-oeste	Desgaste na região entre material de apoio e pilar esquerdo	Médio
		Deslocamento do maciço de aterro	Crítico
		Armaduras expostas	Crítico
		Eflorescências e limo	Médio
		Movimentações térmicas	Médio
		Degraus nas cabeceiras	Médio
		Eflorescências e limo	Médio
		Desgaste superficial por abrasão	Mínimo

Fonte: Autor (2021)

Por fim, como parte do organograma de pesquisa, este trabalho será submetido à Prefeitura de Palmas com o objetivo de tornar conhecida ao Poder Público a situação das pontes do presente estudo. Acredita-se que desta forma será possível elaborar planos de ação mais precisos no intuito de assegurar a máxima longevidade das pontes em uso e de realizar um reparo completo nas pontes que se encontram interditadas.

9. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Com equipamento necessário, realizar ensaios de esclerometria em regiões de difícil acesso para elaborar um perfil mais preciso da situação das pontes em relação a sua dureza superficial e resistência do concreto.
- Realizar ensaios de pacometria para identificar a situação das armaduras quando não há sinais evidentes de rompimento do concreto; e
- Realizar ensaios de ultrassom para verificar a homogeneidade do concreto, a profundidade de fissuras, imperfeições na estrutura, falhas de concretagem, e variações na peça de concreto por conta da ação de agentes agressivos presentes no meio ao longo do tempo.

Referências Bibliográficas

_____. **NBR 9575**: Impermeabilização e Projeto. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 15575**: edifícios habitacionais – desempenho. Rio de Janeiro, 2018.

_____. **NBR: 6118**: projeto de estruturas de concreto – procedimento. Rio de Janeiro, 2014a.

_____. **NBR 7584**: Concreto endurecido – Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 13755**: Revestimentos cerâmicos e paredes externas com utilização de argamassa de fachadas colante. Rio de Janeiro, 2017.

ANDRADE, M. C. **Profundidade de carbonatação**. In: Manual para diagnóstico de obras deterioradas por corrosão de armaduras. 1. ed. São Paulo: PINI, 1992. cap. Ensaios, p. 76. ISBN 85-7266-011-9.

ANDRADE, Sílvio. **Junta de dilatação de pontes e viadutos novos**. 2019. (14m36s). Disponível em: <https://youtu.be/t8YUvfrs7WE>. Acesso em: 12 jun. 2021.

ARAÚJO, A. *et al.* **Corrosão de armadura de estruturas de concreto leve com ar incorporado**. INTERCORR, Fortaleza, 2014.

BARREIRA, E. S. B. M. **Factores que influenciam a medição da radiação infravermelho: Considerações iniciais**. In: Aplicação da termografia ao estudo do comportamento higratérmico dos edifícios. Orientador: Dr. Vasco Manuel Araújo Peixoto Freitas. 2004. Dissertação (Mestre em Construção de Edifícios) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2004. p. 196.

BASTOS, P. S. S. Estruturas de concreto armado: **Fundamentos**, set. de 2014. Notas de Aula. Impresso.

BOLINA, F. L.; TUTIKIAN, B. F.; HELENE, P. R. L. **Desgaste superficial**. In: PATOLOGIA de estruturas. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2019. cap. Patologia das estruturas de concreto, p. 117. ISBN 978-85-7975-339-8.

BOLINA, F. L.; TUTIKIAN, B. F.; HELENE, P. R. L. **Ensaios não destrutivos**. In: PATOLOGIA de estruturas. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2019. cap. Patologia das estruturas de concreto, p. 168-176. ISBN 978-85-7975-339-8.

BOLINA, F. L.; TUTIKIAN, B. F.; HELENE, P. R. L. **Ensaios semidestrutivos**. In: PATOLOGIA de estruturas. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2019. cap. Patologia das estruturas de concreto, p. 176-179. ISBN 978-85-7975-339-8.

BOLINA, F. L.; TUTIKIAN, B. F.; HELENE, P. R. L. **Movimentação térmica do concreto**. In: PATOLOGIA de estruturas. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2019. cap. Patologia das estruturas de concreto, p. 112-116. ISBN 978-85-7975-339-8.

BOLINA, F. L.; TUTIKIAN, B. F.; HELENE, P. R. L. **Retração do concreto**. In: PATOLOGIA de estruturas. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2019. cap. Patologia das estruturas de concreto, p. 109-112. ISBN 978-85-7975-339-8.

BOLINA, F.L.; TUTIKIAN, B.F.; HELENE, P.R.L. **Ciclo de vida das edificações**. In: PATOLOGIA de estruturas. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2019. cap. Patologia das construções, p. 10-15. ISBN 978-85-7975-339-8.

BOLINA, F.L.; TUTIKIAN, B.F.; HELENE, P.R.L. **Engenharia de manutenção**. In: PATOLOGIA de estruturas. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2019. cap. Patologia das construções, p. 59-60. ISBN 978-85-7975-339-8.

BOLINA, F.L.; TUTIKIAN, B.F.; HELENE, P.R.L. **Manutenção corretiva**. In: PATOLOGIA de estruturas. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2019. cap. Patologia das construções, p. 57. ISBN 978-85-7975-339-8.

