

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
SANTA CATARINA
CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA CIVIL**

CAIO BONETTI MENDES

**ESTUDO DE CASO – PATOLOGIAS NA PONTE DE CONCRETO
ARMADO NO RIBEIRÃO DA ILHA DE FLORIANÓPOLIS**

FLORIANÓPOLIS, MARÇO DE 2022

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
SANTA CATARINA
CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA CIVIL**

CAIO BONETTI MENDES

**ESTUDO DE CASO – PATOLOGIAS NA PONTE DE CONCRETO
ARMADO NO RIBEIRÃO DA ILHA DE FLORIANÓPOLIS**

Trabalho de Conclusão de Curso
submetido ao Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia de Santa
Catarina como parte dos requisitos para
obtenção do título de Engenheira Civil.

Professor Orientador: Prof. Caio Cesar
Veloso Acosta. Msc.

FLORIANÓPOLIS, MARÇO DE 2022

RESUMO

A engenharia civil possibilitou a transposição de obstáculos antes intangíveis, alguns desses obstáculos só puderam ser vencidos através de obras de artes como pontes e viadutos diante disso, mesmo compreendendo o fato de que essas obras possuem alta durabilidade, as pontes e viadutos por diversos motivos como dimensionamento, projeto, execução e manutenção sofrem com as patologias que reduzem sua vida útil. Além disso, Florianópolis é uma cidade litorânea do estado de Santa Catarina e, conseqüente, as obras de artes especiais entram em contato com agentes agressivos advindos do ambiente. Desta forma, esse trabalho buscou investigar e apontar as patologias encontradas na Ponte do Ribeirão que liga esse bairro com o da Tapera, construída em concreto armado, no Ribeirão da Ilha de Florianópolis. A metodologia foi feita por meio de registros fotográficos, ensaio e análises pertinentes ao objeto de estudo, a fim de apontar as patologias existentes e suas possíveis causas, assim como correlacioná-las com as já demonstradas em bibliográficas e elaborar um registro de dados que forneça dados a futuros reparos da ponte analisada. Verificou-se que a ponte apresenta diversas patologias como fissuração, ataque de cloretos e sulfatos, exposição e corrosão de armaduras, a maioria em grau alto e de gerando alto risco para a estrutura associada a uma nota 2 atribuída segundo a norma DNIT 010/2004.

Palavras-chave: Patologias; Pontes; Viadutos; Durabilidade; Concreto armado.

ABSTRACT

Civil engineering has enabled the transposition of obstacles previously intangible, some of these obstacles could only be overcome through works of art such as bridges and viaducts. Therefore, even understanding the fact that these works have high durability, the bridges and viaducts for various reasons such as sizing, design, execution and maintenance suffer from pathologies that reduce their life. In addition, Florianópolis is a coastal city in the state of Santa Catarina and, consequently, the special artworks come into contact with aggressive agents coming from the environment. In this way this work sought to investigate and point out the pathologies found in the Ribeirão Bridge that connects this neighborhood with Tapera, built in reinforced concrete, at Ribeirão da Ilha de Florianópolis. The methodology was done through photographic records, testing and analysis relevant to the object of study pointing out the existing pathologies and their possible causes and correlating them with those already demonstrated in literature, thus making a record to provide data for future repairs, if necessary, of the bridge analyzed. It was found that the bridge presents several pathologies such as cracking, chloride and sulfate attack, exposure and corrosion of reinforcement, most of them in high degree and generating high risk to the structure associated with a score of 2 assigned according to the DNIT STANDARD 010/2004.

Keywords: Pathologies; Bridges; Viaducts; Durability; Reinforced Concrete.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha família, que forneceu todos os subsídios para que eu conseguisse alcançar todos os meus objetivos pessoais e profissionais, pessoas como meu irmão Arthur, meus avós Renato e Doroti e meus tios. Dentre esses, em especial à minha mãe, minha maior referência de esforço, dedicação e amor.

Agradeço a Deus por me dar saúde e capacidade para lutar e correr atrás dos meus sonhos.

Agradeço aos meus amigos de faculdade os quais tornaram essa graduação mais prazerosa e forneceram diversos momentos de aprendizado e de companheirismo, em especial ao Thobias Paim e ao Arthur Jonck.

Agradeço à minha namorada Lara, que sempre auxiliou em todos os momentos da graduação fornecendo-me forças quando necessário.

Agradeço ao setor de engenharia civil da Polícia Militar de Santa Catarina, em que tive o prazer de trabalhar com excelentes policiais, engenheiros e arquitetos.

Agradeço ao IFSC, professores e demais profissionais que tornaram possível a graduação de Engenharia Civil com qualidade, respeito e gratuidade.

Também agradeço ao professor orientador Caio Cesar Veloso Acosta, que ao longo da graduação ministrou aulas com muita dedicação e sempre me orientou de maneira amigável, paciente, profissional e zelosa contribuindo em muito para que esse trabalho fosse feito com qualidade.

Também agradeço aos professores Alexandre Oliveira (Leco) e André Puel pelo aceite da banca e recomendações pertinentes a confecção desse trabalho e, também, por darem aulas com maestria e dedicação.

Por fim, agradeço às demais pessoas que auxiliaram em todo o meu processo.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Demonstração de ponte e viaduto.....	4
Figura 2 – Demonstração de infraestrutura, mesoestrutura e superestrutura	5
Figura 3 – Pontes retas – Ortogonais, esconsas.....	8
Figura 4 – Pontes curvas	8
Figura 5 – Pontes horizontais ou em nível	9
Figura 6 – Pontes em rampa: retilíneas ou curvilíneas	9
Figura 7 – Sistemas Estruturais da superestrutura	10
Figura 8 – Seções maciças	11
Figura 9 – Seções vazadas	12
Figura 10 – Seções T	12
Figura 11 – Seção unicelular e multicelular.....	12
Figura 12 – Preenchimento da fôrma com concreto.....	13
Figura 13 – Esforços de compressão e tração e uso de armadura de aço.	14
Figura 14 – Principais compostos do cimento Portland.....	15
Figura 15 –Representação esquemática da formação e da hidratação do cimento Portland.....	16
Figura 16 – Características cimentícias de materiais adicionados ao cimento Portland.	17
Figura 17 – Designação normalizada, sigla e classe do cimento Portland.....	18
Figura 18 – Limites de composição do cimento Portland (porcentagem de massa).	19
Figura 19 – Análise de desgaste natural e intervenção técnica	22
Figura 20 – Classe de agressividade ambiental e risco de deterioração da estrutura	25
Figura 21 – Classe de agressividade e qualidade do concreto (relação água/cimento e classe concreto)	25
Figura 22 – Classe de agressividade e qualidade do concreto (concreto armado versus protendido)	26
Figura 23 – Correlação durabilidade, desempenho e patologias do concreto armado.	27

Figura 24 – Análise das causas e seus quantitativos por grupos em estruturas de concreto.....	28
Figura 25 – Espaçamento irregular em laje e armadura negativa fora de posição....	32
Figura 26 – Efeito do ataque de ácidos no concreto.	42
Figura 27 – Efeito do ataque de ácidos no concreto.	43
Figura 28 – Efeito de ataque de sulfatos e fissuras, trincas ou rachaduras.	44
Figura 29 – Efeito de álcalis-agregado.....	45
Figura 30 – Exemplo de desgaste abrasivo em concreto.....	46
Figura 31 – Efeito do desgaste por cavitação no concreto.....	46
Figura 32 – Processo de carbonatação do concreto.	47
Figura 33 – Concreto carbonatado e película da armadura em processo de destruição.	48
Figura 34 – Ataque de cloreto no concreto e armadura.	48
Figura 35 – Teor máximo de íons cloreto para proteção das armaduras do concreto	49
Figura 36 – Deterioração de lajes centrais do tabuleiro por armadura exposta e oxidada.....	50
Figura 37 – Ponte com armadura em processo de corrosão.....	50
Figura 38 – Concreto carbonatado e película da armadura em processo de destruição.	51
Figura 39 – Concreto carbonatado e película da armadura em processo de destruição.	51
Figura 40 – Perda de seção de armadura por corrosão.....	52
Figura 41 – Destruição do concreto por expansão de armadura.....	52
Figura 42 – Mapa de Santa Catarina	54
Figura 43 – Mapa da ilha de Florianópolis com bairros.	55
Figura 44 – Mapa do sul da ilha de Florianópolis	56
Figura 45 – Localização da ponte na Ilha de Florianópolis	57
Figura 46 – Ligação da ponte Ribeirão - Tapera.....	57
Figura 47 – Visualização da ponte do Ribeirão da Ilha	58
Figura 48 – Visualização da ponte analisada.....	60
Figura 49 – Visualização da ponte analisada em projeto AutoCAD	61
Figura 50 – Descrição dos elementos da ponte analisada – projeto em AutoCAD ...	62

Figura 51 – Visualização da ponte analisada em corte com sinalização – projeto em AutoCAD	63
Figura 52 – Visualização da ponte analisada.....	64
Figura 53 – Visualização da ponte analisada.....	64
Figura 54 – Obstrução do acesso ao outro lado da ponte por vegetação, pedras e animais.....	65
Figura 55 – Registro fotográfico dificultado da ponte devido a vegetação	66
Figura 56 – Pilar imerso com dificuldade de aproximação e verificação de bloco de fundação.	67
Figura 57 – Escolha de um dos locais para ensaio esclerométrico.....	67
Figura 58 – Realização do ensaio não destrutivo com esclerômetro	68
Figura 59 – Esclerômetro Schmidt Modelo N	68
Figura 60 – Contato do esclerômetro com a superfície de concreto (a)	69
Figura 61 –(b) Compressão do embolo sob o concreto e retração da mola.	69
Figura 62 – Botão para travamento do embolo do esclerômetro.....	70
Figura 63 – Aferição do valor fornecido pelo esclerômetro	70
Figura 64 – Liberação do embolo para próximas medições.....	71
Figura 65 – Demonstração dos 9 pontos analisados na longarina L1	71
Figura 66 – Corrosão de armadura e desintegração concreto do pilar P1	73
Figura 67 – Corrosão e rompimento de armadura do pilar P1	74
Figura 68 – Corrosão e deterioração do pilar P2.....	74
Figura 69 – Corrosão e deterioração do pilar P3.....	75
Figura 70 – Corrosão e deterioração do pilar P4.....	75
Figura 71 – Áreas inundáveis SIG Florianópolis - (S 27° 41' 58.15" O 48° 32' 42.36")	76
Figura 72 – Viga de ligação entre pilares V1.....	78
Figura 73 – Viga de ligação entre pilares V2.....	78
Figura 74 – Patologias observadas na viga de ligação V1	79
Figura 75 – Demonstração da fissura presente na viga de ligação V1	79
Figura 76 – Lixiviação presente na viga V1.....	80
Figura 77 – Exposição de armadura presente na viga V2.....	80
Figura 78 – Presença de material biológico na viga de liga V2	81
Figura 79 – Longarina L1	81

Figura 80 – Longarina L2	82
Figura 81 – Deterioração do concreto, abertura patológica na ligação longarina L1 pilar P1	82
Figura 82 – Ruptura de estribos da longarina L1	83
Figura 83 – Exposição e corrosão da armadura da longarina L1	84
Figura 84 – Armadura sem capa de concreto da longarina L1	85
Figura 85 – Armadura vertical exposta e corroída da longarina L1	85
Figura 86 – Exposição, corrosão e abaloamento da armadura longitudinal da longarina L2	86
Figura 87 – Exposição e corrosão da armadura e pilar degradado na longarina L2 ..	86
Figura 88 – Encanamento exposto, degradação e corrosão de armadura da longarina L2	87
Figura 89 – Transversina T1	88
Figura 90 – Transversina T2 e T3	88
Figura 91 – Demonstração fotográfica da transversina T4	89
Figura 92 – Transversina T2	89
Figura 93 – Transversina T2	89
Figura 94 – Patologias de corrosão armadura, fissuração e cor esverdeada na transversina T1	90
Figura 95 – Ligação da transversina T1 e longarina L1 e exposição de armadura. ..	90
Figura 96 – Demonstração fotográfica da transversina T1	91
Figura 97 – Apresentação dos blocos B1	91
Figura 98 – Apresentação do bloco de fundação B2	92
Figura 99 – Apresentação dos blocos B3 e B4, à direita B3.	92
Figura 100 – Tabuleiro entre as transversinas T3 e T4	93
Figura 101 – Tabuleiro entre as transversinas T1 e T3	93
Figura 102 – Exposição de armadura por corrosão do tabuleiro entre T1 e T2	94
Figura 103 – Exposição de armadura por corrosão do tabuleiro entre T3 e T4	94
Figura 104 – Visão geral da parte superior da ponte do Ribeirão - Tapera	95
Figura 105 – Demonstração da faixa de rodagem, passeio, guarda corpo e acesso lateral	96
Figura 106 – Guarda corpo deteriorado	96
Figura 107 – Passeio desgastado devido ao tempo e intempéries	97

Figura 108 – Abertura de fenda no asfalto da ponte	97
Figura 109 – berço próximo a bairro da Tapera	98
Figura 110 – berço próximo a bairro do Ribeirão da Ilha	98
Figura 111 – Resistência à compressão em cubos em N/mm ² (MPa) em função da dureza ao choque.....	104
Figura 112 – Anexo C - norma DNIT 010/2004 – PRO	106
Figura 113 – Avaliação do elemento laje – norma DNIT 010/2004 – Anexo B.....	107
Figura 114 – Avaliação do vigamento principal – norma DNIT 010/2004 – Anexo B	107
Figura 115 – Avaliação da mesoestrutura – norma DNIT 010/2004 – Anexo B	107
Figura 116 – Avaliação da infraestrutura – norma DNIT 010/2004 – Anexo B.....	108
Figura 117 – Avaliação da pista e acesso – norma DNIT 010/2004 – Anexo B	108
Figura 118 – Avaliação final e nota técnica final – norma DNIT 010/2004 – Anexo B	109

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Nomenclatura de pontes por extensão do vão total.	7
Tabela 2 – Tamanho do vão e classificação.	7
Tabela 3 – Tamanho do vão e classificação.	7
Tabela 4 – Nomenclatura do cimento e seu uso recomendado	20
Tabela 5 – Tipologia das falhas e suas possíveis causas.....	29
Tabela 6 – Ilustrações falhas e sua correspondência projetiva.....	34
Tabela 7 – Relação da patologia e sua dimensão de abertura.	36
Tabela 8 – Tipologia da fissura e processo relacionado.	37
Tabela 9 – Ilustrações de fissuras, nomenclatura e possível causa.....	37
Tabela 10 – Divisão de autores sobre degradação do concreto	42
Tabela 11 – Oscilação de marés em Florianópolis com dias, horas e nível.....	77
Tabela 12 – Resultados obtidos pela esclerometria de 9 pontos - Berço.....	99
Tabela 13 – Resultados obtidos pela esclerometria de 9 pontos – longarina L1.....	99
Tabela 14 – Resultados obtidos pela esclerometria de 9 pontos – longarina L2.....	100
Tabela 15 – Resultados obtidos pela esclerometria de 9 pontos – transversina T4.....	100
Tabela 16 – Resultados obtidos pela esclerometria de 9 pontos – pilar P1.....	100
Tabela 17 – Resultados obtidos pela esclerometria de 9 pontos – tabuleiro	101
Tabela 18 – Média aritmética dos valores de esclerometria dos elementos	102
Tabela 19 – Média aritmética dos valores de esclerometria dos elementos	104

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	OBJETIVO PRINCIPAL:.....	2
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS:.....	2
1.3	JUSTIFICATIVA E CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA.....	3
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1	DEFINIÇÃO DE OBRAS DE ARTE ESPECIAIS.....	3
2.2	PONTES E VIADUTOS.....	3
2.3	ELEMENTOS QUE CONSTITUEM ESSAS ESTRUTURAS.....	4
2.4	REQUISITOS PARA PONTES E VIADUTOS.....	5
2.5	CLASSIFICAÇÃO DAS PONTES E VIADUTOS.....	6
2.5.1	Extensão do vão total.....	7
2.5.2	Durabilidade.....	7
2.5.3	Natureza do tráfego.....	8
2.5.4	Desenvolvimento planimétrico.....	8
2.5.5	Desenvolvimento altimétrico.....	9
2.5.6	Sistema estrutural da superestrutura.....	9
2.5.7	Material da superestrutura.....	10
2.5.8	Tipo construtivo da superestrutura.....	11
2.5.9	Seção Transversal.....	11
2.6	CONCEITUAÇÃO E COMPONENTES DO CONCRETO ARMADO.....	13
2.7	O CIMENTO PORTLAND.....	15
2.7.1	Composição química do cimento Portland.....	15
2.7.2	Tipologia de cimentos.....	16
2.8	PATOLOGIAS ESTRUTURAIS.....	20
2.9	DESEMPENHO.....	22
2.10	VIDA ÚTIL.....	23
2.11	DURABILIDADE.....	23
2.12	ORIGEM DAS PATOLOGIAS ESTRUTURAIS.....	27
2.13	CAUSAS DE PATOLOGIAS DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS.....	28
2.14	TIPOS DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NO CONCRETO ARMADO.....	36
2.14.1	Fissuras.....	36
2.14.2	Desintegração do concreto.....	41

2.14.2.1	Ataque de ácidos ou lixiviação	42
2.14.2.2	Ataque de sulfatos e expansão	44
2.14.2.3	Reações álcalis-agregados	45
2.14.2.4	Desgaste do concreto	45
2.14.2.5	Carbonatação do concreto	47
2.14.2.6	Ataque de cloretos	48
2.14.3	Corrosão de armaduras	50
3	ESTUDO DE CASO	53
3.1	LOCALIZAÇÃO	54
3.2	CARACTERIZAÇÃO DA PONTE	58
3.3	CARACTERIZAÇÃO DA PONTE POR PROJETO	60
4	METODOLOGIA	65
5	ANÁLISE DAS PATOLOGIAS OBSERVADAS NA PONTE.....	73
5.1	PILARES	73
5.2	VIGA DE LIGAÇÃO ENTRE OS PILARES	78
5.3	LONGARINAS.....	81
5.4	TRANSVERSINAS.....	88
5.5	BLOCO DE FUNDAÇÃO.....	91
5.6	TABULEIRO	93
5.7	ÁREA DE TRÁFEGO, PASSEIOS E BERÇO	95
6	ESCLEROMETRIA DA PONTE DO RIBEIRÃO DA ILHA	99
6.1	RESULTADOS E ANÁLISE DO ENSAIO DE ESCLEROMETRIA	99
7	AVALIAÇÃO DE RISCOS SEGUNDO NORMA DNIT 010/2004-PRO ...	106
8	CONCLUSÃO	110

1. Introdução

Desde o surgimento da civilização, o homem utilizou-se da construção de estruturas para o atendimento de suas necessidades. Muitas relacionam-se com a engenharia civil, envolvendo um grande nicho de construções como casas, edifícios, escritórios, indústrias, silos, galpões, pontes, cais, barragens e etc. Estes tipos de estruturas passaram por diversas inovações tecnológicas ao longo dos séculos, todavia, apesar dos avanços técnicos inovadores, eles eram sem muitos estudos de longo prazo. Por tratar-se de uma tecnologia nova, efeitos adversos podiam não ser previstos anteriormente, podendo ocorrer problemas e patologias antes desconhecidas. Esses criaram uma possibilidade de deterioração precoce ou de acidentes. Assim, a deterioração precoce ou os acidentes acontecem devido ao desenvolvimento científico e tecnológico da época com falhas inevitáveis na execução e casos de imperícia construtiva. (SOUZA; RIPPER, 2009)

Uma análise pertinente à deterioração estrutural é a patologia construtiva. Essa é a ciência que estuda a origem, os mecanismos, os sintomas e a natureza das doenças construtivas. É basicamente o desvio daquilo que é admitido como uma condição normal e saudável esperada de uma construção, bem como quaisquer anormalidades que conflitem com a integridade do elemento. Na patologia construtiva, apresentam-se elementos de investigação que avaliam causa, origem e possíveis soluções. (SOUZA; RIPPER, 2009)

Dessa forma, o estudo da patologia correlaciona-se diretamente com a deterioração de estruturas, pois um dos causadores dessa é o surgimento de doenças instaladas e não corrigidas ao longo do tempo, principalmente após alguns anos das construções. Os critérios para avaliação de patologias são diversos e apoiam-se em inspeções ou exames para a compreensão e/ou remediação do defeito percebido, a fim de curá-lo definitivamente. (BOLINA; TUTIKIAN; HELENE, 2019)

Este trabalho analisará uma ponte que, segundo a bibliografia, é conhecida como obra de arte especial e que possui a finalidade de transpor obstáculos, de forma a facilitar a locomoção ou, em muitos casos, viabilizá-la. (Pfeil, 1979).

Tal construção está exposta a diversas ações internas e externas, físicas e químicas, como chuvas, água, variação de temperatura, retração, peso de veículos, etc.

Para uma análise patológica mais coerente, são necessários os conhecimentos a respeito do tipo de estrutura, localidade, método construtivo e suas diversas características restantes. Nesse contexto, será avaliada a ponte que liga o Ribeirão da Ilha de Florianópolis ao bairro Tapera. Os dois bairros encontram-se mais especificamente no Sul da Ilha de Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.