BOLINA, F.L.; TUTIKIAN, B.F.; HELENE, P.R.L. **Manutenção das edificações**. In: PATOLOGIA de estruturas. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2019. cap. Patologia das construções, p. 53-56. ISBN 978-85-7975-339-8.

BOLINA, F.L.; TUTIKIAN, B.F.; HELENE, P.R.L. **Manutenção detectiva**. In: PATOLOGIA de estruturas. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2019. cap. Patologia das construções, p. 59. ISBN 978-85-7975-339-8.

BOLINA, F.L.; TUTIKIAN, B.F.; HELENE, P.R.L. **Manutenção preditiva**. In: PATOLOGIA de estruturas. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2019. cap. Patologia das construções, p. 57-58. ISBN 978-85-7975-339-8.

BOLINA, F.L.; TUTIKIAN, B.F.; HELENE, P.R.L. **Manutenção preventiva**. In: PATOLOGIA de estruturas. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2019. cap. Patologia das construções, p. 57. ISBN 978-85-7975-339-8.

BOLINA, F.L.; TUTIKIAN, B.F.; HELENE, P.R.L. **Mecanismo**. In: PATOLOGIA de estruturas. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2019. cap. Patologia das construções, p. 40-41. ISBN 978-85-7975-339-8.

BOLINA, F.L.; TUTIKIAN, B.F.; HELENE, P.R.L. **Mecanismos de deterioração biológica**. In: PATOLOGIA de estruturas. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2019. cap. Patologia das construções, p. 42-45. ISBN 978-85-7975-339-8.

BOLINA, F.L.; TUTIKIAN, B.F.; HELENE, P.R.L. **Mecanismos de deterioração física**. In: PATOLOGIA de estruturas. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2019. cap. Patologia das construções, p. 45-46. ISBN 978-85-7975-339-8.

BOLINA, F.L.; TUTIKIAN, B.F.; HELENE, P.R.L. **Mecanismos de deterioração química**. In: PATOLOGIA de estruturas. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2019. cap. Patologia das construções, p. 41-42. ISBN 978-85-7975-339-8.

BOLINA, F.L.; TUTIKIAN, B.F.; HELENE, P.R.L. **Vida útil e durabilidade**. In: PATOLOGIA de estruturas. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2019. cap. Patologia das construções, p. 25-26. ISBN 978-85-7975-339-8.

BRANDÃO, A. M. S. **Processos mecânicos**. In: Qualidade e durabilidade das estruturas de concreto armado: Aspectos relativos ao projeto. Orientador: Dr. Libânio Miranda Pinheiro. 1998. Dissertação (Mestre em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 1998. p. 137.

CUNHA DA, A.C.Q., HELENE, P.R.L. **Despassivação das armaduras de concreto por ação da carbonatação**. 17p. Boletim Técnico da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 2001

CASCUDO, O. **O controle da corrosão em armaduras de concreto: inspeção e técnicas eletroquímicas**. São Paulo/Goiânia: Pini/Editora UFG, 1997.

CONDOMÍNIOS VERDES. **Urbanismo e meio ambiente**: O que fazer quando árvores danificam as calçadas. [S. l.], 2018. Disponível em: <https://www.condominiosverdes.com.br/o-que-fazer-quando-arvores-danificam-as-calçadas/>. Acesso em: 16 dez. 2020.

CORTIZO, E. B. **Avaliação da técnica de termografia infravermelha para identificação de estruturas ocultas e diagnóstico de anomalias em edificações: Ênfase em edificações do Patrimônio Histórico**. Orientador: Dr. Marcos Pinotti Barbosa. 2007. 177 p. Tese (Doutor em Engenharia Mecânica) - Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

CUNHA, A. A. **Estudo das patologias em obras de arte especiais do tipo ponte e viadutos estruturados em concreto**. 2011. Monografia (Especialização em Construção Civil) - Escola de Engenharia da Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, 2011.

DNER. **Manual de projeto de obras-de-arte especiais**. Rio de Janeiro: IPR, 1996. 225 p.

DUARTE, R. **Ensaio não destrutivo para concreto**. Belo Horizonte [2016]. 59 slides, color.

FRAZÃO, Y. A. **O uso da termografia na inspeção predial** [S. l.], 2018. Disponível em: <https://spotcursos.com.br/blogs/patologia-da-construcao/posts/o-uso-da-termografia-na-inspecao-predial>. Acesso em: 15 jan. 2021.

FRAZÃO, Y. A. **Fissura, trinca, rachadura ou fenda?** [S. l.], 2020. Disponível em: <https://spotcursos.com.br/blogs/patologia-da-construcao/posts/fissura-trinca-rachadura-ou-fenda>. Acesso em: 25 nov. 2020.

G1 (Tocantins). **Motociclista fica ferido ao cair em ponte que desabou e está interditada há mais de um ano em Palmas.** G1 - Tocantins, Palmas, p. 1, 4 abr. 2021.

JROMA. **Câmara termográfica económica modelo peaktech P5610.** [S. l.], 2020. https://www.jroma.pt/ttermografia_edificios.html. Acesso em: 15 jan. 2021.

IBAPE. **Norma de Inspeção Predial Nacional.** São Paulo, 2012

LICHTENSTEIN, N. B. Patologia das construções. Boletim técnico n. 06. São Paulo: USP, 1986.

LIMA, N. M. *et al.* **Bolor.** In: PATOLOGIA das construções. 1. ed. Salvador: 2B Educação, 2020. v. 1, cap. Patologia das estruturas de concreto armado, p. 79. ISBN 978-85-548-1583-7.

LIMA, N. M. *et al.* **Corrosão das armaduras.** In: PATOLOGIA das construções. 1. ed. Salvador: 2B Educação, 2020. v. 1, cap. Patologia das estruturas de concreto armado, p. 86-89. ISBN 978-85-548-1583-7.

LIMA, N. M. *et al.* **Despassivação por carbonatação.** In: PATOLOGIA das construções. 1. ed. Salvador: 2B Educação, 2020. v. 1, cap. Patologia das estruturas de concreto armado, p. 90-91. ISBN 978-85-548-1583-7.

MEDEIROS, M. H. F.; HOPPE FILHO, J.; HELEPE, P. R. L. **Influence of the slice position on chloride migration tests for concrete in marine conditions.** Marina Structures, v. 22, p. 128-141. 2009.

MEDEIROS, R. **Ensaaios não destrutivos para avaliar a durabilidade do concreto.** 59 slides, color.

MENDES, L. C. **Definições.** In: PONTES. 2. ed. rev. Niteroi: Eduff, 2017. cap. Aspectos Básicos, p. 37. ISBN 978-85-228-1250-9.

MENDES, L. C. **Elementos constituintes das pontes.** In: PONTES. 2. ed. rev. Niteroi: Eduff, 2017. cap. Aspectos básicos, p. 37-39. ISBN 978-85-228-1250-9.

MENEGHETTI, L. C. **Estruturas danificadas: Segurança e ações corretivas.** [2016]. 45 slides, color.

MESEGUER, Á. G; CABRÉ, F. M.; PORTERO, J. C. A. **Tipos de fisuras: Fisuras de origen térmico.** In: Hormigón armado. 15. ed. Barcelona: Gustavo Gili, 2009. cap. Estados limites de servicio. Patologia, p. 450. ISBN 978-8425223075.

NASCIMENTO, M. L. M *et al.* **Corrosão de armaduras: Despassivação por carbonatação.** *In:* Patologia das construções. 1. ed. Salvador: 2B Educação, 2020. cap. Patologia das estruturas de concreto armado, p. 86-91. ISBN 978-85-548-1583-7.

NASCIMENTO, M. L. M *et al.* **Corrosão de armaduras: Despassivação por cloretos.** *In:* Patologia das construções. 1. ed. Salvador: 2B Educação, 2020. cap. Patologia das estruturas de concreto armado, p. 91-92. ISBN 978-85-548-1583-7.

NASCIMENTO, M. L. M. **Fissuras por movimentações térmicas.** *In:* NASCIMENTO, M. L. M *et al.* Patologia das construções. 1. ed. Salvador: 2B Educação, 2020. v. 1, cap. Patologia em alvenarias, p. 124-129. ISBN 978-85-548-1583-7.

SALLES NETO, M. **Corrosão por ataque de cloreto.** Palmas, [2016]. 22 slides, color, Acompanha texto.

SALLES NETO, M. **Fissuração do concreto: Fissuras passivas.** Palmas, [2016]. 62 slides, color, Acompanha texto.

SALLES NETO, M. **Fissurômetro.** *In:* Equipamentos para leitura de abertura de fissuras [VÍDEOAULA]. 2020.

SALLES NETO, M. **Lixiviação.** Palmas, [2016]. 21 slides, color, Acompanha texto.

PEREIRA, L. M. **Biodeterioração: Classificações.** *In:* Avaliação das patologias e da biodeterioração na biblioteca central da UFSM. Orientador: Dra. Denise Souza Saad. 2012. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) - Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012. p. 126.

PEREIRA, L. M. Degradação, biodegração e biodeterioração. *In:* **Avaliação das patologias e da biodeterioração na biblioteca central da UFSM.** Orientador: Dra. Denise Souza Saad. 2012. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) - Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012. p. 126.

POSSAN, E. **Ação da carbonatação.** *In:* Modelagem da carbonatação e previsão de vida útil de estruturas de concreto em ambiente urbano. Orientador: Dra. Denise Carpena Coitinho Dal Molin e Dr. Jairo José de Oliveira Andrade. 2010. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010. p. 265.

PROCEDIA ENGINEERING. **GWT – new testing system for “in-situ” measurements of concrete water permeability.** [S. l.], 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/306927003_GWT_-_New_Testing_System_for_in-situ_Measurements_of_Concrete_Water_Permeability. Acesso em: 15 jan. 2021.

PROJETISTA, O. **Régua fissurômetro 1.** [S. l.], 2019. Disponível em: http://www.oprojetista.com.br/produto/3017_Regua-Fissurmetro-01.html. Acesso em: 12 jan. 2021.

RAMOS, J. E. M. **Obra de arte**. [S. l.], 22 set. 2020. Disponível em: https://www.suapesquisa.com/o_que_e/obra_de_arte.htm. Acesso em: 10 nov. 2020.

REAL, L. V. **Efeito de adições pozolânicas na estimativa de vida útil do concreto exposto a cloretos através da resistividade elétrica superficial**. Curitiba, 2015. 162p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

RODRIGUES, F. P. M. **Fenolftaleína**. [S. l.], 2008. Disponível em: <http://www.peritos.eng.br/ferramentas/fenolftaleina/>. Acesso em: 9 dez. 2020.