1.1 OBJETIVO PRINCIPAL:

- Identificar e averiguar as patologias e possíveis causas e grau de riscos

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Verificar o estado de conservação da obra de arte especial
- Relatar as patologias em obras de arte no sul da ilha de Florianópolis
- Realizar o ensaio de esclerometria
- Avaliar a condição da estrutura e classificá-la de acordo com a NORMA DNIT 010/2004-PRO

1.3 JUSTIFICATIVA E CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

A ponte analisada, por se tratar de uma obra bem antiga (acima de 50 anos), possui muitos procedimentos e materiais que não são utilizados hoje, além disso, ela não sofreu manutenções frequentemente, devido à grande demanda de investimentos necessários. Isso se deve, possivelmente, à insuficiência de manutenções e controle das patologias ao longo dos anos, assim, a obra de arte em questão torna-se, em algum nível, comprometida, o que resulta em deteriorações da estrutura. Assim sendo, a justificativa para esse trabalho é identificar as patologias na ponte do Ribeirão da Ilha, localizada na Rodovia Açoriana, em Florianópolis e suas possíveis causas, a fim de elaborar um relato de sua condição, visto que a mesma se encontra próxima do mar, local em que o nível de agressividade ambiental é intenso, o que ocasiona, ao longo dos anos, patologias estruturais. É notório, também, entender que a ligação da ilha de Santa Catarina ao continente é feita por três pontes e duas delas, Pedro Ivo e Colombo Salles, também próximas ao mar estão com patologias visíveis, gerando um desconforto e desconfiança em seus usuários no quesito segurança, o que confirma a necessidade de manter-se atento às patologias em pontes e viadutos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 DEFINIÇÃO DE OBRAS DE ARTE ESPECIAIS

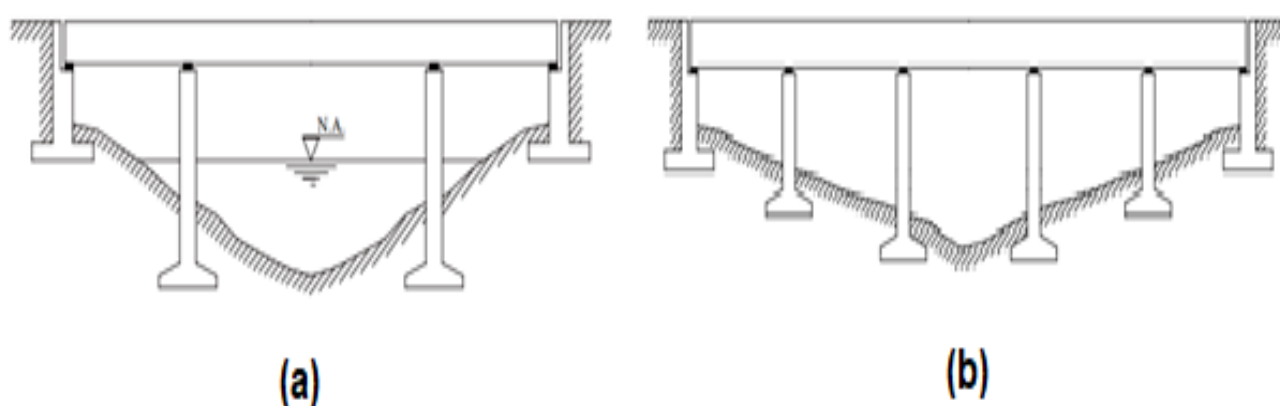
As obras de arte especiais (OAEs) são estruturas que têm como objetivo atravessar obstáculos diversos, sejam eles rios, vales, montanhas. Sua existência possui grande relevância para a humanidade e demais engenharias ao longo do mundo, essencialmente elas dão continuidade à locomoção em ambientes diversos. As obras de arte especiais mais conhecidas são as pontes e viadutos. (PFEIL, 1979)

2.2 PONTES E VIADUTOS

As pontes e os viadutos (Figura 1) são elementos da construção civil de grande importância para garantir a continuidade ao longo das vias, exercendo papel fundamental em transpor impedimentos de locomoção. Pode-se entender como ponte

(Figura 1 - a) o elemento que atravessa obstáculos e é constituído sobre a água, ou seja, uma superfície líquida. Já o viaduto (Figura 1 – b) destina-se a travessia de obstáculos sem uma área molhada embaixo do mesmo, corriqueiramente um vale ou uma via. As pontes e os viadutos muitas vezes trabalham juntos para vencer vãos e ambos apresentam o mesmo comportamento estrutural. (PFEIL, 1979)

Figura 1 – Demonstração de ponte e viaduto



Fonte: El Debs e Takeya (2009)

2.3 ELEMENTOS QUE CONSTITUEM ESSAS ESTRUTURAS

É importante entender como são constituídos esses elementos urbanos para posterior entendimento de suas patologias. Os diversos autores fazem uma divisão dos elementos em três modalidades. Segundo Pfeil (1979) e Marchetti (2008) a estrutura de uma ponte é dividida em três partes: infraestrutura, mesoestrutura e superestrutura. Todavia, El Debs e Takeya (2009) distinguem-se dos anteriores por subdividir as pontes e viadutos em três partes também, mas com subdivisões maiores sendo elas infraestrutura, mesoestrutura (aparelho de apoio, pilar e encontro) e superestrutura.

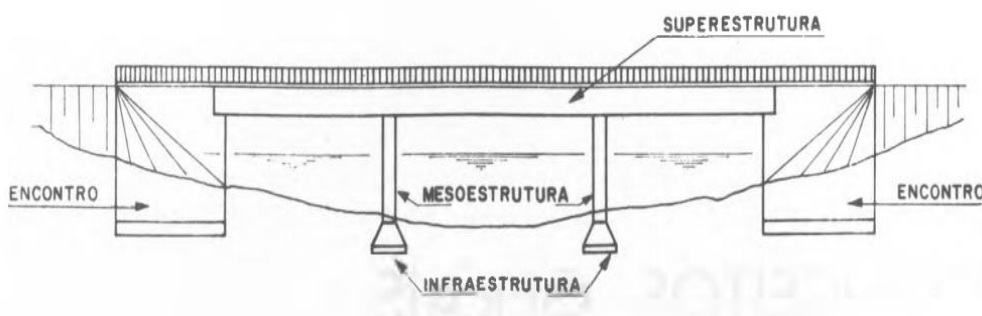
Conforme Pfeil (1979), a infraestrutura de uma ponte pode ser chamada também de fundação e tem um funcionamento similar a uma fundação de uma edificação comum. Seu objetivo principal é transmitir os esforços recebidos da mesoestrutura ao terreno ao qual foi feita a obra, seja ele de rocha ou solo. Como

trata-se de uma fundação, esta apresenta os mesmos elementos das demais obras similares, utilizando blocos, sapatas, estacas, tubulões e seus elementos de ligação de acordo com a necessidade de cada local.

O mesmo autor define, também, a mesoestrutura como um conjunto de pilares, muitas vezes circulares, que sustentam e recebem os esforços da superestrutura e também suporta esforços indiretos como vento e água movimentando no caso de pontes.

Por fim, salienta Pfeil (1979), que a superestrutura é o elemento primordial de sustentação do local de tráfego sendo composta por lajes e vigas principais secundárias, a demonstração da infraestrutura, mesoestrutura e superestrutura está na Figura 2

Figura 2 – Demonstração de infraestrutura, mesoestrutura e superestrutura



Fonte: PFEIL (1979)

2.4 REQUISITOS PARA PONTES E VIADUTOS

Segundo Marchetti (2008), são necessários requisitos para as obras de arte, podendo-se dividir tais requisitos em cinco modalidades, todas essenciais para uma obra de arte especial. São elas:

- **Funcionalidade:** enuncia que a ponte deverá atender de forma eficaz as exigências previstas para a mesma. Portanto, deverá suportar o tráfego estimado e comportar os veículos, bem como os transeuntes, quando previsto local para passagem, dentre outros;
- **Segurança:** refere-se ao fato de a ponte ou viaduto não sofrer ruptura, sendo assim, o seu dimensionamento e materiais devem estar resistindo aos esforços solicitados. As tensões solicitantes sempre estarão aquém das resistidas;

- Estética: é outro requisito a ser observado, a ponte ou viaduto deve apresentar aspecto agradável, que traga a sensação de segurança aos utilizadores da mesma, bem como adequada com o ambiente em que está situada;
- Durabilidade: a ponte ou viaduto deve atender às exigências no tempo previsto em seu projeto, de maneira retornar o valor investido em benfeitorias. Esse requisito relaciona-se com a patologia, pois a ocorrência dessas pode reduzir sua durabilidade;
- Economia: toda construção civil deve ater-se a tal elemento, ou seja, sempre deve haver o comparativo entre várias soluções com o objetivo de reduzir custos, respeitando sempre os demais requisitos.

2.5 CLASSIFICAÇÃO DAS PONTES E VIADUTOS

Diversos autores discorrem a respeito da classificação de pontes e viadutos, logo, existem várias maneiras de as dividirem, cada uma contemplando a característica desejada.

Para Marchetti (2008), é possível classificar as pontes e viadutos em onze modalidades, cada uma de acordo com um grupo de características que se divide em espécies para uma ordenação mais precisa, nesse trabalho serão de interesse as seguintes classificações:

- Extensão do vão total
- Durabilidade
- Natureza do tráfego
- Desenvolvimento planimétrico
- Desenvolvimento altimétrico
- Sistema estrutural da superestrutura
- Material da superestrutura
- Tipo construtivo da superestrutura
- Seção transversal

2.5.1 Extensão do vão total

Nesse grupo há divergência a respeito dos valores e suas respectivas nomenclaturas.

Tabela 1 – Nomenclatura de pontes por extensão do vão total.

Nomenclatura	Marchetti (2008)	El Debs e Takeya (2009)
Bueiro	Até 2 metros	De 2 a 3 metros
Pontilhões	De 2 a 10 metros	De 3 a 10 metros
Pontes	Maior que 10 metros	Maior que 10 metros

Fonte: Marchetti (2008) e El Debs e Takeya (2009)

El Debs e Takeya (2009) ainda definem, para as pontes e viadutos, outro critério, relacionado ao tamanho do vão, conforme a tabela 2 abaixo.

Tabela 2 – Tamanho do vão e classificação.

Tamanho do vão	Classificação
Até 30 metros	Pequenos vãos
De 30 a 60 metros	Médios vãos
De 60 a 80 metros	Grandes vãos

Fonte: El Debs e Takeya (2009)

2.5.2 Durabilidade

Para Marchetti (2008), no quesito durabilidade, as pontes e viadutos são divididas em três segmentos: as desmontáveis, as provisórias e as permanentes, conforme a tabela 3.

Tabela 3 – Tamanho do vão e classificação.

Classificação	Característica
Desmontáveis	Construídas para uma duração limitada, sem reaproveitamento posterior.
Provisórias	Construídas para uma duração limitada até que se construa a obra definitiva, geralmente desviam o tráfego.
Permanentes	Construídas para utilização definitiva, sua durabilidade deve permanecer até o fim de sua previsão de utilização.

Fonte: Adaptado de Marchetti (2008)

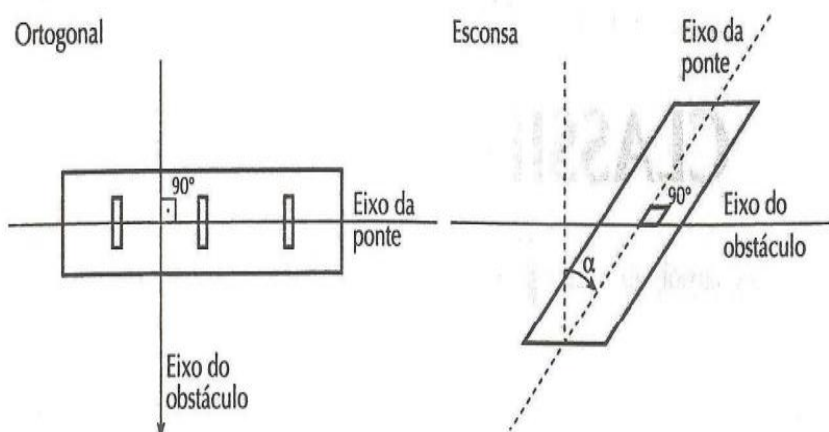
2.5.3 Natureza do tráfego

Para Marchetti (2008) e El Debs e Takeya (2009), no quesito natureza de tráfego, as pontes são divididas em rodoviárias, passarelas, aquedutos, ferroviárias, canal, aeroviárias e mistas.

2.5.4 Desenvolvimento planimétrico

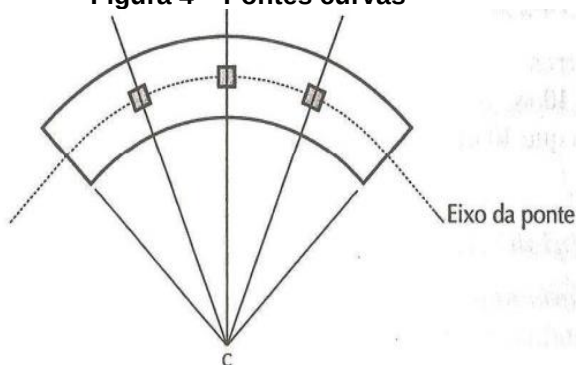
Para Marchetti (2018) essa característica considera o eixo de projeção do elemento em pontes retas (ortogonais e esconsas) ou pontes curvas, conforme a Figura 3 e 4.

Figura 3 – Pontes retas – Ortogonais, esconsas



Fonte: Marchetti (2018)

Figura 4 – Pontes curvas

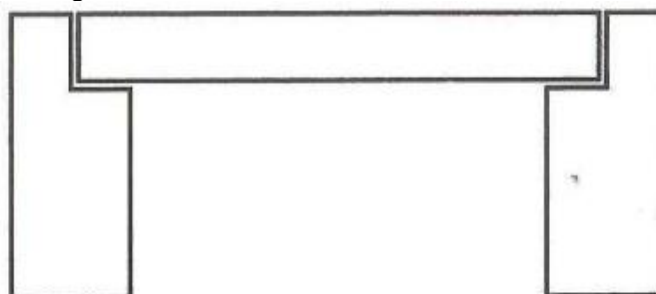


Fonte: Marchetti (2018)

2.5.5 Desenvolvimento altimétrico

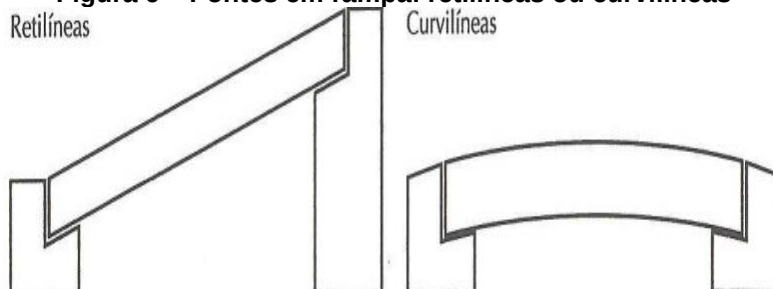
Segundo Marchetti (2008), considerando a projeção do eixo da ponte em plano vertical, temos as seguintes modalidades:

Figura 5 – Pontes horizontais ou em nível



Fonte: Marchetti (2008)

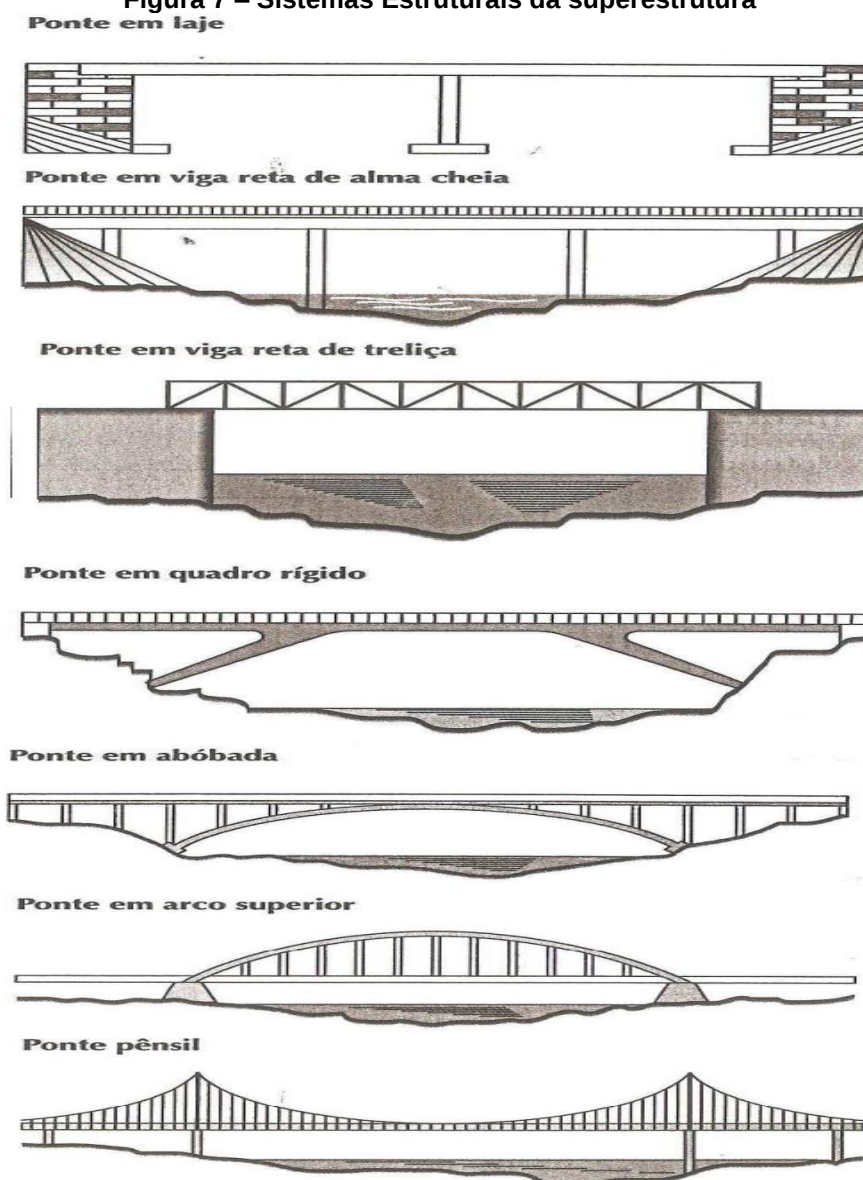
Figura 6 – Pontes em rampa: retilíneas ou curvilíneas



Fonte: Marchetti (2008)

2.5.6 Sistema estrutural da superestrutura

Para Marchetti (2008), podemos ter, dentro do sistema estrutural da superestrutura, as divisões em vigas, pórticos, arco, pênses e atirantadas, conforme demonstrado na Figura 7.

Figura 7 – Sistemas Estruturais da superestrutura

Fonte: Marchetti (2008)

2.5.7 Material da superestrutura

O material da superestrutura é um elemento essencial a ser definido para esse trabalho, segundo Marchetti (2008), as pontes e viadutos podem ser feitas de madeira, alvenaria, concreto armado, concreto protendido, aço e mistas.

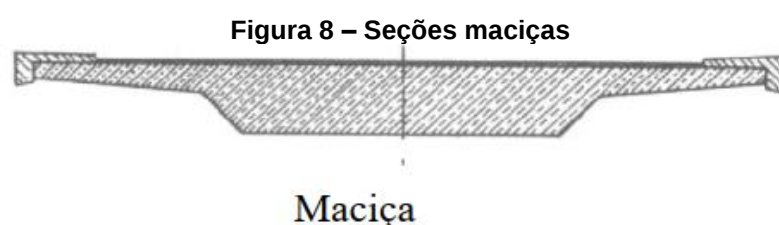
2.5.8 Tipo construtivo da superestrutura

Marchetti (2008) faz distinção quanto ao tipo construtivo da superestrutura em 4 esferas, são elas:

- In loco: A superestrutura é executada no próprio local de construção da ponte, na posição desejada com o escoramento correto, apoiando-se nos pilares pré-existentes.
- Pré-moldada: Os elementos são executados fora do local definitivo da obra e, a seguir, são transportados e colocados no local desejado. Esse método é muito utilizado em obras de arte que utilizem a técnica de concreto protendido.
- Balanços sucessivos: A ponte tem sua superestrutura executada a partir de pilares já construídos, cada parte nova da superestrutura apoia-se em balanço com as partes já executadas. É similar à execução in loco, contudo com características únicas.
- Aduelas ou segmentos: Esse processo é similar ao anterior, apoia-se também em balanço de trechos já construídos. A diferença principal é que as peças são apoiadas em trechos construídos de elementos pré-moldados.

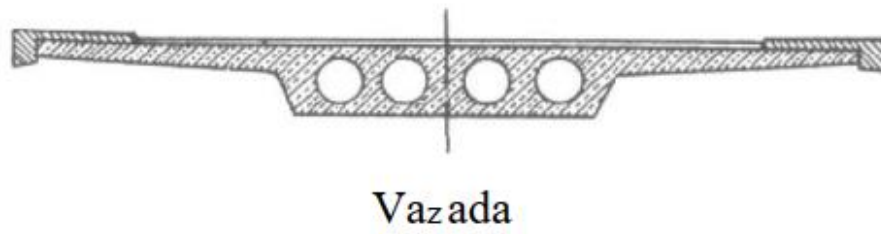
2.5.9 Seção Transversal

De acordo com El Debs e Takeya (1997), outra característica primordial para a compreensão das obras de arte especial é a seção transversal. Esse elemento está relacionado com o tamanho dos vãos, as cargas a serem resistidas, bem como outros elementos de cálculo. Os autores classificam essas seções em quatro tipos: maciças, vazada, seção t e seção celular (Figura 8 a 11).



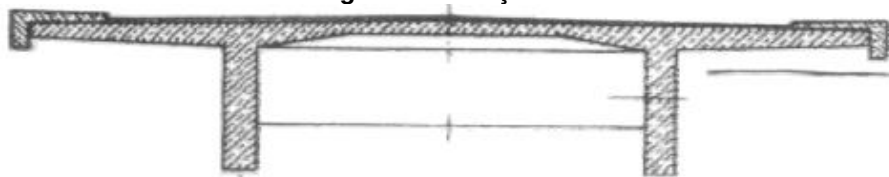
Fonte: El Debs e Takeya (1997)

Figura 9 – Seções vazadas



Fonte: El Debs e Takeya (1997)

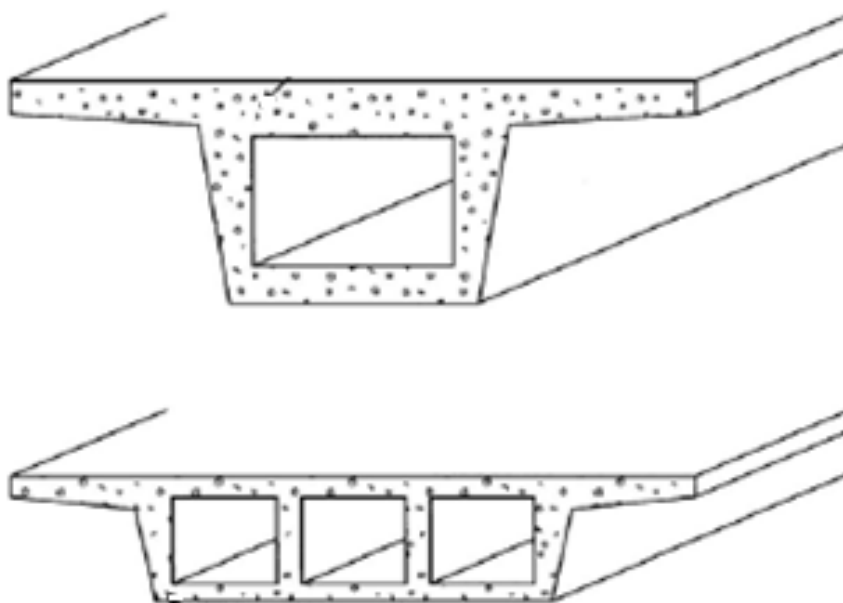
Figura 10 – Seções T



Seção T

Fonte: El Debs e Takeya (1997)

Figura 11 – Seção unicelular e multicelular



Fonte: Adaptado de O'Brien e Keogh (1999)

2.6 CONCEITUAÇÃO E COMPONENTES DO CONCRETO ARMADO

A patologia estrutural relaciona-se diretamente a metodologia e material utilizada no processo construtivo, dessa forma, é necessário entender o conceito do que é concreto armado, bem como seus componentes e suas características. Isso é de relevante importância, visto que a obra de arte especial, que será analisada nesse trabalho, é constituída desse material.

Diversos autores discorrem acerca dos conceitos de concreto armado, (BASTOS, 2014) diz que concreto é um material composto constituído por cimento, água, agregado miúdo (areia) e agregado graúdo (pedra ou brita) e pode conter adições ou aditivos químicos. Ele complementa, ainda, que o concreto armado é basicamente posicionar armaduras de aço em uma fôrma e então depositar concreto fresco, fazendo com que haja coesão entre as armaduras de aço e o concreto (Figura 12) e que após diversos processos, como cura e endurecimento do concreto, origina-se uma peça única, nomeada de concreto armado.

Figura 12 – Preenchimento da fôrma com concreto.



Fonte: (BASTOS, 2014)

Já Porto e Fernandes (2015) entendem como concreto um material composto por agregados graúdos (pedras britadas, seixos rolados), agregados miúdos (areia natural ou artificial), aglomerante (cimento), água, adições mineiras e aditivos (aceleradores, retardadores, fibras, corantes etc.).

Ainda segundo Porto e Fernandes (2015), o concreto possui ótima resistência à compressão, mas não à tração, por isso, para que haja resistência ao esforço de tração adicionou-se a armadura de aço, cumprindo assim ambos os esforços conforme a Figura 13, isso resultou no que se chama de concreto armado.

Figura 13 – Esforços de compressão e tração e uso de armadura de aço.

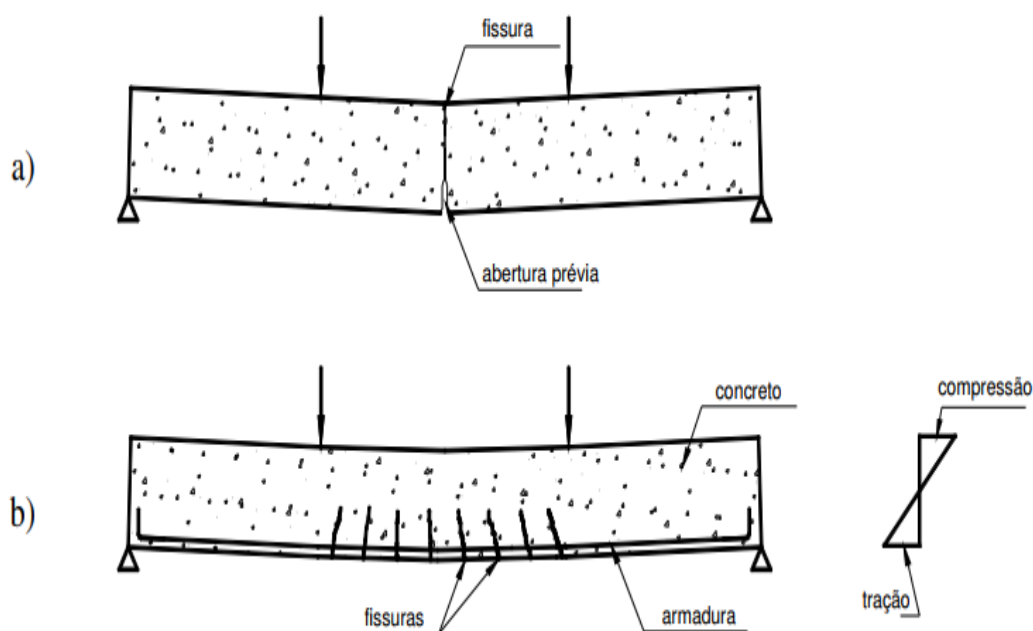


Figura 1.2 - Viga de concreto: a) sem armadura; b) com armadura.

Fonte: (BASTOS, 2014)

Para (BASTOS, 2014), as estruturas de concreto são vistas ao longo de todo o mundo e tratam-se das estruturas preponderantes no Brasil, comparadas aos outros materiais. Ele entende que a disponibilidade dos materiais constituintes do concreto e a oferta de aço explicam a larga utilização das estruturas de concreto no Brasil, como em edifícios de múltiplos pavimentos, portos, barragens, pisos industriais, pavimentos rodoviários, aeroportos, pontes e viadutos (objeto de estudo desse trabalho), dentre outros.

Outras vantagens para uso do concreto armado, segundo Porto e Fernandes (2015), é a economia, facilidade de execução e adaptação a qualquer forma, maiores reservas de segurança, resistência a efeitos atmosféricos e térmicos, resistência a desgastes mecânicos, grande durabilidade dentre outros. Já em relação às desvantagens, o autor menciona o alto valor de peso próprio, o baixo grau de proteção térmica e o isolamento acústico, assim como a fissuração na região tracionada.

2.7 O CIMENTO PORTLAND

O cimento Portland é um material essencial para o concreto armado, ele possui diversos elementos caracterizantes: é um elemento muito estudado ao longo dos anos, a fim de obter seu aprimoramento, pois, junto ao aço, ele desempenha papel fundamental em estruturas de concreto armado.

Esse, segundo Neville (2016), é constituído de silicatos e aluminatos de cálcio e podem ser nomeados de cimentos naturais, cimentos Portland ou cimento aluminosos. O nome cimento Portland, conforme o autor, advém da semelhança em cor e qualidade do cimento endurecido com a pedra de Portland.

2.7.1 Composição química do cimento Portland

De acordo com Neville (2016), as principais matérias primas utilizadas para a produção de cimento Portland são basicamente: calcário, sílica, alumina e óxido de ferro. Tais componentes reagem entre si e formam produtos químicos complexos.

Ainda conforme Neville (2016), quatro compostos são considerados como os principais constituintes do cimento e cada um possui uma abreviatura conforme a Figura 14.

Figura 14 – Principais compostos do cimento Portland

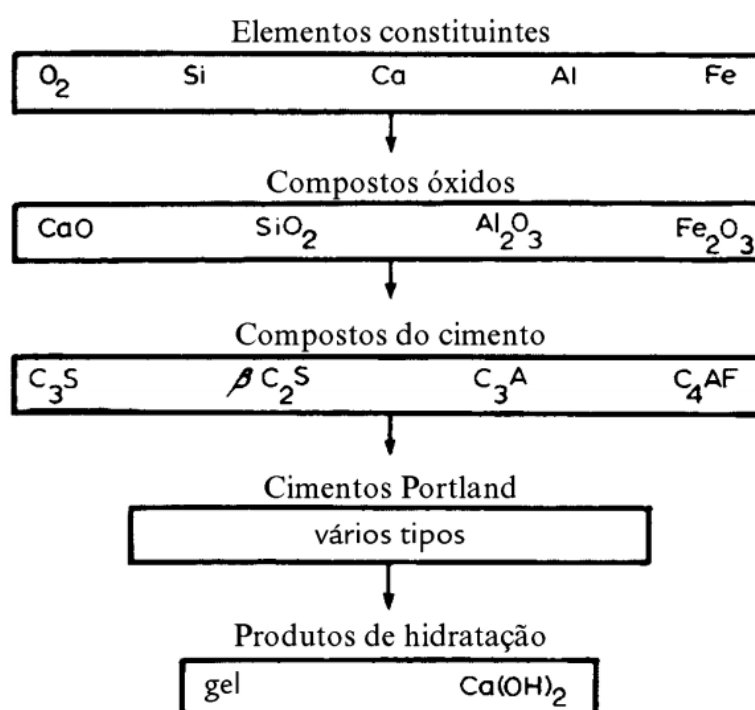
Nome do composto	Composição em óxidos	Abreviatura
Silicato tricálcico	$3\text{CaO}.\text{SiO}_2$	C_3S
Silicato dicálcico	$2\text{CaO}.\text{SiO}_2$	C_2S
Aluminato tricálcico	$3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A
Ferroaluminato tetracálcico	$4\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.\text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF

Fonte: Neville (2016)

Segundo o autor, as abreviações são entendidas da seguinte forma: $\text{CaO} = \text{C}$; $\text{SiO}_2 = \text{S}$; $\text{Al}_2\text{O}_3 = \text{A}$; $\text{Fe}_2\text{O}_3 = \text{F}$; $\text{H}_2\text{O} = \text{H}$. Ele também mostra que existem compostos secundários como: MgO , TiO_2 , Mn_2O_3 , K_2O , dentre outros.

As proporções de cada composto, apresentadas na Figura 14, variam de acordo com o tipo de cimento desejado. Neville (2016) aponta, ainda, uma representação simplificada para a formação e hidratação do cimento Portland, segundo a Figura 15.

Figura 15 –Representação esquemática da formação e da hidratação do cimento Portland



Fonte: Neville (2016)

2.7.2 Tipologia de cimentos

Neville (2016) traz um breve histórico da inserção de outros materiais no cimento Portland, como adição de quantidades muito irrisórias de produtos químicos à mistura com cimento, nomeados de aditivos químicos.

O autor ainda explica que, posteriormente, outros materiais de natureza inorgânica foram introduzidos às misturas com concreto, ele explica que esses compostos inorgânicos foram inseridos inicialmente pelo aspecto econômico e/ou de oferta no local. Contudo, conforme explicado pelo mesmo autor, esses compostos suplementares geraram novos comportamentos desejados ao concreto, não serviram

somente para preencher o concreto de maneira a torná-lo mais econômico. Esses compostos misturados ao cimento Portland original formam uma mistura cimentícia denominadas “cimentos Portland compostos”.

Essa proporção, consoante Neville (2016), varia de acordo com o tipo de cimento desejado, alguns cimentos possuem grande quantidade de cimento Portland original e pouco de outros compostos, já outros cimentos podem inverter essas proporções de acordo com a característica desejada, como: velocidade de ganho de resistência à compressão, velocidade de liberação de calor de hidratação, resistência a sulfatos, entre outras.

As características do concreto estão intimamente ligadas aos seus componentes individuais e, posteriormente, à mistura. Neville (2016) aponta, ainda, diversas colocações a respeito dos tipos de cimento referentes ao seu material inorgânico, adicionado conforme a Figura 16, nela podemos observar alguns tipos de materiais e suas características cimentícias associadas.

Figura 16 – Características cimentícias de materiais adicionados ao cimento Portland.

Material	Característica cimentícia
Clínquer de cimento Portland	Totalmente cimentício (hidráulico)
Escória granulada de alto-forno	Hidraulicidade latente, algumas vezes hidráulica
Pozolana natural (classe N)	Hidraulicidade latente com cimento Portland
Cinza volante silicosa (classe F)	Hidraulicidade latente com cimento Portland
Cinza volante com elevado teor de calcário (classe C)	Hidraulicidade latente com cimento Portland
Sílica ativa	Ação física, em grande parte, e hidraulicidade latente com cimento Portland
Fíler calcário	Ação física, mas leve hidraulicidade latente com cimento Portland
Outros fílers	Quimicamente inertes, somente ação física

Fonte: Neville (2016)

A característica cimentícia, ainda segundo Neville (2016), pode ser entendida da seguinte forma:

- Hidráulico: Sofre hidratação e contribui para resistência do concreto.

- Hidraulicidade latente: A atividade hidráulica manifesta-se somente em consequência das reações químicas com outros compostos, usualmente, produtos da hidratação do cimento Portland.
- Quimicamente inerte: Com pouca ou nenhuma reação com o cimento, mas com efeitos como o de ser catalisador para hidratação de outros materiais e, até, de efeito físico nas propriedades do concreto.

A ABNT NBR 16697 (2018), Cimento Portland - Requisitos, nas Figuras 17 e 18, traz as definições e características pertinentes para compreensão dos tipos de cimento Portland.

Figura 17 – Designação normalizada, sigla e classe do cimento Portland.

Designação normalizada (tipo)	Subtipo	Sigla	Classe de resistência	Sufixo
Cimento Portland comum	Sem adição	CP I	25, 32 ou 40 ^c	RS ^a ou BC ^b –
	Com adição	CP I-S		
Cimento Portland composto	Com escória granulada de alto forno	CP II-E		
	Com material carbonático	CP II-F		
	Com material pozolânico	CP II-Z		
Cimento Portland de alto-forno		CP III		
Cimento Portland pozolânico		CP IV		
Cimento Portland de alta resistência inicial		CP V	ARI ^d	
Cimento Portland branco	Estrutural	CPB	25, 32 ou 40 ^c	–
	Não estrutural	CPB	–	

^a O sufixo RS significa resistente a sulfatos e se aplica a qualquer tipo de cimento Portland que atenda aos requisitos estabelecidos em 5.3, além dos requisitos para seu tipo e classe originais.

^b O sufixo BC significa baixo calor de hidratação e se aplica a qualquer tipo de cimento Portland que atenda aos requisitos estabelecidos em 5.4, além dos requisitos para seu tipo e classe originais.

^c As classes 25, 32 e 40 representam os valores mínimos de resistência à compressão aos 28 dias de idade, em megapascals (MPa), conforme método de ensaio estabelecido pela ABNT NBR 7215.

^d Cimento Portland de alta resistência inicial, CP V, que apresenta a 1 dia de idade resistência igual ou maior que 14 MPa, quando ensaiado de acordo com a ABNT NBR 7215 e atende aos demais requisitos estabelecidos nesta Norma para esse tipo de cimento.

Fonte: ABNT NBR 16697 (2018)

Figura 18 – Limites de composição do cimento Portland (porcentagem de massa).

Designação normalizada		Sigla	Classe de resistência	Sufixo	Clinker + sulfatos de cálcio	Escória granulada de alto-forno	Material pozzolânico	Material carbonático
Cimento Portland comum		CP I	25, 32 ou 40	RS ou BC	95 – 100	0 – 5		
		CP I-S			90 – 94	0	0	6 – 10
Cimento Portland composto com escória granulada de alto-forno		CP II-E			51 – 94	6 – 34	0	0 – 15
Cimento Portland composto com material pozzolânico		CP II-Z			71 – 94	0	6 – 14	0 – 15
Cimento Portland composto com material carbonático		CP II-F			75 – 89	0	0	11 – 25
Cimento Portland de alto forno		CP III			25 – 65	35 – 75	0	0 – 10
Cimento Portland pozzolânico		CP IV			45 – 85	0	15 – 50	0 – 10
Cimento Portland de alta resistência inicial		CP V ^a	ARI		90 – 100	0	0	0 – 10
Cimento Portland branco	Estrutural	CPB	25, 32 ou 40		75 – 100	–	–	0 – 25
	Não estrutural		–	–	50 – 74	–	–	26 – 50

^a No caso de cimento Portland de alta resistência inicial resistente a sulfatos (CP V-ARI RS), podem ser adicionadas escórias granuladas de alto-forno ou materiais pozzolânicos.

Fonte: NBR 16698:2018

A Figura 17, segundo a ABNT NBR 16697 (2018), diz respeito à designação do tipo de cimento, assim como seus subtipos, siglas, classes de resistência e sufixos. Essas classificações são importantes, uma vez que, por exemplo, é de interesse que o concreto seja resistente a sulfatos em determinadas obras.

Já na Figura 18, a ABNT NBR 16697 (2018) demonstra a designação dos limites de composição do cimento quanto aos tipos, siglas, classes de resistência e sufixos, mas, somado a isso, tem-se o percentual de cada material do cimento, como: clínquer, escória de alto forno, material pozzolânico, etc.

Vários cimentos foram desenvolvidos para garantir uma durabilidade adequada do concreto para condições específicas, contudo, nenhum cimento possui uma proteção total para todos os problemas de durabilidade do concreto. (NEVILLE, 2016).

Ainda segundo Neville (2016), e conforme já visto anteriormente através das Figuras 17 e 18, os cimentos têm propriedades únicas e específicas para o tipo de construção desejada. Para resumir, os conceitos propostos por Neville (2016) resultaram na Tabela 4.

Tabela 4 – Nomenclatura do cimento e seu uso recomendado

Nomenclatura do cimento	Recomendação de uso
Cimento Portland comum (TIPO I)	Adequado para uso em construções normais de concreto, onde não haja risco de exposição a sulfatos no solo ou em águas subterrâneas.
Cimento Portland de alta resistência inicial (TIPO III)	Esse cimento possui um aumento de velocidade para ganho de resistência inicial, o seu uso é indicado para casos onde necessita-se rápido desenvolvimento de resistência, basicamente em obras rápidas.
Cimento Portland resistente a sulfatos	Recomendado a ambientes que possuem alto nível de ataque de sulfatos. Contudo, não é recomendável se houver risco de presença de íons cloreto no concreto armado.
Cimento Portland de alto-forno	Recomendado como cimentos de baixo calor de hidratação, quando lançados de grandes massas de concreto em que é necessário o controle de temperatura, às vezes também é vantajosa contra ataques químicos.
Cimentos pozolânico	Recomendado, pois possui baixo calor de hidratação e possui algum grau de resistência a sulfatos e ácidos fracos.

Fonte: Adaptado de Neville (2016)

A Tabela 4, segundo Neville (2016), explica a tipologia do cimento e sua recomendação de uso, o autor entende que o cimento é um componente primordial no concreto e, por isso, é importante compreender seu uso adequado.

Os cimentos são diversos, logo, não existe um cimento que seja o melhor em todas as situações, assim, deve-se analisar qual cimento irá atingir o fim específico. (NEVILLE, 2016)

Por isso, a Tabela 4 demonstra, de maneira lógica, a correlação de alguns cimentos com seu uso diante de obras com diversos ambientes e para concretos com algumas características desejadas, como resistência a ataque de sulfatos e ácidos, por exemplo (fatores que ocasionam patologias no concreto armado e protendido).

2.8 PATOLOGIAS ESTRUTURAIS

A civilização contemporânea, nas suas características atuais, só existe graças à evolução e à construção de obras civis ao longo dos séculos. Entretanto, segundo Souza e Ripper (2009), cada época vivenciou sua limitação científica e tecnológica, fazendo com que as diversas obras distribuídas ao longo do mundo e dos séculos apresentassem patologias estruturais, devido ao uso de métodos sem muitos estudos

de longo prazo, essas limitações ao livre desenvolvimento científico e tecnológico, as falhas involuntárias e as imperícias ocorridas durante a confecção de construções, ao longo da história, ocasionaram um desempenho insatisfatório para os elementos, se revisado sua finalidade.