SENA, G. O. Normas de desempenho: Vida útil. *In*: SENA, G. O. *et al.* **Patologia das construções**. 1. ed. Salvador: 2B Educação, 2020. v. 1, cap. Conceitos iniciais, p. 30-31. ISBN 978-85-548-1583-7.

SILVA, H. N. T.; SOUZA, W. L. **Análise visual e estudo das manifestações patológicas da ponte Senador Fábio Lucena, Manaus/AM**. Semana acadêmica, [s. l.], p. 9, 2018.

SITTER, W.R. Costs for service life optimization. **The “Law of fives”**. *In*: Durability of Concrete Structures – CEB-RILEM International Workshop. Proceedings... Copenhagen, p. 18-20. Workshop Report by Steen Rostam. Copenhagen, 1984

SOARES, A. S. **Identificação dos mecanismos de deterioração das pontes de concreto armado na região do Curimataú Oriental Paraibano**: Estudo de caso. Orientador: Msc. Maria das Vitórias do Nascimento. 2015. 60 p. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual da Paraíba, Araruna, 2015.

SOUZA, Cleidson Dias de. **Vistoria das pontes de concreto no plano diretor de Palmas**. Relatório Técnico. Palmas: 2018.

SOUZA, V. C. M.; RIPPER, T. **Ações mecânicas**. *In*: Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto. 1. ed. São Paulo: PINI, 1998. cap. Sintomatologia das estruturas de concreto, p. 49-50. ISBN 85-7266-096-8.

TOMAZELI, A.; HELENE, P. R. L. **Diretrizes para inspeção em estruturas de obras paralisadas**. Revista Estrutura, [s. l.], ano 2, ed. 4, p. 30-37, 2017.

UEDA, T.; TAKEWAKA, K. **Performance-based standard specifications for maintenance and repair of concrete structures in Japan**. Structural Engineering International , [s. l.], p. 2, 2007.

VITÓRIO, J.A.P. **Vistorias, conservação e gestão de pontes e viadutos de concreto**. Anais do 48º Congresso Brasileiro do Concreto, Rio de Janeiro, 2006.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Autorização de voo do SARPAS para ponte sobre o córrego Brejo Comprido, Avenida JK



Departamento
de Controle do Espaço Aéreo
Comando da Aeronáutica



SOLICITAÇÃO DE VOO #4C8866

APROVADO

Operação

- Solicitante: **Moacyr Salles Neto**
- Perfil: **3 (Princípio da Sombra / ICA 100-40)**
- Tipo/Regra: **VLOS/V**

Localização

- Decolagem
Lat: **-10.202810**
Lng: **-48.333514**
- Destino
Lat: **-10.202810**
Lng: **-48.333514**
- Área: **30m**
- Altura: **120ft**

Janela de Operação

Data	Início	Fim
26.05.2021	17:00 UTC	21:00 UTC
27.05.2021	17:00 UTC	21:00 UTC
28.05.2021	17:00 UTC	21:00 UTC

Comunicações

- Código de Chamada: **RPA-OWHI-10**
- ATS: **NÃO SE APLICA**
- Piloto: **NÃO SE APLICA**

RPS (1)

RPS	Lat/Lng	Telefone
Moacyr Salles Neto	-10.202810, -48.333514	(63) 98441-8591

Equipamento

- N° SISANT: **PP-068197510**

Piloto

- Nome: **Moacyr Salles Neto**
- Código: **OWHI**
- CPF: **841.***.***-97**

APÊNDICE B – Autorização de voo do SARPAS para ponte sobre o córrego Sussuapara, Avenida NS-03



Departamento
de Controle do Espaço Aéreo
Comando da Aeronáutica



SOLICITAÇÃO DE VOO #927528

APROVADO

Operação

- Solicitante: **Moacyr Salles Neto**
- Perfil: **3 (Princípio da Sombra / ICA 100-40)**
- Tipo/Regra: **VLOS/V**

Localização

- Decolagem
Lat: **-10.173449**
Lng: **-48.342394**
- Destino
Lat: **-10.173449**
Lng: **-48.342394**
- Área: **30m**
- Altura: **120ft**

Janela de Operação

Data	Início	Fim
26.05.2021	17:00 UTC	21:00 UTC
27.05.2021	17:00 UTC	21:00 UTC
28.05.2021	17:00 UTC	21:00 UTC

Comunicações

- Código de Chamada: **RPA-OWHI-10**
- ATS: **NÃO SE APLICA**
- Piloto: **NÃO SE APLICA**

RPS (1)

RPS	Lat/Lng	Telefone
Moacyr Salles Neto	-10.173449, -48.342394	(63) 98441-8591

Equipamento

- N° SISANT: **PP-068197510**

Piloto

- Nome: **Moacyr Salles Neto**
- Código: **OWHI**
- CPF: **841.***-***-97**

APÊNDICE C – Autorização de voo do SARPAS para ponte sobre o córrego Sussuapara, Avenida Teotônio Segurado



Departamento
de Controle do Espaço Aéreo
Comando da Aeronáutica



SOLICITAÇÃO DE VOO #1E6626

APROVADO

Operação

- Solicitante: **Moacyr Salles Neto**
- Perfil: **3 (Princípio da Sombra / ICA 100-40)**
- Tipo/Regra: **VLOS/V**