Ainda conforme Souza e Ripper (2009), pode-se associar esse desempenho insatisfatório como uma deterioração estrutural. Ela possui como possíveis causas: o envelhecimento da estrutura, os acidentes, a irresponsabilidade dos executores aplicando materiais fora dos especificados para a finalidade específica, etc. Diante disso, segundo o autor, a Engenharia de Estruturas dotou-se de realizar, dentro dos artifícios técnicos científicos, a promoção e alteração de métodos negativos, criando assim um novo campo de conhecimento focado em analisar o comportamento e problemas das estruturas.

Nesse diapasão, conforme Souza e Ripper (2009), houve o surgimento da patologia de estruturas que se ocupa no estudo das origens, das formas de manifestação, das consequências e dos mecanismos para as falhas e degradação de estruturas. O autor discorre que não somente é notória a utilidade para estruturas futuras, mas também para as estruturas já existentes, a fim de preservá-las ou recuperá-las.

Já Helene (1992) entende a patologia das estruturas como a análise dos sintomas, mecanismos, causas e origens dos defeitos nas construções civis, tal como Souza e Ripper (2009).

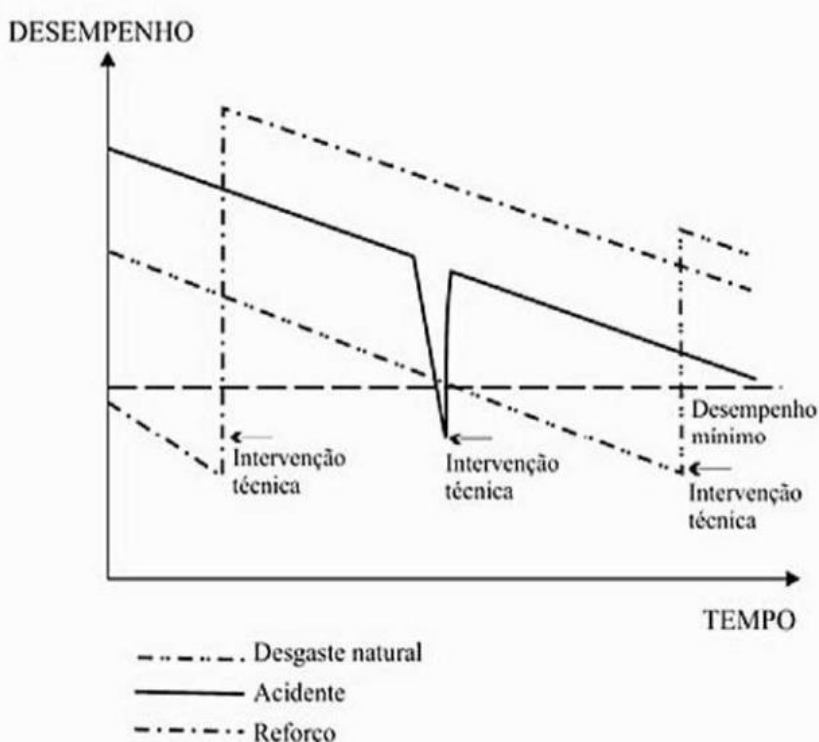
Etimologicamente, a palavra patologia, segundo o Dicionário Brasileiro de Língua Portuguesa MICHAELIS, é “Ciência que estuda todos os aspectos da doença, com especial atenção à origem, aos sintomas e ao desenvolvimento das condições orgânicas anormais e suas consequências.” e possui origem da palavra francesa “pathologie”, diante disso é compreensível é possível perceber uma convergência de definições, sendo a do Dicionário Brasileiro de Língua Portuguesa MICHAELIS mais abrangente.

2.9 DESEMPENHO

Conforme Souza e Ripper (2009), entende-se como desempenho a forma de trabalhar do produto quando colocado em serviço durante sua vida útil. Já a NBR 6118/2014 orienta o desempenho em serviço como a capacidade do elemento manter-se em condições plenas no seu uso, não sofrendo danos que prejudiquem seu uso projetado, total ou parcialmente.

Tanto Souza e Ripper (2009), como a NBR 6118/2014 entendem que o desgaste ocorrerá independente do material construtivo, pois ele não será totalmente inerte ao meio, todavia, ambos entendem que a estrutura deve fornecer recursos para cumprir o projeto o qual foi elaborado. Consoante a isso, Souza e Ripper (2009) explicam que a situação mais correta, em relação a uma estrutura, é a de elaborar um projeto no qual a construção tenha manutenção de fácil acesso e deterioração mínima. Com o objetivo de elucidar o tema, o autor ainda demonstra uma representação visual do desgaste natural, acidente (patologias) e de uma intervenção para reforço e sua relação imediata com a estrutura ao longo do tempo, através da Figura 19 abaixo.

Figura 19 – Análise de desgaste natural e intervenção técnica



Fonte: Souza e Ripper (2009)

2.10 VIDA ÚTIL

A ABNT NBR 6118 (2014), através da definição de vida útil de projeto, conceitua da seguinte forma:

“Por vida útil de projeto, entende-se o período de tempo durante o qual se mantêm as características das estruturas de concreto, desde que atendidos os requisitos de uso e manutenção prescritos pelo projetista e pelo construtor”

A ABNT NBR 6118 (2014) ainda elenca que o conceito de vida útil se estende para a estrutura como um conjunto ou de maneira isolada, orientando a possibilidade de analisar-se as partes das estruturas e definir considerações especiais e próprias em relação à estrutura global.

Dito isso, Souza e Ripper (2009) definem como vida útil do material “o período durante o qual as suas propriedades permanecem acima dos limites mínimos especificados” e complementa que o conhecimento desse conceito é essencial para um orçamento mais verossímil da realidade das obras e seus programas de manutenção.

2.11 DURABILIDADE

Os conceitos de vida útil e durabilidade, por vezes, confundem-se. Todavia, cada um demonstra uma característica atrelada, mesmo interdependentes, eles apenas complementam-se, não sendo sinônimos. A durabilidade, diferente da vida útil da estrutura definida pela ABNT NBR 6118 (2014), é “na capacidade de a estrutura resistir às influências ambientais previstas e definidas em conjunto pelo autor do projeto estrutural e o contratante, no início dos trabalhos de elaboração do projeto “.

A NBR 6118/2014 ainda explica que para estruturas de concreto, algumas exigências devem ser respeitadas, conforme o seu trecho:

“As estruturas de concreto devem ser projetadas e construídas de modo que sob as condições ambientais previstas na época do projeto e quando utilizadas conforme preconizado em projeto conservem suas seguranças, estabilidade e aptidão em serviço durante o período correspondente à sua vida útil.”

Já Souza e Ripper (2009) conceituam durabilidade como:

“O parâmetro que relaciona a aplicação destas características a uma determinada construção, individualizando-a pela avaliação da resposta que dará aos efeitos da agressividade ambiental, e definindo, então, a vida útil da mesma.”

Os autores ainda correlacionam esse conceito às estruturas moldadas em concreto, contemplando que deve ser observada a característica do cimento com água. Souza e Ripper (2009) entendem que características associadas à durabilidade do concreto, como: densidade, compacidade, porosidade, permeabilidade, capilaridade, fissuração e resistência mecânica relacionam-se com a água e, não restrito a isso, conseguem indicar a classificação de uma estrutura como durável ou não.

Somado a isso, Souza e Ripper (2009) ainda preveem para o concreto outro fator de alta relevância: a agressividade ambiental. A ação ambiental faz com que haja entrada de líquidos e gases contidos no ambiente externo para o material de concreto, o que possivelmente poderá ocasionar patologias.

Em complemento ao exposto pelos autores Souza e Ripper (2009), a NBR 6118/2014 apresenta a relação de agressividade ambiental do concreto armado como:

“A agressividade do meio ambiente está relacionada às ações físicas e químicas que atuam sobre as estruturas de concreto, independentemente das ações mecânicas, das variações volumétricas de origem térmica, da retração hidráulica e outras previstas no dimensionamento das estruturas de concreto.”

Ela ainda classifica as classes de agressividade ambiental e os riscos de deterioração da estrutura, conforme Figura 20.

Figura 20 – Classe de agressividade ambiental e risco de deterioração da estrutura

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: NBR 6118/2014

Souza e Ripper mostram, ainda, que as normas técnicas permitem aos projetistas e profissionais responsáveis individualizar fatores que afetam os elementos estruturais através de recomendações que evitam patologias, como: a corrosão de armaduras e fissuramento do concreto. São recomendações em relação à dosagem de cimento, à metodologia de cura do concreto e ao cobrimento mínimo das armaduras.

A NBR 6118/2014 apresenta alguns critérios e orientações de projeto, que devem ser analisadas pelo projetista para melhorar as condições de durabilidade do concreto armado, conforme as Figuras 21 e 22.

Figura 21 – Classe de agressividade e qualidade do concreto (relação água/cimento e classe concreto)

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

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

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

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

Fonte: NBR 6118/2014

Figura 22 – Classe de agressividade e qualidade do concreto (concreto armado versus protendido)

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV ^c
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje ^b	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo ^d	30		40	50
Concreto protendido ^a	Laje	25	30	40	50
	Viga/pilar	30	35	45	55

^a Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para concreto armado.

^b Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento, como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelas de 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal ≥ 15 mm.

^c Nas superfícies expostas a ambientes agressivos, como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, devem ser atendidos os cobrimentos da classe de agressividade IV.

^d No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal ≥ 45 mm.

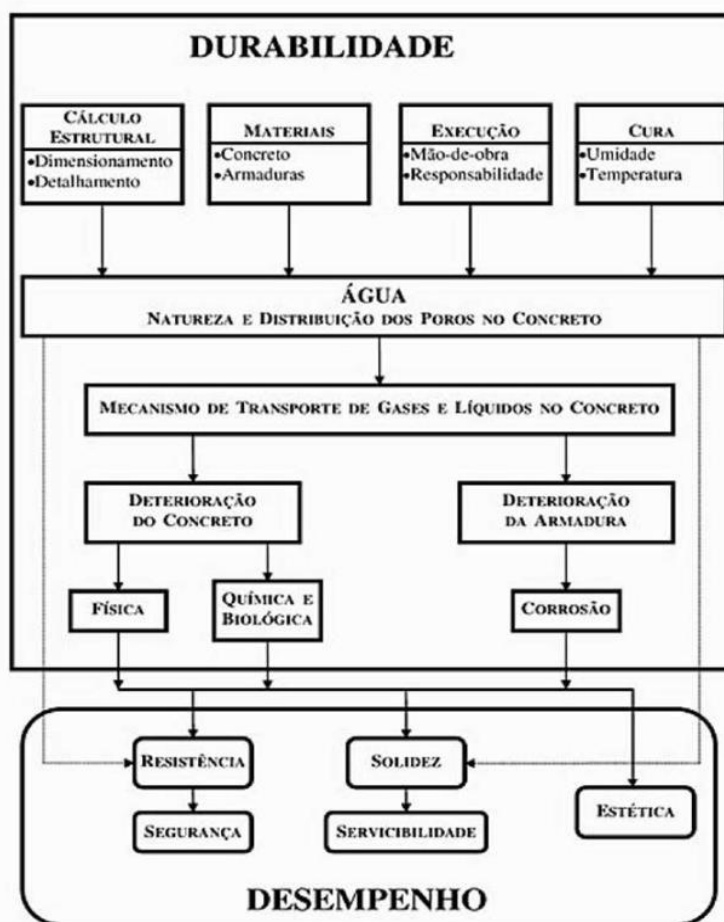
Fonte: NBR 6118/2014

As Figuras 21 e 22 mostram a resistência do concreto conforme sua classe, a relação água/cimento, o tipo de estrutura, o componente ou elemento dentre outros.

Diante disso, a NBR 6118/2014 faz algumas orientações para que haja um aumento da qualidade da obra e sua durabilidade, como: ensaios comprobatórios de desempenho, previsão de vida útil dos elementos estruturais isolados, não utilização de aditivos de cloretos e barras dispostas dentro do concreto. Tudo isso para garantir seu cobrimento e cuidados no lançamento, adensamento e vibração do concreto, dentre outras recomendações.

Por fim, Souza e Ripper (2009) trazem um esquema, mostrado na Figura 23, que ilustra, superficialmente, alguns dos diversos fatores que afetam a durabilidade, vida útil e, conseqüentemente, o desempenho.

Figura 23 – Correlação durabilidade, desempenho e patologias do concreto armado.



Fonte: Souza e Ripper (2009)

2.12 ORIGEM DAS PATOLOGIAS ESTRUTURAIS

As causas das patologias estruturais têm origem nos mais diversos momentos das construções civis, as quais afetam as pontes e viadutos.

Segundo Souza e Ripper (2009), excetuando-se os casos de catástrofes naturais, em que há um aumento abrupto de solicitações e possui caráter imprevisível de previsão desses fenômenos, os problemas patológicos possuem origem não somente em falhas que ocorrem em uma ou mais das atividades do processo construtivo de estruturas, bem como no sistema de controle de qualidade dos materiais ou atividades divididas nas etapas de projeto, construção e manutenção das estruturas.

Consoante a isso, Vitório (2002) explica que as pontes e viadutos, assim como os seres humanos, podem passar por efeitos de doenças congênitas e adquiridas e que são vulneráveis a acidentes e deterioração, diante do passar do tempo.

Os autores Souza e Ripper (2009) ainda explicam que, na busca de uma definição de quais atividades foram responsáveis pela produção de erros, autores, de diversas épocas e nacionalidade, estudaram as causas dos problemas patológicos e dividiram suas ponderações a respeito da quantidade de erros cometidos por elemento da construção ou por etapa da construção (Figura 24).

Figura 24 – Análise das causas e seus quantitativos por grupos em estruturas de concreto.

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

Fonte: Souza e Ripper (2009)

2.13 CAUSAS DE PATOLOGIAS DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS

Segundo Souza e Ripper (2009), antes de analisar uma estrutura que possui a presença de doenças construtivas, é importante compreender o motivo do desenvolvimento dela, para que assim haja um esclarecimento a respeito da causa antes da aplicação da correção necessária, os autores ainda apontam que o conhecimento da causa é primordial, pois se não for identificado, mesmo com as correções, a patologia voltará a aparecer ao longo do tempo.

Dito isso, diversos autores apontam causas e falhas estruturais que se relacionam com o tema patologias construtivas. Conforme Vitório (2002), as estruturas de modo geral conseguem se manter durante um grande período com alta durabilidade, mesmo com condições adversas, contudo, para aumentar a vida útil delas, é necessário conhecer os erros e possíveis falhas estruturas.

Vitório (2002) as classifica diante de quatro grupos: as falhas congênicas, as falhas adquiridas durante a construção, as falhas motivadas por causas acidentais e as falhas adquiridas devido às condições de exposição.

Consequentemente, o autor faz uma inter-relação entre a falha e a sua possível causa, ainda que seja apenas um rol explicativo de possibilidades e não taxativo, essa inter-relação pode ser observada na Tabela 5.

Tabela 5 – Tipologia das falhas e suas possíveis causas

TIPOLOGIA DA FALHA	POSSÍVEIS CAUSAS
• CONGÊNICAS	• MÁ CONCEPÇÃO DO PROJETO • INADEQUADO ESTUDO DAS CONDIÇÕES DO LOCAL DA OBRA • INOBSERVÂNCIA DAS NORMAS TÉCNICAS
• ADQUIRIDAS DURANTE A CONSTRUÇÃO	• USO DE MATERIAIS IMPRÓPRIOS E/OU CARACTERÍSTICAS DIFERENTES DO PROJETO. • UTILIZOU-SE MÉTODOS OU EQUIPAMENTOS INADEQUADOS. • MÃO-DE-OBRA NÃO ESPECIALIZADA • FALTA DE CONEXÃO ENTRE MEMBROS DA CONSTRUÇÃO
• MOTIVADAS POR CAUSAS ACIDENTAIS	• CARREGAMENTO EXCESSIVO • UTILIZAÇÃO INCORRETA DA ESTRUTURA • MUDANÇA DE CONDIÇÕES ORIGINAIS DO LEITO DO RIO
• ADQUIRIDAS DEVIDO ÀS CONDIÇÕES DE EXPOSIÇÃO	• OBRAS SITUADAS EM UM MEIO-AMBIENTE AGRESSIVO

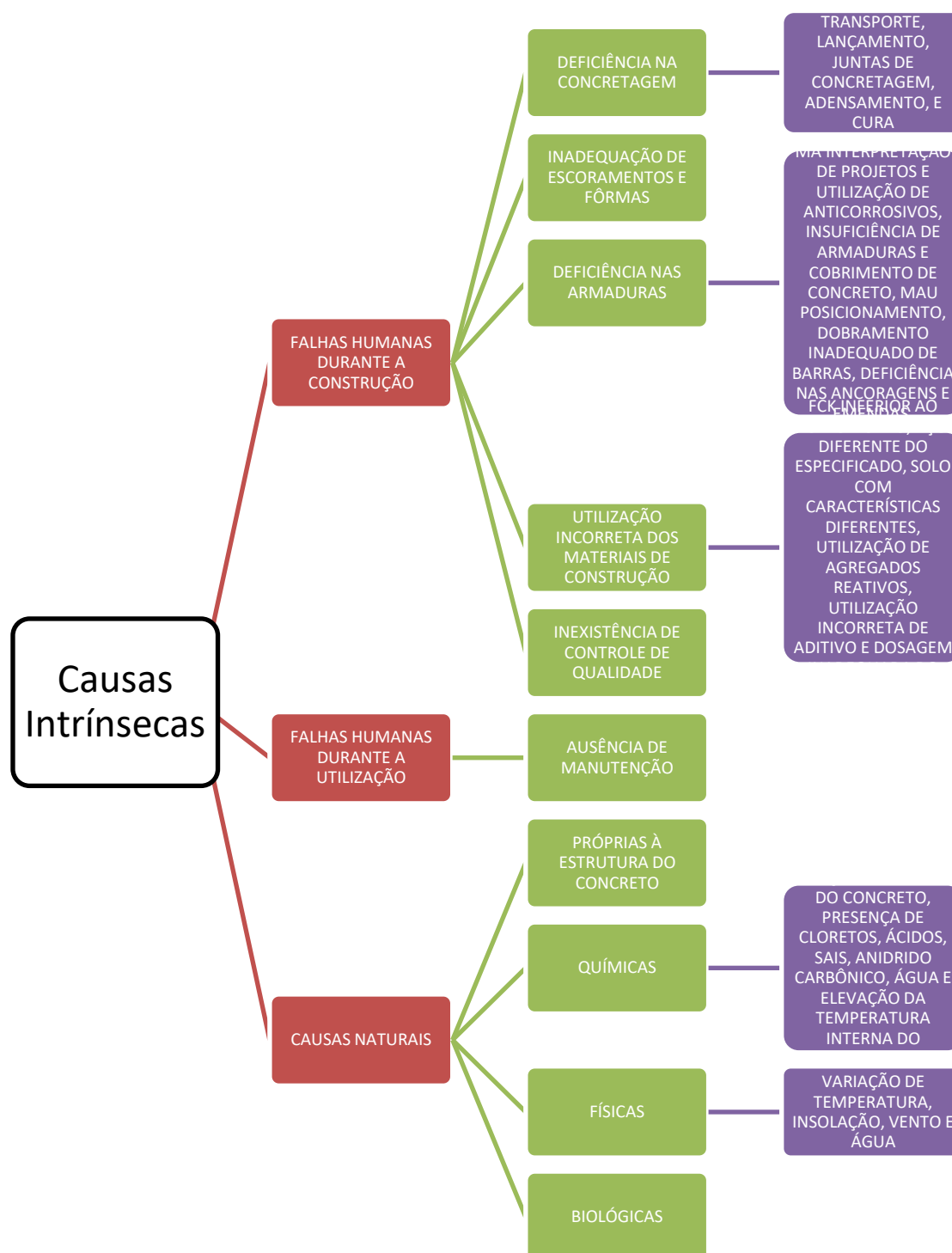
Fonte: Adaptado de Vitório (2002)

Em uma explicação breve, a tabela anterior demonstra que, segundo o autor, cada uma das falhas está caracterizada por possíveis causas, sendo elas: ações (má concepção, estudo inadequado, uso de materiais impróprios etc.) ou omissões (inobservância as normas técnicas, falta de conexão entre os membros etc.), que ocorrem em diversos momentos da construção de determinado elemento, por conta

disso, há uma deterioração da estrutura com regime mais rápido do que se não houvessem falhas.

Entretanto, para Souza e Ripper (2009), é possível encontrar uma outra divisão diversa da proposta anteriormente para caracterizar as causas responsáveis pela deterioração das estruturas. Eles explicam que existe certo grau de complexidade nesse estudo e que essa é uma matéria de constante evolução. Ainda que haja certa dificuldade em definir de maneira precisa as causas exatas para a deterioração de estruturas, os autores definem-nas diante de duas classificações gerais, que interagem entre si e relacionam-se com divisões mais específicas. As gerais são divididas em: causas intrínsecas (inerentes às estruturas) e causas extrínsecas (externas ao elemento estrutural).

Diagrama 1 – Causas intrínsecas na deterioração das estruturas



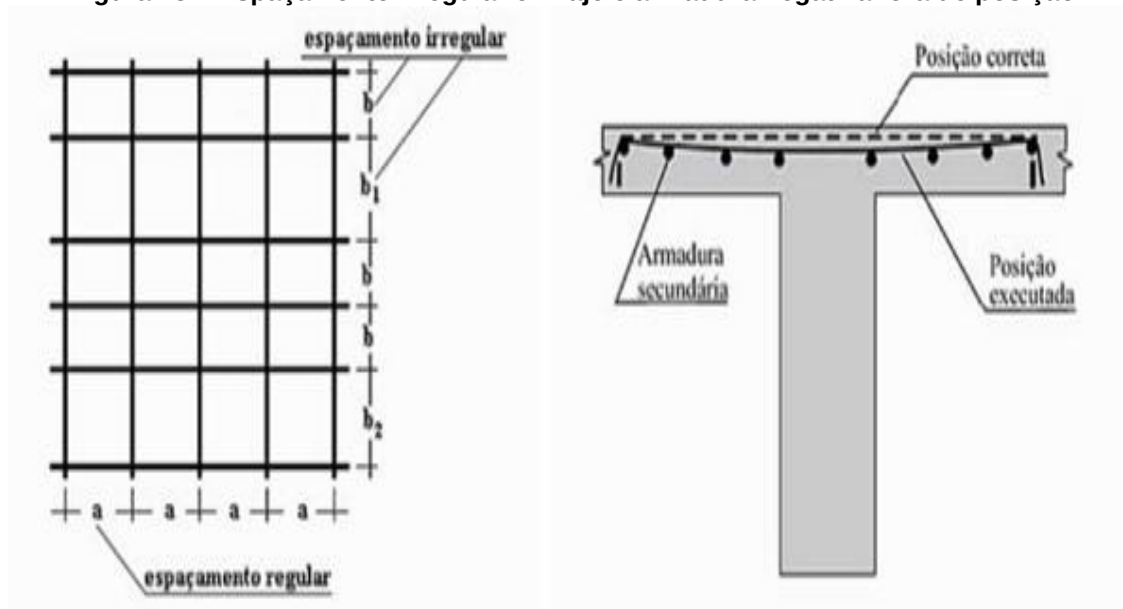
Fonte: Adaptado de Souza e Ripper (2019)

O diagrama 1 discute a respeito das causas intrínsecas, que são as inerentes às próprias estruturas, entendidas como as causas que possuem origem nos materiais e peças estruturais no processo de execução ou utilização da obra, por falhas humanas, pelo material em si e por ações externas. (SOUZA; RIPPER, 2009)

Visto isso, os autores explicam que as falhas humanas são as geradas por equipe técnica desqualificada, o que gera erros como: deficiências de concretagem,

processos de fôrmas e escoramento incorretos, diversas deficiências nas armaduras (como na Figura 25), materiais inseridos de forma equivocada ou desrespeitando o projeto, dentre outros.

Figura 25 – Espaçamento irregular em laje e armadura negativa fora de posição

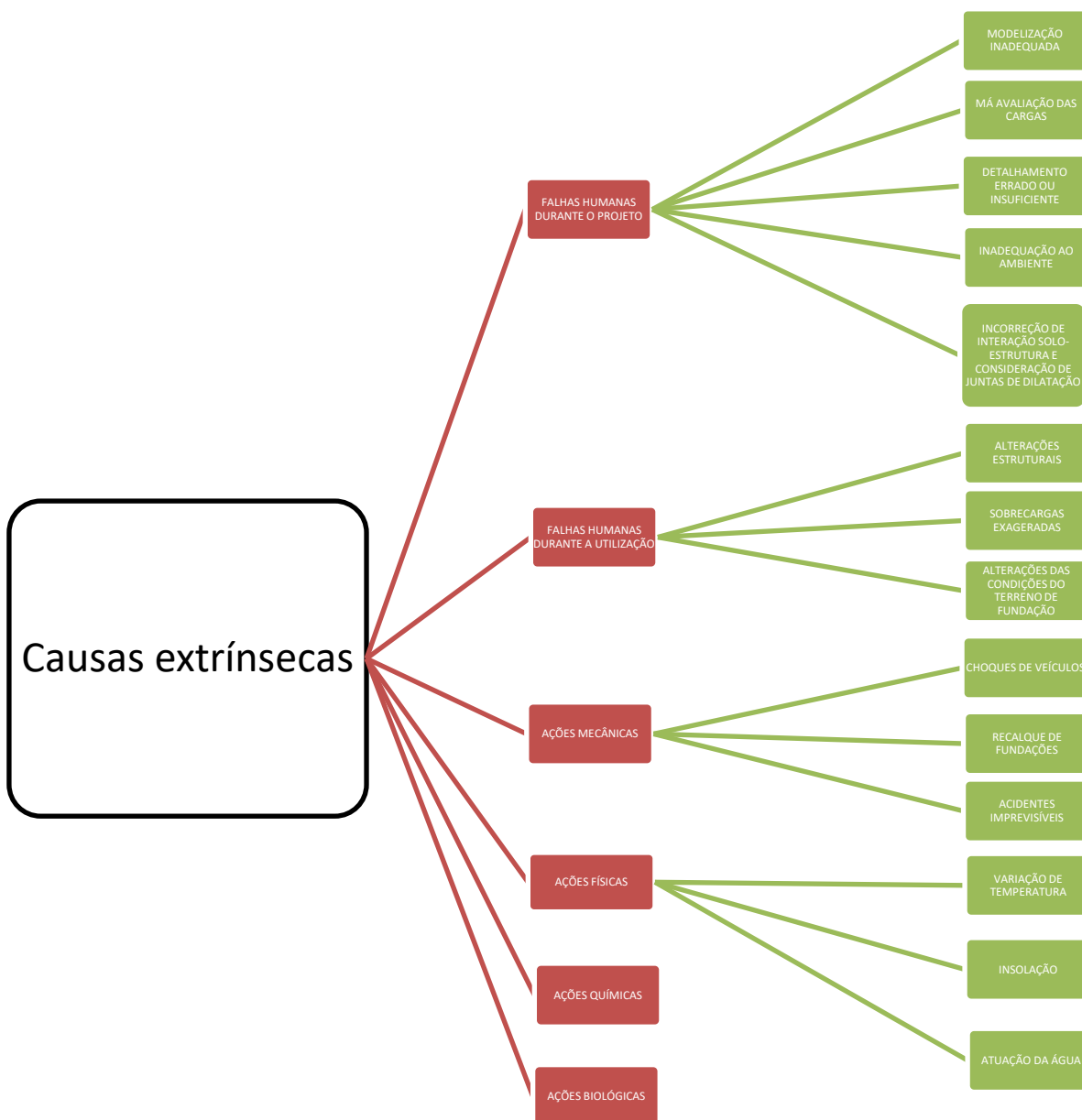


Fonte: Adaptado de Souza e Ripper (2019)

As falhas de utilização, segundo os autores, são restritas ao aspecto da falta de manutenção e, por fim, chega-se às causas naturais que, no entendimento do autor, são as inerentes ao próprio material utilizado, não relacionado a falhas humanas ou de equipamento. (SOUZA; RIPPER, 2009).

Já as causas extrínsecas (diagrama 2), independem da estrutura em si, não dependem da composição interna do concreto, por exemplo, nem por falhas no processo de execução. São as causas que atacam a estrutura da sua parte externa, migrando para interna durante a sua concepção e ao longo da vida útil da mesma, e estão expressas. (SOUZA; RIPPER, 2009).

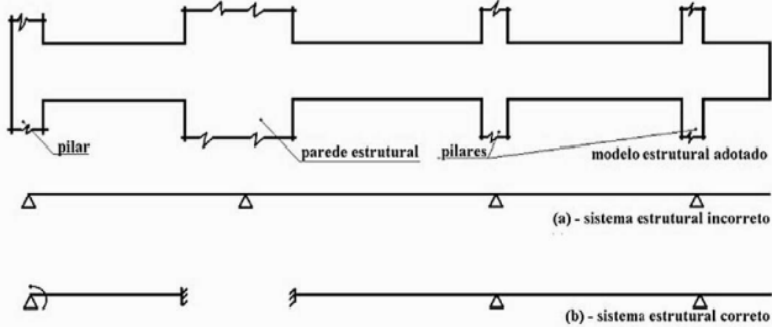
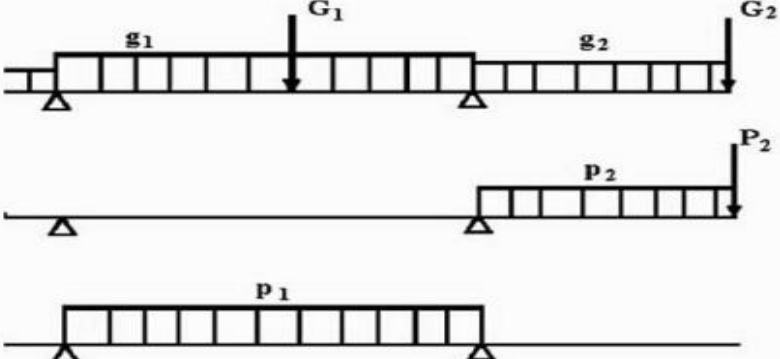
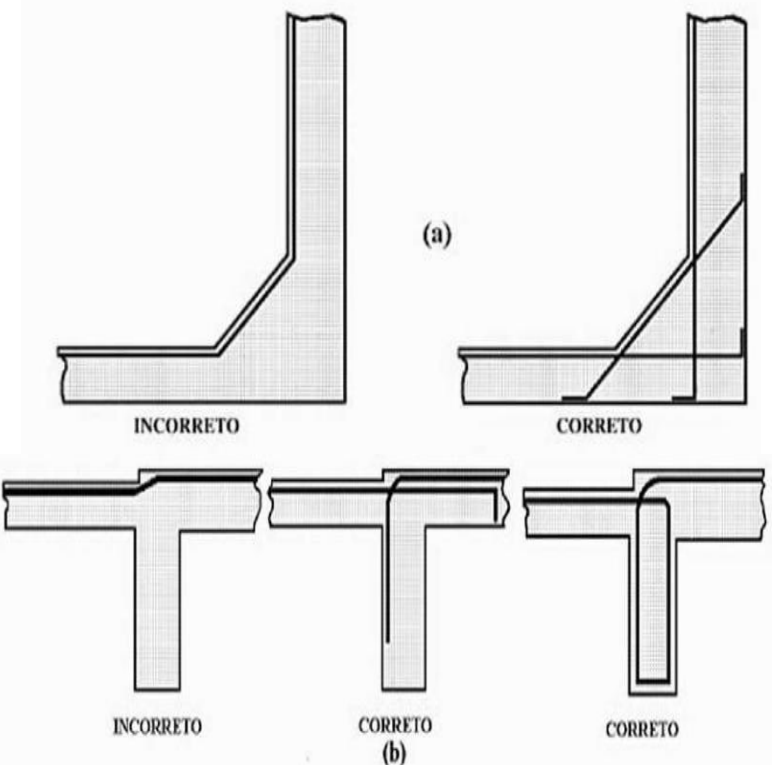
Diagrama 2 – Causas extrínsecas na deterioração das estruturas

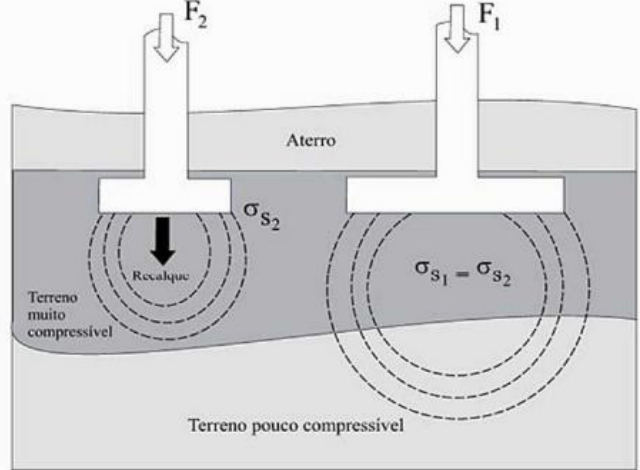


Fonte: Adaptado de Souza e Ripper (2009)

No diagrama 1, pode-se observar uma subdivisão para as causas intrínsecas. Os autores Souza e Ripper (2009) descrevem que as falhas humanas de concepção/projeto da estrutura são preponderantes para o futuro da estrutura e sua não observação implicará problemas com alta gravidade. Algumas das falhas de projeto, segundo os autores, são: a modelização estrutural inadequada, a má avaliação de cargas, o detalhamento errado ou insuficiente, inadequação do ambiente, interação do solo-estrutura, dentre outros, conforme a Tabela 6.

Tabela 6 – Ilustrações falhas e sua correspondência projetiva

IMAGEM DEMONSTRATIVA	NOMENCLATURA E/OU CAUSA
 (a) - sistema estrutural incorreto (b) - sistema estrutural correto	Modelização estrutural inadequada. Devido a consideração incorreta do tipo de apoio, segundo os autores não foi utilizado o requisito 3.2.3 da NBR 6118 para apoios extremos.
	Má avaliação de cargas. Devem ser observados alguns cuidados, a orientação dos autores é utilização das envoltórias das solicitações, para encontrar-se o momento máximo como no exemplo da figura a esquerda.
 (a) INCORRETO CORRETO (b) INCORRETO CORRETO CORRETO	Detalhamento errado ou insuficiente. Os autores orientam que erros de detalhamento de armadura ocorrem por desconhecimento ou não atenção aos detalhes ocasionam detalhamentos incorretos, como (a) e (b) Para (a) os autores mostram uma ligação entre duas placas, orientando que para evitar empuxo nos vazios é recomendável armaduras para proteção dos cantos. Já para (b) analisa-se um desnível entre lajes, e orienta que a ancoragem e continuidade das barras deve ser garantida em ambos os lados do desnível.

 INCORRETO INCORRETO CORRETO	Inadequação do ambiente. Segundo a falha mais comum nesse critério é a utilização insuficiente para estruturas em contato com água e terra. Contudo os autores mostram a figura ao lado como a falta da previsão de pingadeiras.
	Incorreção na interação solo-estrutura Os autores explicam que conhecer as características do solo é essencial. Na ilustração ao lado, segundo Souza e Ripper (2019) as duas sapatas são assentadas em solos com características diferentes, gerando recalque do pilar menos solicitado mesmo considerando a transmissão de esforços ao terreno a mesma para ambos os casos.

Fonte: Adaptado de Souza e Ripper (2019)

As falhas humanas durante a utilização (vida útil) da estrutura são resultadas diretos da atuação do utilizador da estrutura e, geralmente, esses não possuem qualquer consciência dos danos que estão a fazer na estrutura, somado a isso, acreditam que as intervenções são desnecessárias. (SOUZA; RIPPER, 2009).

Os autores definem como exemplos de falhas de utilização: alterações estruturais, sobrecargas exageradas e alteração de terreno de fundação. Eles definem também as ações mecânicas como: choque de veículos, recalque de fundações e acidentes. Consoante a isso, existe as ações físicas que são agentes agressores às estruturas, notoriamente às de concreto, como: temperatura, comportamento diferencial entre os materiais componentes, insolação e água.

Existe também as ações químicas pela qual a estrutura está sujeita durante toda a sua vida útil. O concreto entra em contato com o ar e gases, como dióxido de enxofre SO_2 e chuva ácida (H_2SO_3 e H_2SO_4), águas puras e impuras, reações com ácidos e sais e reações com sulfatos (SOUZA; RIPPER, 2009). Por fim, as ações biológicas são as ocasionadas por flora e fauna e podem ocasionar deteriorações de

pontes e viadutos, elas causam grande dano ao concreto em si como desagregação, fissuras, recalque de fundação, dentre outros. (SOUZA; RIPPER, 2009).

2.14 TIPOS DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NO CONCRETO ARMADO

Compreendido as possíveis causas e falhas definidas por Souza e Ripper (2009), é possível compreender e definir as principais manifestações patológicas em pontes e viadutos de concreto armado e protendido. As causas demonstradas por ele e representadas no diagrama 1, relacionam-se diretamente com os danos nas estruturas de pontes de concreto armado e protendido. (VITÓRIO, 2002)

Somado a isso, Souza e Ripper (2009) também fazem uma correlação entre causa, falha e danos nas estruturas e explicam que as consequências da atuação dos agentes intrínsecos e extrínsecos da deterioração de estruturas (discutidos nos diagramas 1 e 2) atuam diretamente nos pontos fracos das estruturas, ocasionando patologias.

2.14.1 Fissuras

As fissuras podem ser consideradas uma manifestação patológica bem presente nas estruturas de concreto, elas chamam a atenção das pessoas que não atuam na área de construção, bem como dos profissionais para que algo incorreto aconteceu ou está acontecendo nas estruturas observadas. (SOUZA; RIPPER, 2009).

Ainda é importante salientar, sobre as fissuras, que elas só podem ser vistas como deficiência estrutural diante da análise de requisitos como origem, intensidade e tamanho e, para uma consideração precisa de causa e consequência, é primordial uma análise aprofundada da patologia. (SOUZA; RIPPER, 2009).

Oliveira (2012) orienta que a diferença entre fissuras, trincas, rachaduras, fendas e brechas advém da dimensão de abertura em milímetros do elemento analisado conforme a tabela 7.

Tabela 7 – Relação da patologia e sua dimensão de abertura.

PATOLOGIA	ABERTURA (mm)
FISSURA	Até 0,5
TRINCA	0,5 a 1,5
RACHADURA	1,5 a 5,0

FENDA	De 5,0 a 10
BRECHA	Acima de 10

Fonte: Oliveira (2012).

Para Thomaz (1989), antes de realizar uma recuperação de certo componente construtivo, é necessário o estudo das fissuras e seus mecanismos de formação, conforme tabela 8.

Tabela 8 – Tipologia da fissura e processo relacionado.

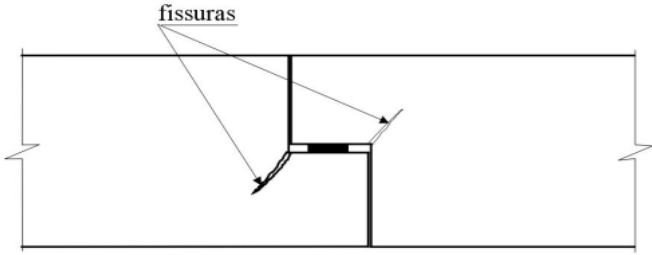
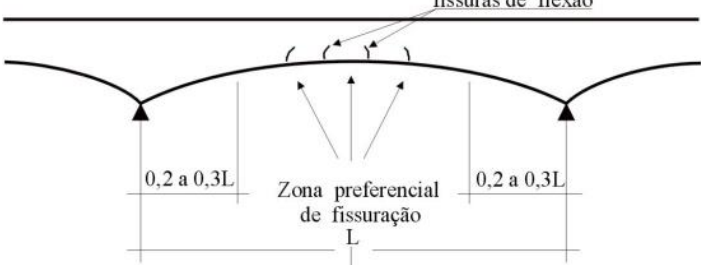
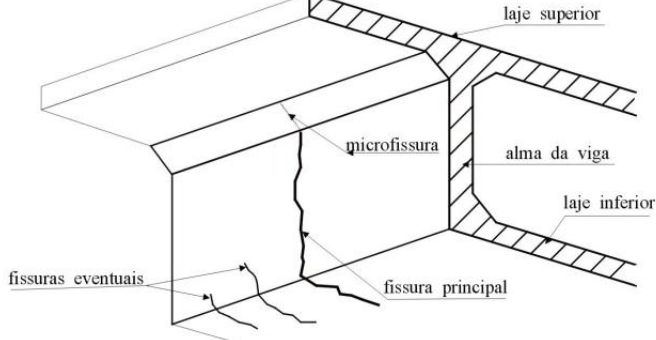
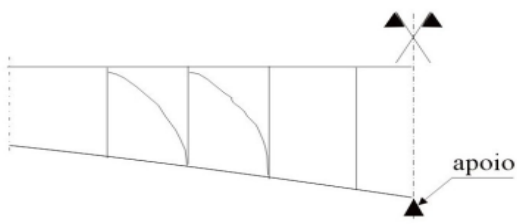
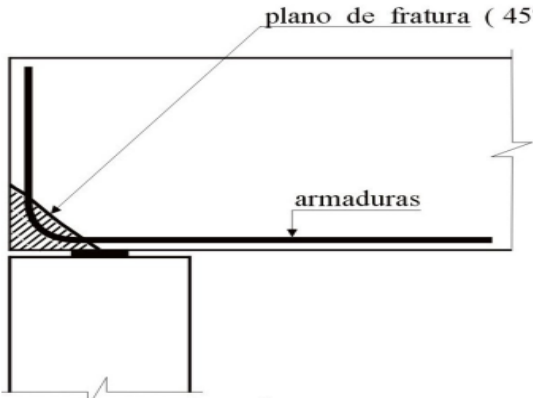
TIPOLOGIA DE FISSURA	PROCESSO RELACIONADO
Fissuras por movimentação térmica	Devido a variação de temperatura nos movimentos de dilatação e contração
Fissuras por movimentação higroscópicas	Devido ao trânsito de água e umidade ao longo dos poros de determinado elemento da construção.
Fissuras por atuação de sobrecargas	Devido a atuação de sobrecarga nos componentes estruturais.
Fissuras por deformabilidade excessiva de estruturas de concreto armado	Devido aos comportamentos de deformação dos elementos do concreto armado entre si.
Fissuras por recalques de fundação.	Devido as correlações do tipo de fundação, rasa ou profundo, com o solo.
Fissuras por retração de produtos à base de cimento	Devido aos processos químicos do cimento com a água e causando retração.
Fissuras por alterações químicas de materiais	Devido a substância químicas como soluções ácidas e álcool, bem como sulfatos.