Localização

- Decolagem
Lat: **-10.173511**
Lng: **-48.333803**
- Destino
Lat: **-10.173511**
Lng: **-48.333803**
- Área: **30m**
- Altura: **120ft**

Janela de Operação

Data	Início	Fim
26.05.2021	17:00 UTC	21:00 UTC
27.05.2021	17:00 UTC	21:00 UTC
28.05.2021	17:00 UTC	21:00 UTC

Comunicações

- Código de Chamada: **RPA-OWHI-10**
- ATS: **NÃO SE APLICA**
- Piloto: **NÃO SE APLICA**

RPS (1)

RPS	Lat/Lng	Telefone
Moacyr Salles Neto	-10.173511, -48.333803	(63) 98441-8591

Equipamento

- Nº SISANT: **PP-068197510**

Piloto

- Nome: **Moacyr Salles Neto**
- Código: **OWHI**
- CPF: **841.***.***-97**

APÊNDICE D – Índices esclerométricos dos elementos avaliados da ponte da Avenida Teotônio Segurado, sobre o córrego Sussuapara

Área 1			
Leituras - Índices Esclerométricos			
Ponto	Leitura	Ponto	Leitura
1	68,5	9	68,0
2	69,5	10	55,5
3	73,5	11	65,0
4	60,0	12	53,5
5	61,5	13	72,5
6	64,0	14	70,5
7	69,0	15	63,5
8	58,5	16	66,0
Média inicial (Q):		64,9	
Limite superior (Q):		71,4	
Limite inferior (Q):		58,4	
Desvio-padrão (Q):		5,9	
Valores remanescentes (desvio inferior a 10%)			
Ponto	Leitura	Ponto	Leitura
1	68,5	9	68
2	69,5	10	-
3	-	11	65
4	60	12	-
5	61,5	13	-
6	64	14	70,5
7	69	15	63,5
8	58,5	16	66
Verificação do número de valores individuais (maior ou igual a 5):		OK	
Média final (Q):		65,3	
Desvio-padrão final (Q):		3,9	
Verificação da existência de valores que diferem mais de 10% da média final			
Ponto	Leitura	Ponto	Leitura
1	OK	9	OK
2	OK	10	-
3	-	11	OK
4	OK	12	-
5	OK	13	-
6	OK	14	OK
7	OK	15	OK
8	Não OK	16	OK

Valores remanescentes (desvio inferior a 10%)			
Ponto	Leitura	Ponto	Leitura
1	68,5	9	68
2	69,5	10	-
3	-	11	65
4	60	12	-
5	61,5	13	-
6	64	14	70,5
7	69	15	63,5
8	-	16	66
Verificação do número de valores		OK	
Média final (Q):		66,0	
Desvio-padrão final (Q):		3,5	
Verificação da existência de valores que diferem mais de 10% da média			
Ponto	Leitura	Ponto	Leitura
1	OK	9	OK
2	OK	10	-
3	-	11	OK
4	OK	12	-
5	OK	13	-
6	OK	14	OK
7	OK	15	OK
8	-	16	OK
Dureza superficial (MPa):			52,5
Desvio-padrão da faixa de resist.(MPa):			2,6
Descrição:			
Índices esclerométricos da parede de contenção sul, sentido sul-norte			

Área 2			
Leituras - Índices Esclerométricos			
Ponto	Leitura	Ponto	Leitura
1	63,5	9	51,5
2	58,5	10	58,0
3	56,5	11	55,5
4	57,0	12	56,0
5	56,0	13	51,0
6	51,0	14	55,0
7	55,0	15	49,5
8	56,5	16	56,0
Média inicial:		55,4	
Limite superior (Q):		60,9	
Limite inferior (Q):		49,9	
Desvio-padrão (Q):		3,4	
Valores remanescentes (desvio inferior a 10%)			
Ponto	Leitura	Ponto	Leitura
1	-	9	51,5
2	58,5	10	58
3	56,5	11	55,5
4	57	12	56
5	56	13	51
6	51	14	55
7	55	15	-
8	56,5	16	56
Verificação do número de valores individuais (maior ou igual a 5):		OK	
Média final (Q):		55,3	
Desvio-padrão final (Q):		2,4	
Verificação da existência de valores que diferem mais de 10% da média final			
Ponto	Leitura	Ponto	Leitura
1	-	9	OK
2	OK	10	OK
3	OK	11	OK
4	OK	12	OK
5	OK	13	OK
6	OK	14	OK
7	OK	15	-
8	OK	16	OK
Dureza superficial (MPa):			31,4
Desvio-padrão da faixa de resist.(MPa):			2,5
Descrição:			
Índices esclerométricos na viga de travamento da mesoestrutura, sentido sul norte			