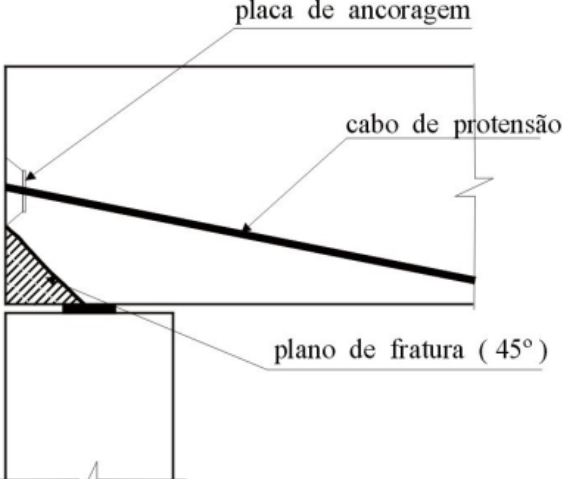
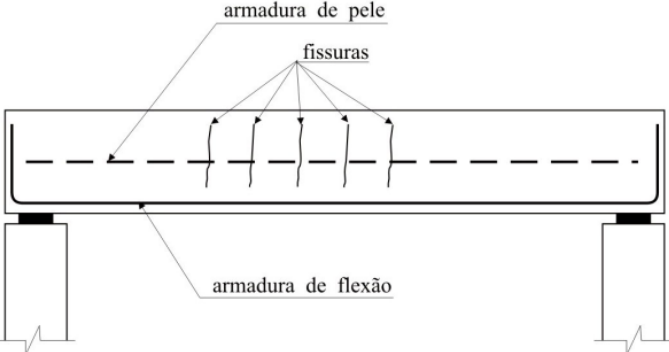
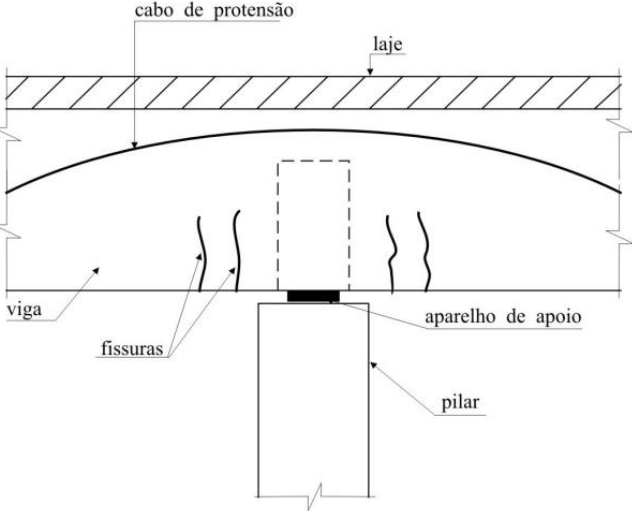
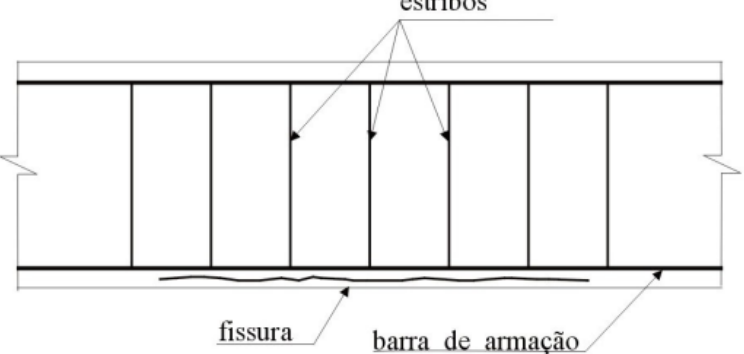
Fonte: Adaptado de Thomaz (1989)

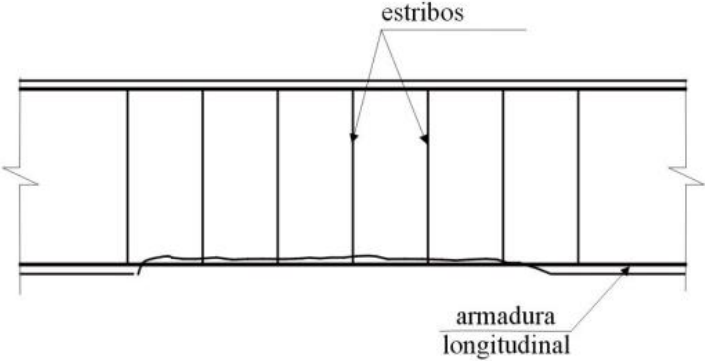
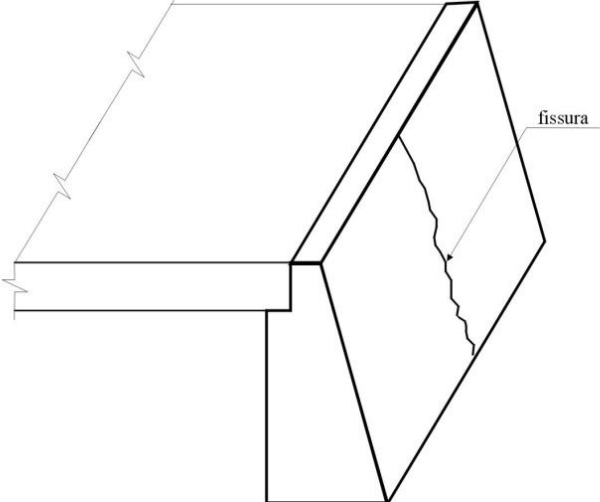
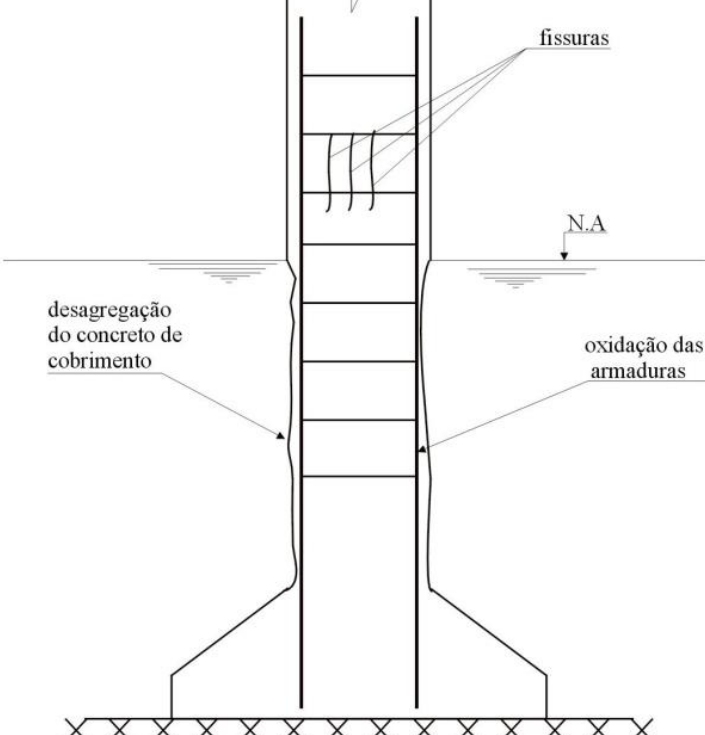
A divisão proposta por Thomaz (1989) é bem ampla e aborda diversos tipos de fissuras por inúmeras causas e elementos das obras (alvenarias, lajes etc.). Como o objetivo desse trabalho é estudar as patologias em pontes e viadutos - especificamente a ponte do Ribeirão da Ilha de Florianópolis em Santa Catarina - serão apresentadas as fissuras mais recorrentes e que se relacionam a essas obras de arte, elas são observadas das na Tabela 9.

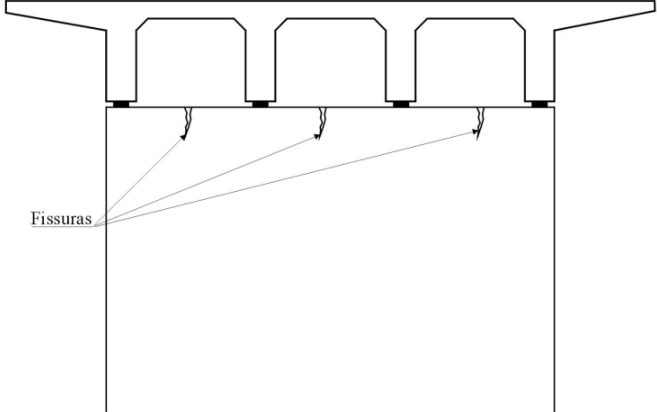
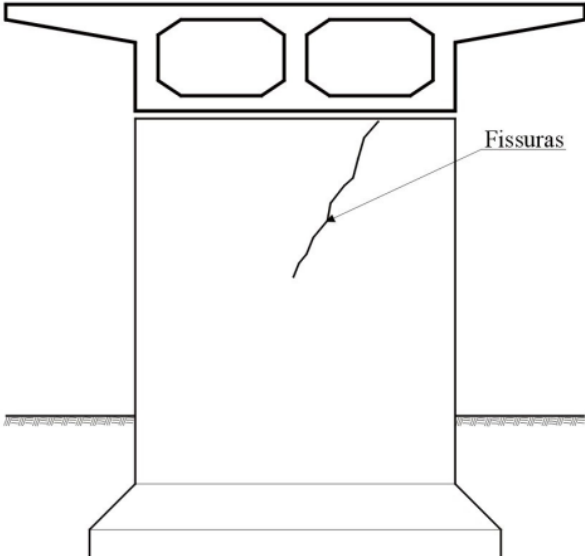
Tabela 9 – Ilustrações de fissuras, nomenclatura e possível causa

IMAGEM DEMONSTRATIVA	NOMENCLATURA E/OU CAUSA
----------------------	-------------------------

 fissuras	Fissuras em articulações Gerber em vigas de pontes e viadutos. Geralmente relacionadas pelo mau dimensionamento das armaduras horizontais e de suspensão.
 fissuras de flexão 0,2 a 0,3L Zona preferencial de fissuração L 0,2 a 0,3L	Fissura de flexão, geralmente no trecho central do vão. Causadas por armação de flexão insuficiente, armadura passiva no concreto armado e ativa no concreto protendido.
 laje superior microfissura alma da viga laje inferior fissuras eventuais fissura principal	Detalha de fissura de flexão. Causadas por armação de flexão insuficiente, armadura passiva no concreto armado e ativa no concreto protendido.
 apoio	Fissura mista (flexão e cisalhamento)
 plano de fratura (45°) armaduras	Cantos inferiores das vigas para o concreto armado. O canto inferior tende a se romper devido o aparecimento de fissuras inclinadas em 45° devido a ausência de armaduras no canto da vida.

 placa de ancoragem cabo de protensão plano de fratura (45°)	Cantos inferiores das vigas para o concreto protendido. O canto inferior tende a se romper devido o aparecimento de fissuras inclinadas em 45° devido a ausência de armaduras no canto da vida.
 armadura de pele fissuras armadura de flexão	Fissuras verticais a meia altura das vigas. Geralmente causada pela insuficiência de armaduras de pele.
 cabo de protensão laje viga fissuras aparelho de apoio pilar	Fissuras verticais no bordo inferior junto aos apoios intermediários de vigas contínuas protendidas. Causadas por protensão excessiva e avaliação incorreta do hiperestático de protensão.
 estribos fissura barra de armação	Fissuras longitudinais ao longo das armaduras O volume da barra de armação, por conta da corrosão, produz fissuras paralelas à superfície da peça.

 estribos armadura longitudinal	Fissuras que expõem armadura devido a falha de concretagem. Associada a falta de cobrimento adequado das armaduras.
 fissura	Fissura de tração em encontros. Encontro de materiais distintos, como alvenaria de pedra ou concreto ciclópico. As possíveis causas são deformações do solo, carregamentos, variação de temperatura, etc.
 fissuras N.A. desagregação do concreto de cobrimento oxidação das armaduras	Fissuras nos pilares de pontes dentro de rios e mares Causadas por desagregação do concreto de cobrimento, a oxidação das armaduras longitudinais provoca aparecimento de fissuras ao longo do pilar.

	Fissuras em pilar-parede de pontes e viadutos. Em pilares-parede com várias vigas no topo podem surgir fissuras verticais próximas ao topo do pilar. A causa geralmente é a armadura insuficiente.
	Fissuras em pilares e encontros. Causada geralmente por recalque diferencial em virtude das condições e variações do solo e fundação.

Fonte: Adaptado de Vitório (2002)

2.14.2 Desintegração do concreto

A desintegração do concreto correlaciona-se com a dissolução de seus componentes após ações de: substâncias químicas, deslocamento por processos expansivos ou, até mesmo, por um desgaste de abrasão. Alguns componentes possuem a propriedade de agir nos elementos do concreto, causando uma dissolução dele, que podem ser divididas em ataque de ácidos, sulfatos e álcalis. (ROCHA, 2015)

Consoante isso, Souza e Ripper (2009) explicam que o concreto, diferente dos aços de armaduras, não sofre um processo predominantemente eletroquímico, mas sim puramente químico, e ocorre devido ao cimento reagir com determinados elementos químicos. Portanto, pode-se classificar a corrosão do concreto segundo

algumas divisões que dependem das ações químicas como: lixiviação, corrosão e corrosão por expansão. (SOUZA; RIPPER, 2009)

Tanto Rocha (2015), quanto Souza e Ripper (2009) afirmam como causa degradante para o concreto as ações químicas sobre ele. A nomenclatura corresponde por cada um dos autores é demonstrada na tabela 10.

Tabela 10 – Divisão de autores sobre degradação do concreto

AUTOR	NOMENCLATURA CORRESPONDE ENTRE AUTORES		
Rocha (2015)	Ataque de ácidos	Ataque de sulfatos	Ataque de álcalis-agregado
Souza e Ripper (2009)	Lixiviação	Expansiva	-

Fonte: Autor

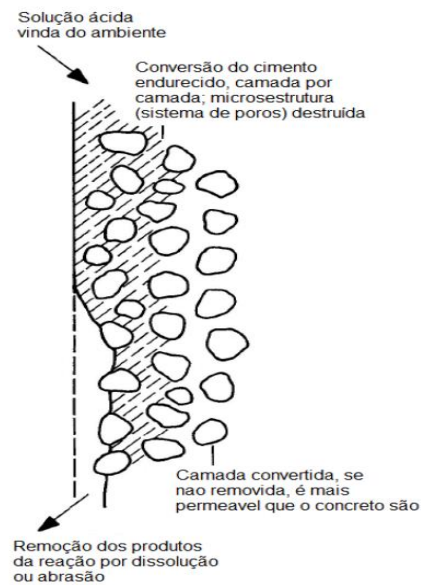
As nomenclaturas denominam de maneira distinta os processos de desagregação do concreto, na tabela 10 as colunas relacionam a nomenclatura ao ataque envolvido.

2.14.2.1 Ataque de ácidos ou lixiviação

Os ataques por substâncias ácidas sobre o concreto rígido fazem com que haja uma conversão dos compostos de cálcio transformando-os em sais de cálcio, esse fenômeno atua na matriz cimentício e consequentemente enfraquece a estrutura, conforme ilustram as Figura 26 e 27. (ROCHA ,2015)

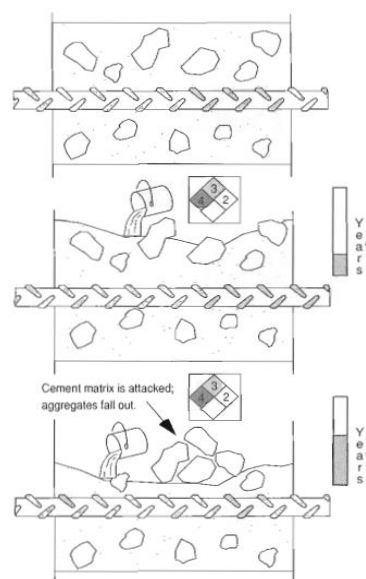
Posto isso, Souza e Ripper (2009) explicam que a lixiviação consiste na dissolução e arraste dos materiais cimentícios em contato com águas puras, impuras, pantanosas, subterrâneas, profundas etc. e que quanto mais poroso o concreto, maior a intensidade da corrosão e consequentemente danos mais graves.

Figura 26 – Efeito do ataque de ácidos no concreto.



FONTE: Rocha (2015)

Figura 27 – Efeito do ataque de ácidos no concreto.



Fonte: Emmons (1994)

Segundo Rocha (2015) e Emmons (1994) - Figura 26 - a substância ácida do ambiente, em contato com o concreto endurecido, realiza interações químicas alterando a composição da matriz do cimento e, conseqüentemente, dissolvendo os produtos dessa reação, isso faz com que a parte interna do concreto fique exposta e, por vezes, o agregado do concreto possa vir a cair.

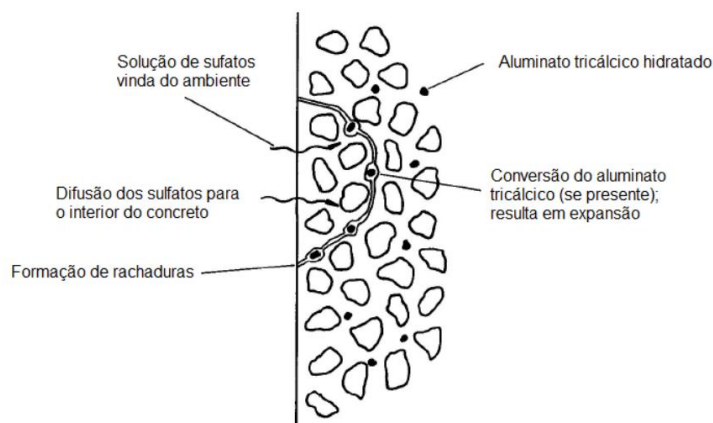
2.14.2.2 Ataque de sulfatos e expansão

Os sulfatos podem ter diversas origens, desde os materiais que compõem o concreto (água e agregados) até mesmo o contato da estrutura analisada com solos ou águas ricas de sulfato, a reação do sulfato com o aluminato presente no interior do concreto causa um comportamento expansivo, gerando danos ao concreto. (ROCHA, 2015).

Ainda é explicado por Souza e Ripper (2009) que a corrosão expansiva é a reação ocasionada pela reação dos sulfatos com componentes do cimento, essa expansão provoca uma desagregação do concreto. Os sulfatos mais perigosos, segundo os autores, são o amoníaco ($[\text{NH}_4]_2\text{SO}_2$), o cálcico (CaSO_4), o de magnésio (MgSO_4) e o de sódio (Na_2SO_4).

A velocidade da reação do concreto com a substância agressiva depende de diversos fatores como: permeabilidade do concreto, tipo de cimento e da quantidade de água disponível. Diante disso, o concreto pode sofrer tanto processos de fissuras, trincas e rachaduras (Figura 28), como desagregação.

Figura 28 – Efeito de ataque de sulfatos e fissuras, trincas ou rachaduras.



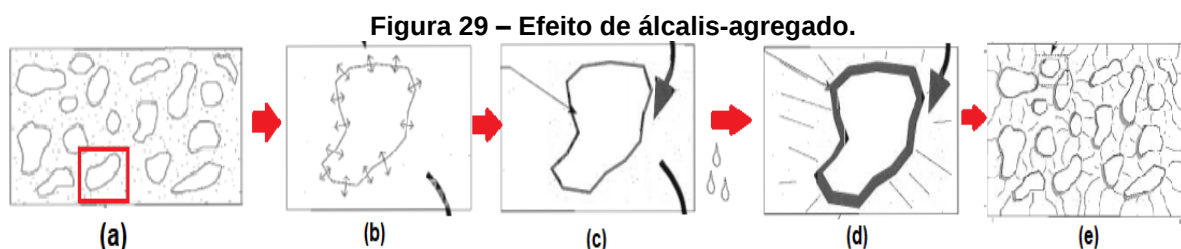
Fonte: Rocha (2015)

Na Figura 28, é possível observar o ataque de sulfatos e, consequente, fissuramento. A solução de sulfatos vinda do ambiente entra em contato com o concreto, fazendo-se reações químicas e então, ao formar novos compostos, há uma expansão e consequente formação de fissuras, trincas ou rachaduras.

2.14.2.3 Reações álcalis-agregados

A reação álcali-agregado é diferente da reação por ataque de sulfatos, pois, diferente do ataque de sulfatos, a reação álcali-agregado reage com substâncias presentes no agregado do concreto, e não no cimento. Existem diversos tipos de agregados e alguns reagem com o potássio, sódio e hidróxido de cálcio com um cimento, formando um envoltório em torno dos agregados reativos. (ROCHA ,2015)

Segundo Emmons (1994), quando o agregado é exposto à umidade, ele expande criando forças de tensão que rompem o concreto ao entorno desse. Esse processo é demonstrado na Figura 29.



Fonte: Adaptado de Emmons (1994)

O processo na Figura 29 consiste, conforme Emmons (1994), em etapas. O agregado de referência é o proposto por (a), a sílica ou silicatos presentes no agregado reagem com o álcali do cimento (b), forma-se um gel em torno da superfície do agregado (c), com o aumento da umidade o gel se expande causando tensões que lesionam o concreto (d) e, conseqüentemente, o concreto sofre fissurações, trincas, rachaduras ou desagregações (e).