Área 3			
Leituras - Índices Esclerométricos			
Ponto	Leitura	Ponto	Leitura
1	65,5	9	67,5
2	63,0	10	67,5
3	64,0	11	61,5
4	62,5	12	68,5
5	58,0	13	68,0
6	60,5	14	65,0
7	66,5	15	62,5
8	58,5	16	68,0
Média inicial:		64,2	
Limite superior (Q):		70,6	
Limite inferior (Q):		57,8	
Desvio-padrão (Q):		3,4	
Valores remanescentes (desvio inferior a 10%)			
Ponto	Leitura	Ponto	Leitura
1	65,5	9	67,5
2	63	10	67,5
3	64	11	61,5
4	62,5	12	68,5
5	58	13	68
6	60,5	14	65
7	66,5	15	62,5
8	58,5	16	68
Verificação do número de valores individuais (maior ou igual a 5):		OK	
Média final (Q):		64,2	
Desvio-padrão final (Q):		3,4	
Verificação da existência de valores que diferem mais de 10% da média final			
Ponto	Leitura	Ponto	Leitura
1	OK	9	OK
2	OK	10	OK
3	OK	11	OK
4	OK	12	OK
5	OK	13	OK
6	OK	14	OK
7	OK	15	OK
8	OK	16	OK
Dureza superficial (MPa):			48,3
Desvio-padrão da faixa de resist.(MPa):			2,6
Descrição:			
Índices esclerométricos do bloco de coroamento do pilar direito, sentido sul-norte			

Área 4			
Leituras - Índices Esclerométricos			
Ponto	Leitura	Ponto	Leitura
1	59,0	9	54,0
2	70,0	10	60,0
3	66,0	11	62,0
4	64,5	12	65,0
5	60,5	13	62,5
6	54,0	14	58,0
7	58,0	15	68,5
8	63,0	16	59,0
Média inicial:		61,5	
Limite superior (Q):		67,7	
Limite inferior (Q):		55,4	
Desvio-padrão (Q):		4,6	
Valores remanescentes (desvio inferior a 10%)			
Ponto	Leitura	Ponto	Leitura
1	59	9	-
2	-	10	60
3	66	11	62
4	64,5	12	65
5	60,5	13	62,5
6	-	14	58
7	58	15	-
8	63	16	59
Verificação do número de valores individuais (maior ou igual a 5):		OK	
Média final (Q):		61,5	
Desvio-padrão final (Q):		2,8	
Verificação da existência de valores que diferem mais de 10% da média final			
Ponto	Leitura	Ponto	Leitura
1	OK	9	-
2	-	10	OK
3	OK	11	OK
4	OK	12	OK
5	OK	13	OK
6	-	14	OK
7	OK	15	-
8	OK	16	OK
Dureza superficial (MPa):			42,3
Desvio-padrão da faixa de resist.(MPa):			2,5
Descrição:			
Índices esclerométricos do bloco de coroamento do pilar central, sentido sul-norte			

Área 5			
Leituras - Índices Esclerométricos			
Ponto	Leitura	Ponto	Leitura
1	49,0	9	51,0
2	48,0	10	58,0
3	54,0	11	61,0
4	53,0	12	55,0
5	52,5	13	62,0
6	59,0	14	64,0
7	66,5	15	64,5
8	50,0	16	65,0
Média inicial:		56,1	
Limite superior (Q):		61,7	
Limite inferior (Q):		50,5	
Desvio-padrão (Q):		5,8	
Valores remanescentes (desvio inferior a 10%)			
Ponto	Leitura	Ponto	Leitura
1	-	9	51
2	-	10	58
3	54	11	61
4	53	12	55
5	-	13	-
6	59	14	-
7	-	15	-
8	-	16	-
Verificação do número de valores individuais (maior ou igual a 5):		OK	
Média final (Q):		55,9	
Desvio-padrão final (Q):		3,6	
Verificação da existência de valores que diferem mais de 10% da média final			
Ponto	Leitura	Ponto	Leitura
1	-	9	OK
2	-	10	OK
3	OK	11	OK
4	OK	12	OK
5	-	13	-
6	OK	14	-
7	-	15	-
8	-	16	-
Dureza superficial (MPa):			32,4
Desvio-padrão da faixa de resist.(MPa):			2,6
Descrição:			
Índices esclerométricos de parede de contenção norte, sentido sul-norte			

Área 6			
Leituras - Índices Esclerométricos			
Ponto	Leitura	Ponto	Leitura
1	53,0	9	53,0
2	57,0	10	58,5
3	56,0	11	59,0
4	53,0	12	55,0
5	52,0	13	55,0
6	51,5	14	48,5
7	53,0	15	53,0
8	54,0	16	49,0
Média inicial:		54,0	
Limite superior (Q):		59,4	
Limite inferior (Q):		48,6	
Desvio-padrão (Q):		2,5	
Valores remanescentes (desvio inferior a 10%)			
Ponto	Leitura	Ponto	Leitura
1	53	9	53
2	57	10	-
3	56	11	59
4	53	12	55
5	52	13	55
6	-	14	-
7	53	15	53
8	54	16	49
Verificação do número de valores individuais (maior ou igual a 5):		OK	
Média final (Q):		54,0	
Desvio-padrão final (Q):		2,5	
Verificação da existência de valores que diferem mais de 10% da média final			
Ponto	Leitura	Ponto	Leitura
1	OK	9	OK
2	OK	10	-
3	OK	11	OK
4	OK	12	OK
5	OK	13	OK
6	-	14	-
7	OK	15	OK
8	OK	16	OK
Dureza superficial (MPa):			29,6
Desvio-padrão da faixa de resist.(MPa):			2,5
Descrição:			
Índices esclerométricos da longarina oeste, sentido norte-sul			

Área 7			
Leituras - Índices Esclerométricos			
Ponto	Leitura	Ponto	Leitura
1	55,0	9	58,5
2	52,0	10	54,5
3	52,5	11	58,5
4	52,0	12	52,5
5	54,5	13	56,5
6	56,0	14	55,5
7	52,5	15	54,5
8	62,0	16	53,5
Média inicial:		55,0	
Limite superior (Q):		60,5	
Limite inferior (Q):		49,5	
Desvio-padrão (Q):		2,8	
Valores remanescentes (desvio inferior a 10%)			
Ponto	Leitura	Ponto	Leitura
1	55	9	58,5
2	52	10	54,5
3	52,5	11	58,5
4	52	12	52,5
5	54,5	13	56,5
6	56	14	55,5
7	52,5	15	54,5
8	-	16	53,5
Verificação do número de valores individuais (maior ou igual a 5):		OK	
Média final (Q):		54,6	
Desvio-padrão final (Q):		2,2	
Verificação da existência de valores que diferem mais de 10% da média final			
Ponto	Leitura	Ponto	Leitura
1	OK	9	OK
2	OK	10	OK
3	OK	11	OK
4	OK	12	OK
5	OK	13	OK
6	OK	14	OK
7	OK	15	OK
8	-	16	OK
Dureza superficial (MPa):			30,4
Desvio-padrão da faixa de resist.(MPa):			2,5
Descrição:			
Índices esclerométricos de parede de contenção sul, sentido norte-sul			

APÊNDICE E - Índices esclerométricos dos elementos avaliados da ponte da Avenida JK, sobre o córrego Brejo Comprido

Área 1			
Leituras - Índices Esclerométricos			
Ponto	Leitura	Ponto	Leitura
1	64,1	9	62,0
2	66,5	10	68,5
3	71,5	11	68,0
4	70,0	12	70
5	65	13	68
6	72,5	14	65,5
7	67,5	15	63,5
8	65,5	16	72,0
Média inicial (Q):		67,5	
Limite superior (Q):		74,3	
Limite inferior (Q):		60,8	
Desvio-padrão (Q):		3,1	
Valores remanescentes (desvio inferior a 10%)			
Ponto	Leitura	Ponto	Leitura
1	64,1	9	62
2	66,5	10	68,5
3	71,5	11	68
4	70	12	70
5	65	13	68
6	72,5	14	65,5
7	67,5	15	63,5
8	65,5	16	72
Verificação do número de valores individuais (maior ou igual a 5):		OK	
Média final (Q):		67,5	
Desvio-padrão final (Q):		3,1	
Verificação da existência de valores que diferem mais de 10% da média final			
Ponto	Leitura	Ponto	Leitura
1	OK	9	OK
2	OK	10	OK
3	OK	11	OK
4	OK	12	OK
5	OK	13	OK
6	OK	14	OK
7	OK	15	OK
8	OK	16	OK
Dureza superficial (MPa):			56,6
Desvio-padrão da faixa de resist.(MPa):			2,6
Descrição:			
Pontes da Avenida JK, sobre o córrego Brejo Comprido - Longarina norte, sentido leste-oeste			

Área 2			
Leituras - Índices Esclerométricos			
Ponto	Leitura	Ponto	Leitura
1	66,5	9	60
2	75	10	62,5
3	65	11	62
4	64,0	12	67,0
5	64,0	13	65,0
6	66,0	14	71,5
7	63,5	15	66,5
8	70,5	16	57,0
Média inicial:		65,4	
Limite superior (Q):		71,9	
Limite inferior (Q):		58,8	
Desvio-padrão (Q):		4,4	
Valores remanescentes (desvio inferior a 10%)			
Ponto	Leitura	Ponto	Leitura
1	66,5	9	60
2	-	10	62,5
3	65	11	62
4	64	12	67
5	64	13	65
6	66	14	71,5
7	63,5	15	66,5
8	70,5	16	-
Verificação do número de valores individuais (maior ou igual a 5):		OK	
Média final (Q):		65,3	
Desvio-padrão final (Q):		3,1	
Verificação da existência de valores que diferem mais de 10% da média final			
Ponto	Leitura	Ponto	Leitura
1	OK	9	OK
2	-	10	OK
3	OK	11	OK
4	OK	12	OK
5	OK	13	OK
6	OK	14	OK
7	OK	15	OK
8	OK	16	-
Dureza superficial (MPa):			50,9
Desvio-padrão da faixa de resist.(MPa):			2,6
Descrição:			
Pontes da Avenida JK, sobre o córrego Brejo Comprido - Viga de travamento leste, sentido leste-oeste			