2.14.2.4 Desgaste do concreto

O desgaste do concreto é outra patologia a ser considerada para o concreto armado e protendido. Segundo Souza e Ripper (2009), o desgaste do concreto pode ser relacionado a alguns fenômenos como abrasão e cavitação.

Diante disso, Rocha (2015) também faz a divisão de desgaste entre abrasão e cavitação entendendo que a abrasão (Figura 30) é o desgaste causado por partículas finas carregadas pela água ou vento, bem como atrito de pneus ou outros elementos nos materiais da estrutura. O autor ainda aponta que o efeito abrasivo é relevante no estudo de pontes e pavimentos rodoviários.

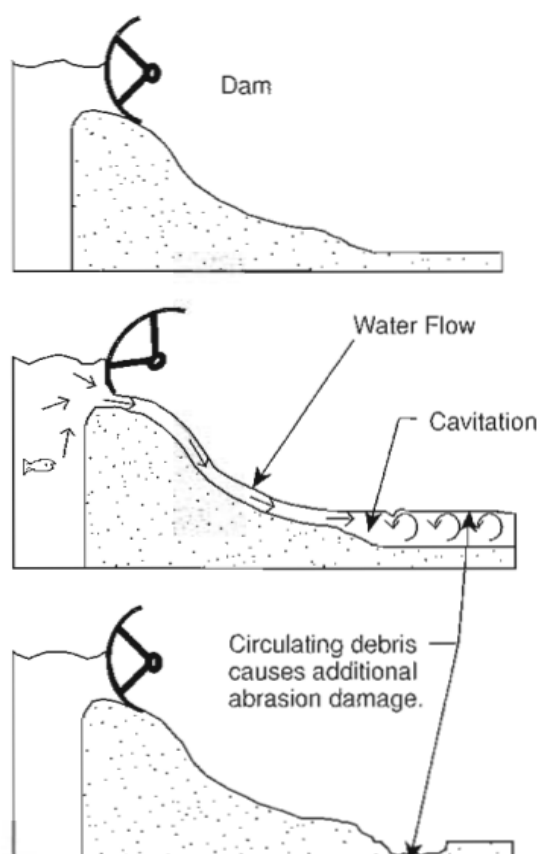
Figura 30 – Exemplo de desgaste abrasivo em concreto.



Fonte: Rocha (2015)

Nesse contexto, o desgaste por cavitação (Figura 31) consiste no colapso de bolhas de ar em alta velocidade com o concreto formando pequenas cavidades na estrutura. Esse processo causa danos à matriz cimentícia também. (ROCHA ,2015)

Figura 31 – Efeito do desgaste por cavitação no concreto.

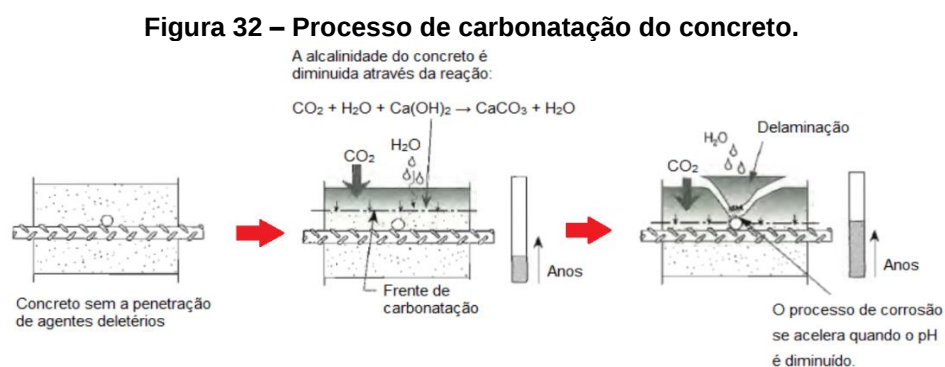


Fonte: Emmons (1994)

Na Figura 31, o fluxo de água em alta velocidade se move ao longo do concreto formando bolhas de vapor, quando as bolhas entram em contato com a região de maior pressão elas colapsam com o grande impacto, esse colapso gera um desgaste chamado cavitação. (EMMONS, 1994)

2.14.2.5 Carbonatação do concreto

A carbonatação do concreto é uma reação entre o dióxido de carbono (CO_2) atmosférico e os componentes da hidratação do cimento. Basicamente, o dióxido de carbono penetra nos poros do concreto, se houver, e reage com o hidróxido de cálcio no interior do concreto, formando o carbonato de cálcio. Esse novo produto formado corrobora uma redução de pH do concreto para valores mais próximos do pH neutro e, por conta disso, a película protetora de armaduras, que funciona devido ao pH alto do concreto, fica desprotegida e sujeita a oxidação, esse processo é demonstrado na Figura 32 (ROCHA, 2015).



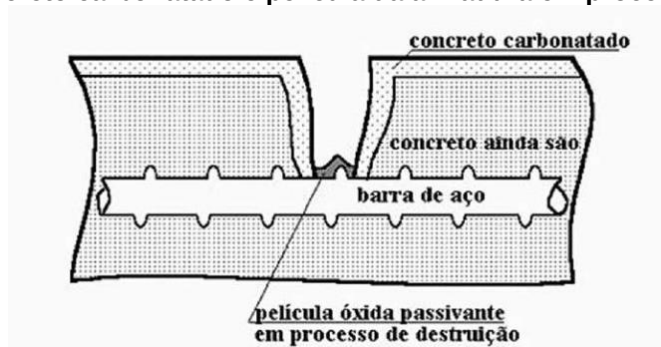
Fonte: Adaptado de Rocha (2015)

A Figura 32, segundo Rocha (2015), pode ser entendida como a sequência para o processo de carbonatação. Primeiramente, é mostrado o concreto sem a penetração de agentes deletérios. Posteriormente, as reações entre dióxido de carbono (CO_2), água (H_2O) e hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), formando o carbonato de cálcio (CaCO_3), alterando o pH do concreto e, consequentemente, removendo a película de proteção do aço, fazendo assim um precursor para a corrosão das armaduras.

Segundo Vitório (2002), uma das causas mais frequentes da corrosão de armaduras de concreto armado e protendido é a carbonatação do concreto, a velocidade e a intensidade de carbonatação, além da presença de umidade, da quantidade de CO_2 do ambiente, da permeabilidade do concreto e da existência de fissuras.

Por fim, Souza e Ripper (2009) escrevem que se a carbonatação não alcançasse as armaduras, seria até benéfica para o concreto pois aumentaria a sua resistência química e mecânica. Entretanto, ao alcançar a armadura, há uma quebra do filme óxido que a protege, corroendo-a. Isso pode ser visto na Figura 33.

Figura 33 – Concreto carbonatado e película da armadura em processo de destruição.



Fonte: Souza e Ripper (2009)

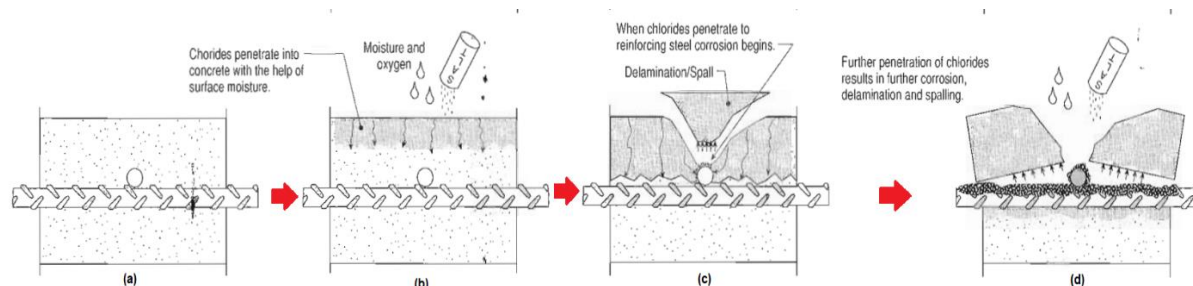
A Figura 33 representa a carbonatação ocorrida e a película oxida passivante em processo de destruição. Isso faz com que haja degradação da armadura, pois torna-a suscetível à corrosão. (SOUZA; RIPPER, 2009)

2.14.2.6 Ataque de cloretos

O concreto, com proximidade de ambientes marítimos que possuem maresias e sais de degelo, está sujeito ao ataque por íons cloreto. A penetração dele no concreto acontece da parte externa do concreto para a interna. (ROCHA, 2015)

Segundo Rocha (2015), o cloreto tem um comportamento agressivo nas armaduras (Figura 34) ao atingi-las poderá romper a camada passivante que protege o aço fazendo com que ele enferruje. Consequentemente a isso, Rocha (2015) explica que esse depósito de ferrugem do ácido afeta o concreto ocasionando trincas, que abrem espaço para entrada de mais cloreto, e deslocamento.

Figura 34 – Ataque de cloreto no concreto e armadura.



Fonte: Adaptado de Emmons (1994)

Emmons (1994) demonstra como ocorre o ataque de cloretos no concreto e aço através da Figura 34, o autor explica que o cloreto penetra no concreto são (a) e com a ajuda da umidade e atua junto ao oxigênio (b). Posteriormente, existe uma despassivação da armadura e então corrosão do aço (c), devido a essa corrosão o aço aumenta sua dimensão por conta do depósito de ferrugens fazendo pressão no concreto, gerando trincas e deslocamento(d).

Os cloretos podem também ser inseridos no concreto no momento da sua fabricação para prover características desejadas como aceleradores de pega, a norma que fala a respeito do percentual desse componente na massa de cimento é a ABNT NBR 12655 (2006) como mostrado na Figura 35. (ROCHA ,2015)

Figura 35 – Teor máximo de íons cloreto para proteção das armaduras do concreto

Tipo de estrutura	Teor máximo de íons cloreto (Cl^-) no concreto % sobre a massa de cimento
Concreto protendido	0,05
Concreto armado exposto a cloretos nas condições de serviço da estrutura	0,15
Concreto armado em condições de exposição não severas (seco ou protegido da umidade nas condições de serviço da estrutura)	0,40
Outros tipos de construção com concreto armado	0,30

Fonte: ABNT NBR 12655 (2006)

Na Figura 35, têm-se os valores de íons cloreto (Cl^-) no concreto em percentual sobre a massa de cimento de acordo com o tipo de estrutura, quanto mais risco ou possibilidade desse concreto vincular-se ao cloreto do ambiente, menor o percentual permitido na massa de cimento. (ABNT NBR 12655, 2006)

2.14.3 Corrosão de armaduras

A corrosão da armadura de maneira geral pode ser compreendida como a deterioração do aço por ação química ou eletroquímica do ambiente. Diante disso as Figuras 36 e 37 demonstram corrosões de armaduras em pontes e viadutos. (SOUZA; RIPPER, 2009).

Segundo Vitório (2002), a corrosão de armaduras em estado avançado ocorre, em alguns casos, pela má impermeabilização associada à porosidade do concreto em meio agressivo.

Figura 36 – Deterioração de lajes centrais do tabuleiro por armadura exposta e oxidada.



Fonte: Vitório (2002)

Figura 37 – Ponte com armadura em processo de corrosão.



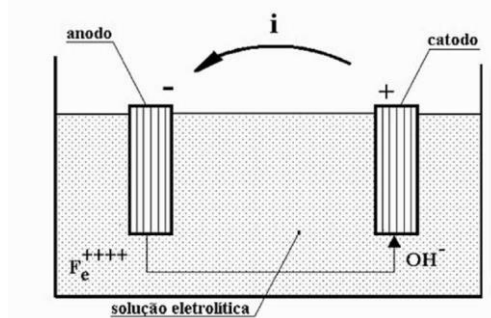
Fonte: Vitório (2002)

Ainda explicam Souza e Ripper (2009) que para as barras anexas ao concreto (concreto armado), a corrosão ocorre após o fenômeno de despassivação da armadura ao longo das barras de aço, essa remoção da película apassivante acontece diante de alteração do pH alcalino do concreto para um pH inferior a 9.

Os mecanismos de desativação devido a destruição da camada oxidam de revestimento protetor de barras ocorre por: corrosão de tensão fraturante, presença de hidrogênio atômico e por pite, que se divide em localizado (devido a carbonatação) e em generalizado (devido a ação de íons agressivos, cloretos em especial). (SOUZA; RIPPER, 2009)

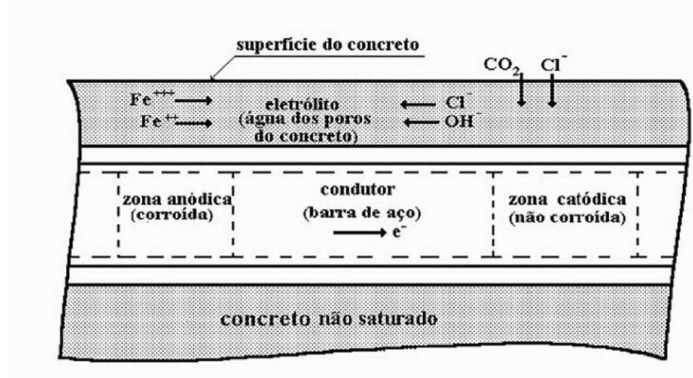
Os autores Souza e Ripper (2009) ainda explicam que o processo de corrosão do aço é eletroquímico, ou seja, envolvem potencial elétrico na presença de um eletrólito, trabalham com um efeito de pilha e zona catódica e anódica conforme as Figuras 38 e 39.

Figura 38 – Concreto carbonatado e película da armadura em processo de destruição.



Fonte: Emmons (1994)

Figura 39 – Concreto carbonatado e película da armadura em processo de destruição.



Fonte: Emmons (1994)

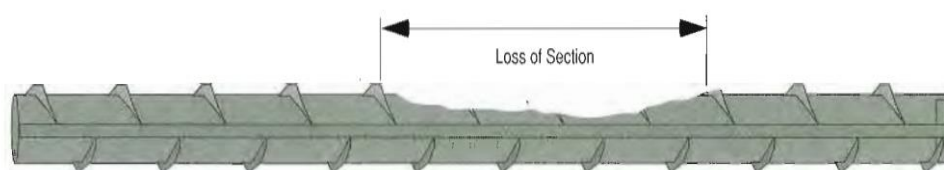
As Figuras 38 e 39 são explicadas, conforme Souza e Ripper (2009) do seguinte modo, existe uma solução aquosa no concreto em contato com o aço que funciona como condutor metálico.

Existe então uma passagem de átomos de ferro para a superfície aquosa do concreto e transformam-se em cátions de ferro (Fe^{++}), quando há esse abandono do cátion de ferro forma-se uma diferença de potencial criando o efeito pilha, por conta disso surge uma corrente elétrica dirigida do ânodo para o catodo e vice versa (SOUZA; RIPPER, 2009)

Por fim, a combinação do cátion ferro com os ânions da hidroxila (OH^-) resulta no hidróxido ferroso que se deposita no ânodo. O cátodo deposita-se o hidróxido férrico, essas duas substâncias constituem a ferrugem. (SOUZA; RIPPER, 2009).

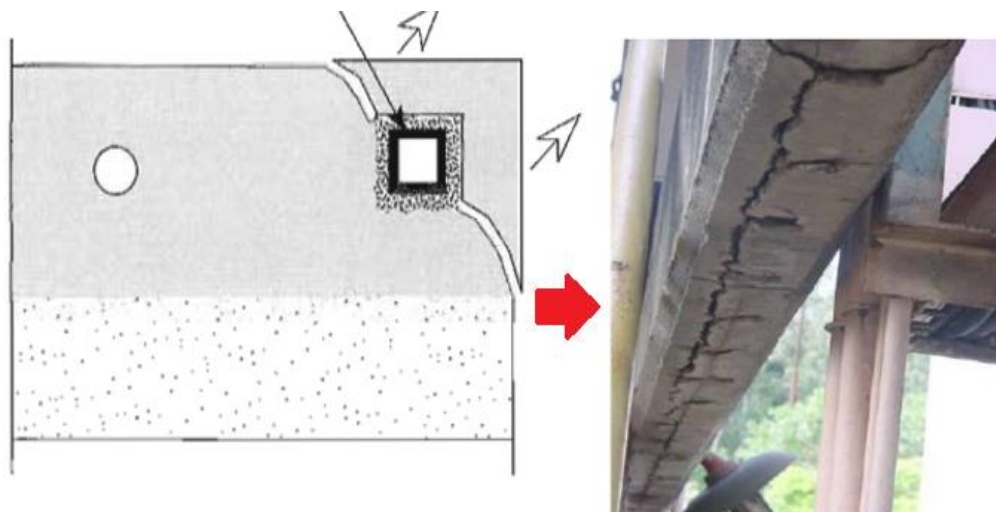
A corrosão do aço gera diversos processos patológicos, é notável que a corrosão de armaduras avança da parte externa para interna havendo a redução da seção do aço resistente devido a ferrugem, ocasionando perda da capacidade de resistir do aço, somado a isso surgem outras patologias correlacionadas como acesso fissura por expansão de armadura, perde de seção da armadura (Figura 40) e consequente destruição do concreto que a envolve (Figura 41). (SOUZA; RIPPER, 2009).

Figura 40 – Perda de seção de armadura por corrosão.



Fonte: Emmons (1994)

Figura 41 – Destruição do concreto por expansão de armadura.



Fonte: Adaptado de Emmons (1994) e Rocha (2015)

As figuras 40 e 41 são explicadas, respectivamente, pela corrosão do aço e consequente redução de seção e da deposição de material no ânodo das armaduras e expansão, por ocupar espaço que antes era ocupado por concreto gerando uma tensão de expansão. (EMMONS ,1994)

Em concordância com o exposto anteriormente, Rocha (2015) explica que a corrosão de armadura é um problema que não só afeta o aço em si como também se correlaciona com o concreto causando trincas e deslocamento. O autor argumenta que tais fenômenos no concreto, causados por corrosão de armadura, não só podem gerar a sensação de insegurança e mal-estar aos usuários da obra bem como afetar a resistência da construção analisada.

3 ESTUDO DE CASO

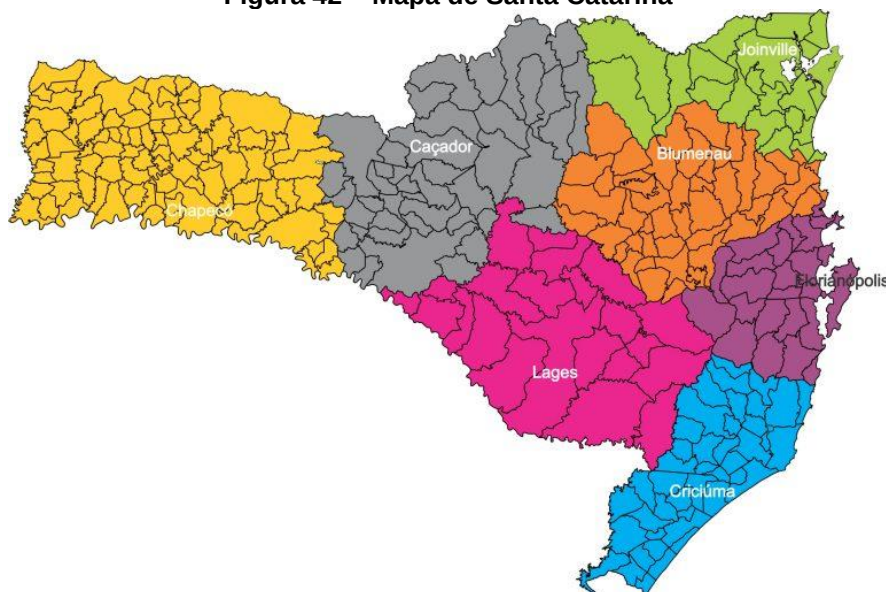
O estudo em questão remete à ponte do Ribeirão da Ilha, localizada na Rodovia Açoriana, ela é a obra de arte responsável pela ligação do Ribeirão da Ilha com o bairro da Tapera, em Florianópolis, Santa Catarina. Esse levantamento foi realizado no segundo semestre do ano de 2021 e no primeiro semestre no ano de 2022.

Somado ao estudo de caso, para corroborar a correta identificação, averiguação e ensaios das patologias presentes na ponte do Ribeirão da Ilha de Florianópolis, são necessárias as descrições e caracterizações referentes à localização da cidade analisada, do sul da ilha, da proximidade da ponte com os agentes agressivos dentre outros parâmetros.

3.1 LOCALIZAÇÃO

O estado de Santa Catarina (Figura 42) é o estado que possui território de 95,4mil km², o menor do Sul do Brasil trazendo consigo uma grande diversidade geográfica e humana nesse estado, o estado conta com diversos municípios, são 295 atualmente, sendo a cidade de Florianópolis a capital. (GOVERNO DE SANTA CATARINA, 2021).