Área 3			
Leituras - Índices Esclerométricos			
Ponto	Leitura	Ponto	Leitura
1	64,5	9	69
2	63,5	10	67,5
3	67,0	11	68,5
4	66,5	12	68,5
5	69,0	13	54,5
6	48,5	14	63,5
7	67	15	66
8	73	16	58,0
Média inicial:		64,7	
Limite superior (Q):		71,1	
Limite inferior (Q):		58,2	
Desvio-padrão (Q):		6,2	
Valores remanescentes (desvio inferior a 10%)			
Ponto	Leitura	Ponto	Leitura
1	64,5	9	69
2	63,5	10	67,5
3	67	11	68,5
4	66,5	12	68,5
5	69	13	-
6	-	14	63,5
7	67	15	66
8	-	16	-
Verificação do número de valores individuais (maior ou igual a 5):		OK	
Média final (Q):		66,7	
Desvio-padrão final (Q):		2,0	
Verificação da existência de valores que diferem mais de 10% da média final			
Ponto	Leitura	Ponto	Leitura
1	OK	9	OK
2	OK	10	OK
3	OK	11	OK
4	OK	12	OK
5	OK	13	-
6	-	14	OK
7	OK	15	OK
8	-	16	-
Dureza superficial (MPa):			54,5
Desvio-padrão da faixa de resist.(MPa):			2,4
Descrição:			
Pontes da Avenida JK, sobre o córrego Brejo Comprido - Viga de travamento oeste, sentido leste-oeste			

Área 4			
Leituras - Índices Esclerométricos			
Ponto	Leitura	Ponto	Leitura
1	54,5	9	58,0
2	57,0	10	54,5
3	63,5	11	67,0
4	57	12	63,0
5	57	13	65
6	49,5	14	52,0
7	55,0	15	63
8	55,0	16	55,5
Média inicial:		57,9	
Limite superior (Q):		63,7	
Limite inferior (Q):		52,1	
Desvio-padrão (Q):		5,0	
Valores remanescentes (desvio inferior a 10%)			
Ponto	Leitura	Ponto	Leitura
1	54,5	9	58
2	57	10	54,5
3	63,5	11	-
4	57	12	63
5	57	13	-
6	-	14	-
7	55	15	63
8	55	16	55,5
Verificação do número de valores individuais (maior ou igual a 5):		OK	
Média final (Q):		57,8	
Desvio-padrão final (Q):		3,5	
Verificação da existência de valores que diferem mais de 10% da média final			
Ponto	Leitura	Ponto	Leitura
1	OK	9	OK
2	OK	10	OK
3	OK	11	-
4	OK	12	OK
5	OK	13	-
6	-	14	-
7	OK	15	OK
8	OK	16	OK
Dureza superficial (MPa):			35,4
Desvio-padrão da faixa de resist.(MPa):			2,6
Descrição:			
Pontes da Avenida JK, sobre o córrego Brejo Comprido - Longarina norte, sentido oeste-leste			

Área 5			
Leituras - Índices Esclerométricos			
Ponto	Leitura	Ponto	Leitura
1	73,5	9	70,0
2	68,5	10	65,5
3	67,5	11	64,0
4	71,0	12	69,5
5	68,0	13	75,0
6	74,5	14	76,0
7	68,0	15	66,5
8	67,0	16	70,5
Média inicial:		69,7	
Limite superior (Q):		76,7	
Limite inferior (Q):		62,7	
Desvio-padrão (Q):		3,5	
Valores remanescentes (desvio inferior a 10%)			
Ponto	Leitura	Ponto	Leitura
1	73,5	9	70
2	68,5	10	65,5
3	67,5	11	64
4	71	12	69,5
5	68	13	75
6	74,5	14	76
7	68	15	66,5
8	67	16	70,5
Verificação do número de valores individuais (maior ou igual a 5):		OK	
Média final (Q):		69,7	
Desvio-padrão final (Q):		3,5	
Verificação da existência de valores que diferem mais de 10% da média final			
Ponto	Leitura	Ponto	Leitura
1	OK	9	OK
2	OK	10	OK
3	OK	11	OK
4	OK	12	OK
5	OK	13	OK
6	OK	14	OK
7	OK	15	OK
8	OK	16	OK
Dureza superficial (MPa):			62,8
Desvio-padrão da faixa de resist.(MPa):			2,6
Descrição:			
Pontes da Avenida JK, sobre o córrego Brejo Comprido - Viga de travamento leste, sentido oeste-leste			

Área 6			
Leituras - Índices Esclerométricos			
Ponto	Leitura	Ponto	Leitura
1	76,0	9	74,0
2	73,5	10	66,0
3	73,0	11	72,5
4	65,5	12	70,5
5	73,5	13	71,0
6	78,0	14	70,0
7	74,0	15	63,0
8	75,0	16	63,5
Média inicial:		71,2	
Limite superior (Q):		78,3	
Limite inferior (Q):		64,1	
Desvio-padrão (Q):		4,5	
Valores remanescentes (desvio inferior a 10%)			
Ponto	Leitura	Ponto	Leitura
1	76	9	74
2	73,5	10	66
3	73	11	72,5
4	65,5	12	70,5
5	73,5	13	71
6	78	14	70
7	74	15	-
8	75	16	-
Verificação do número de valores individuais (maior ou igual a 5):		OK	
Média final (Q):		72,3	
Desvio-padrão final (Q):		3,5	
Verificação da existência de valores que diferem mais de 10% da média final			
Ponto	Leitura	Ponto	Leitura
1	OK	9	OK
2	OK	10	OK
3	OK	11	OK
4	OK	12	OK
5	OK	13	OK
6	OK	14	OK
7	OK	15	-
8	OK	16	-
Dureza superficial (MPa):			71,3
Desvio-padrão da faixa de resist.(MPa):			2,6
Descrição:			
Pontes da Avenida JK, sobre o córrego Brejo Comprido - Viga de travamento oeste, sentido oeste-leste			