Figura 42 – Mapa de Santa Catarina

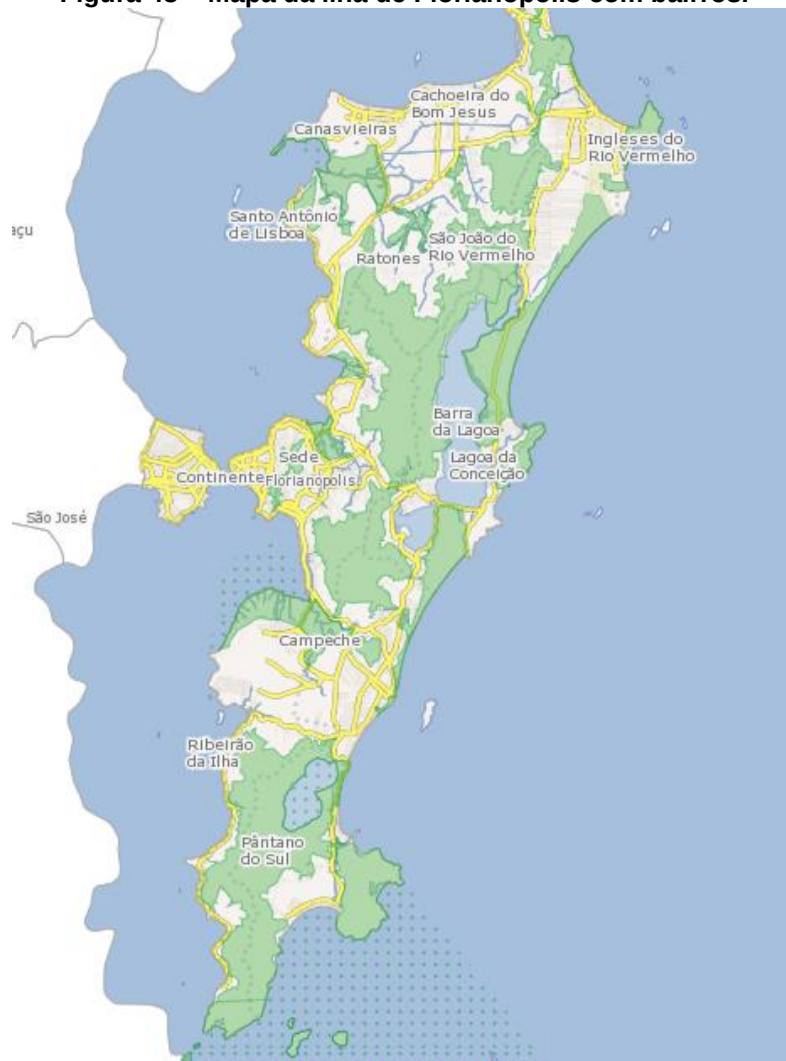


Fonte: Coren SC (2021)

A cidade de Florianópolis, situa-se no litoral catarinense e é dividida em duas regiões, uma parte insular (ilha de Santa Catarina) e outra continental que são incorporadas através de três pontes Hercílio Luz, Colombo Salles e Pedro Ivo Campos.

A ilha de Florianópolis pode ser vista através das Figuras 43, nas também é possível observar que por se tratar de uma ilha a mesma é banhada por águas em diversas direções. (GOVERNO DE SANTA CATARINA, 2021).

Figura 43 – Mapa da ilha de Florianópolis com bairros.



Fonte: SIG – Prefeitura Florianópolis (2022)

A Figura 43 ilustra o território conhecido como a parte insular da cidade de Florianópolis. A partir dela, é possível visualizar a existência do alto contato dos bairros com o mar, agente que esse que influência diretamente nas estruturas de concreto armado.

A região do sul da ilha de Florianópolis é a no qual localiza-se a ponte estudada nesse trabalho. O sul da ilha, ainda hoje, é a região menos habitada da cidade, local em que a natureza se apresenta mais presente e conservada, é composta pelos Bairros de Costeira do Pirajubaé, Campeche, Tapera, Morro das

Pedras, Ribeirão da Ilha, Armação, Matadeiro, Lagoinha do Leste, Pântano do Sul, Caieira e Solidão. A maior parte deles possuem contato com o mar, alguns desses bairros podem ser vistos na Figura 44 a seguir.

Figura 44 – Mapa do sul da ilha de Florianópolis

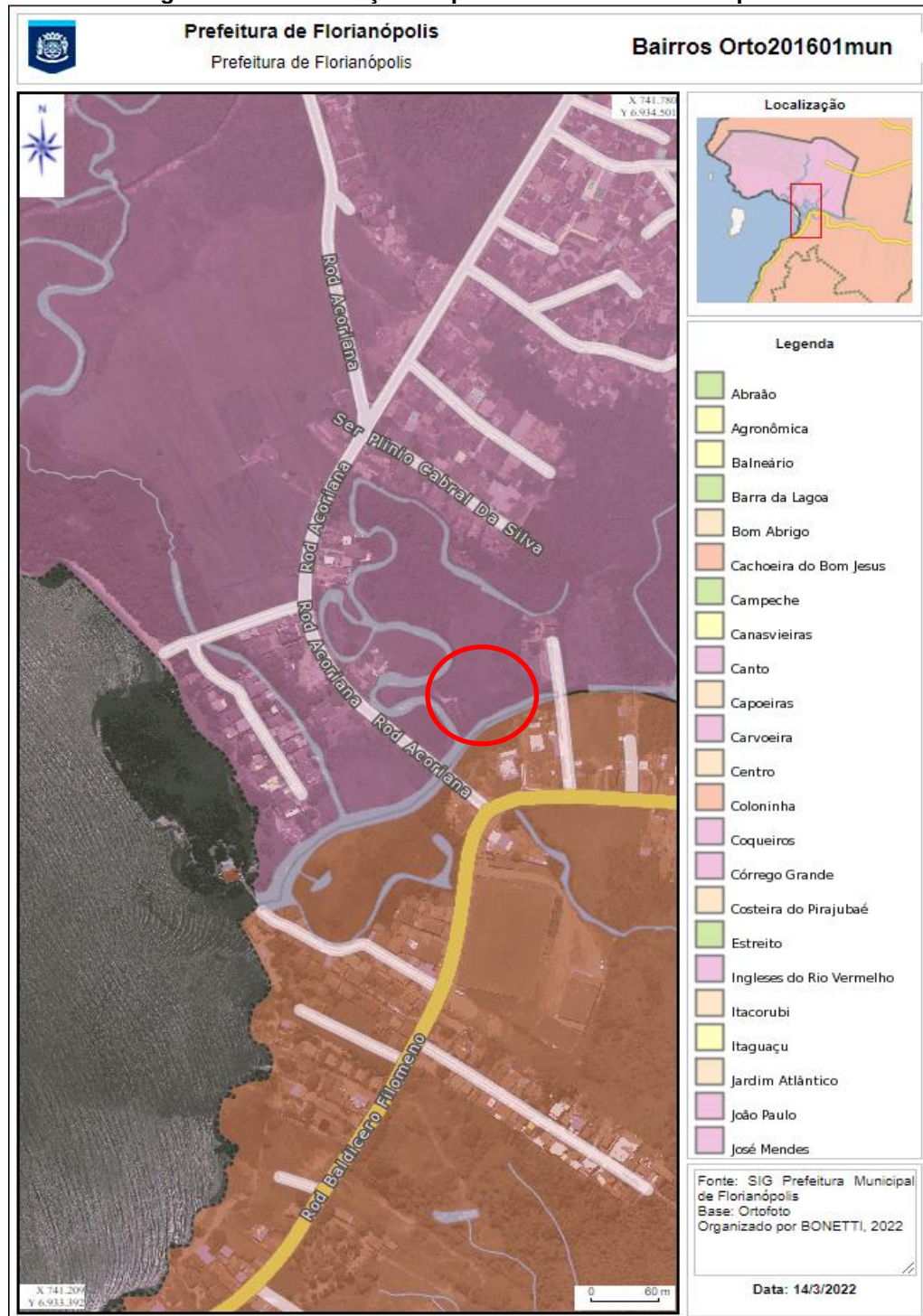


Fonte: SIG – Prefeitura Florianópolis (2022)

A ponte analisada encontra-se na região do sul da ilha de Florianópolis, no Bairro do Ribeirão da Ilha na Rodovia Açoriana servindo como ligação entre os bairros do Ribeirão da ilha e Tapera, a localização em relação aos bairros é demonstrada na

Figura 45, a ligação da ponte com os bairros Ribeirão-Tapera Figura 46 e a ponte em si na Figura 47.

Figura 45 – Localização da ponte na Ilha de Florianópolis



Fonte: SIG Florianópolis (2022)

Figura 46 – Ligação da ponte Ribeirão - Tapera



Fonte: Adaptado de Google Maps (2021)

Figura 47 – Visualização da ponte do Ribeirão da Ilha



Fonte: Autor (2022)

3.2 CARACTERIZAÇÃO DA PONTE

Na Tabela 11, são apresentadas informações referentes a localização, função da ponte, material, seção e outras características dos elementos da infraestrutura, mesoestrutura e superestrutura além do tamanho do vão, desenvolvimento altimétrico dentre outras informações relevantes.

Tabela 11 – Caracterização da ponte de estudo

Ponte do Ribeirão da Ilha	Características
Localização	Ribeirão da Ilha, Florianópolis, Santa Catarina

Rua	Rodovia Açoriana
Função	Tráfego rodoviário de veículos e acesso Ribeirão da Ilha - Tapera.
Material da super, infra e mesoestrutura	Concreto Armado
Encontra da ponte / berço	Sob pedras (Figura 103)
Classe de agressividade do ambiente	CAA IV – Por haver cheias na maré
Pavimento	Concreto asfáltico
Faixa de Rodagem	Aproximadamente 3,40 metros
Passeios	Sim, 1 metro de largura e guarda corpo.
Tamanho do vão	Pequeno vão
Desenvolvimento Altimétrico	Horizontal
Desenvolvimento planimétrico	Esconsa
Comprimento	Aproximadamente 20 metros
Classificação da ponte	Permanente
Natureza do Tráfego	Rodoviária
Desenvolvimento Planimétrico	Ponte Reta
Desenvolvimento Altimétrico	Ponte horizontal
Sistema estrutural da superestrutura	Ponte em Vigas
Material do tabuleiro, longarinas, transversinas, pilares e blocos	Concreto armado
Classificação do pilar – Material	Concreto armado
Classificação do pilar – Seção	Retangular
Disposição dos pilares	Distribuídos, são quatro pilares conforme sinaliza na Figura 52 e 53
Travamento com ligação viga - pilar	Cada eixo de dois pilares é ligado por uma viga acessório que trava a estrutura, conforme Figura 52 e 53
Classificação das Longarinas e Transversinas – Material	Concreto Armado
Classificação das Longarinas e Transversinas – Seção	Retangular
Disposição das Longarinas	Duas vigas principais de seção superior nos cantos da estrutura, conforme Figura 52 e 53
Classificação da fundação – Tipo	Bloco de Fundação

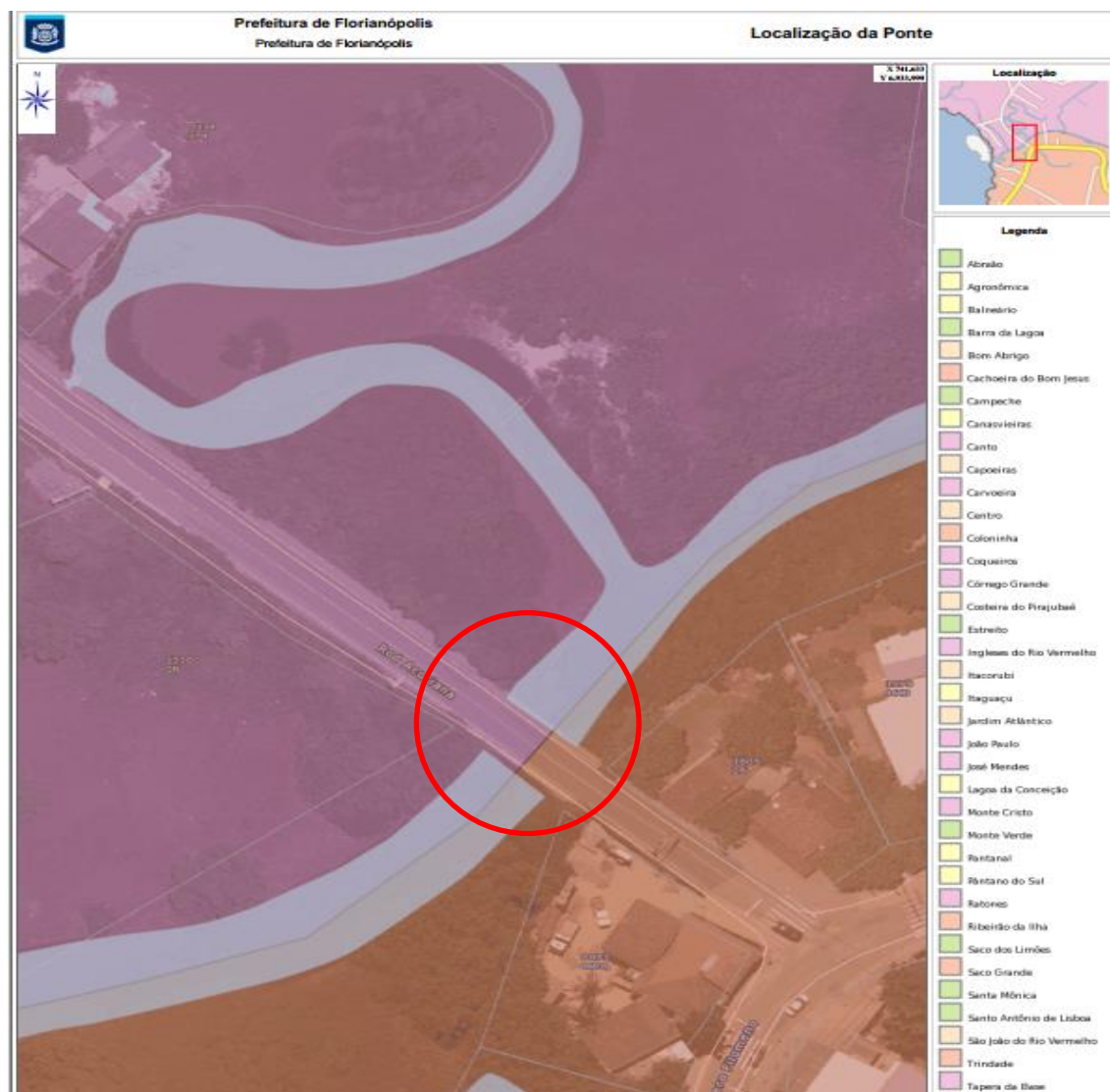
Fonte: Autor (2022)

3.3 CARACTERIZAÇÃO DA PONTE POR PROJETO

Para melhor elucidação das patologias e sua localidade, foram produzidas diversas plantas que são apresentadas das Figuras 49 a 53. O objetivo principal das figuras é a localização pelo leitor da ponte analisada, favorecendo sua compreensão de onde foram encontradas as patologias. Isso faz com que seja possível compreender as possíveis causas e consequências, devido ao comportamento único de cada elemento estrutural da ponte.

A Figura 48 a seguir, foi extraída do geoprocessamento da prefeitura de Florianópolis e ela ilustra a conexão entre os bairros em rosa o bairro Tapera da Base e em laranja o bairro Ribeirão da Ilha, o círculo é a ponte analisada.

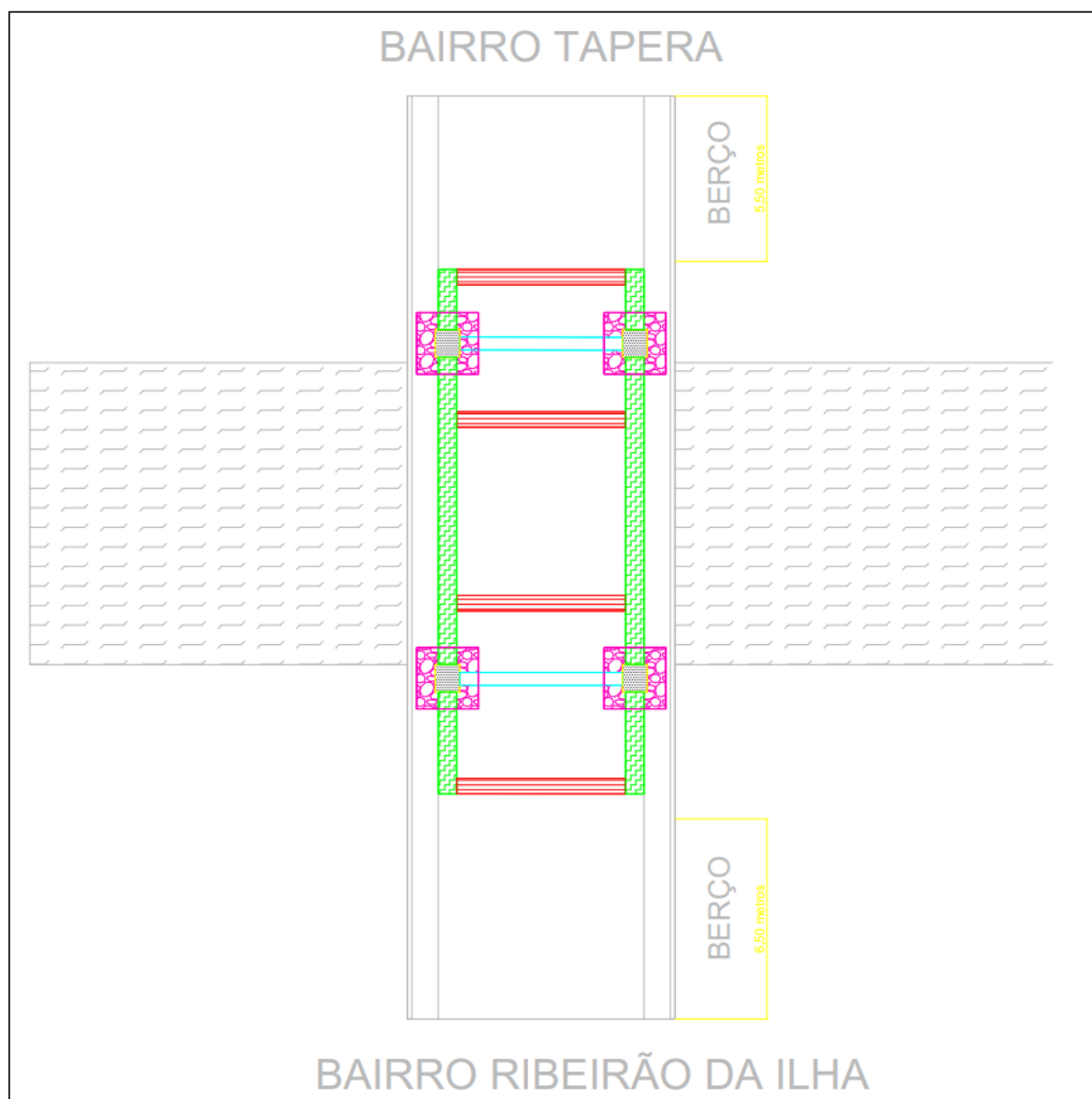
Figura 48 – Visualização da ponte analisada



Fonte: SIG – Prefeitura Florianópolis (2022)

Já na Figura 49 a seguir, é possível ter uma visualização da estrutura da ponte, como pilares, longarinas, transversinas, vigas de ligação, blocos de fundação e berço.

Figura 49 – Visualização da ponte analisada em projeto AutoCAD

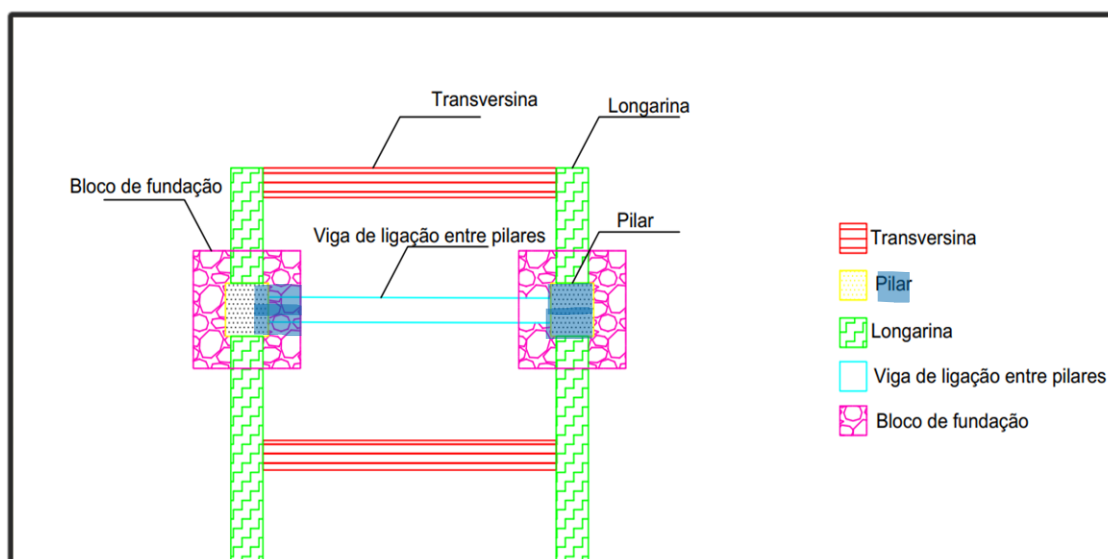


Fonte: Autor (2022)

Por conta de o presente trabalho possuir como um dos seus objetivos realizar a análise de patologias na ponte, é necessário verificar os elementos isolados para compreender o todo (processo indutivo).

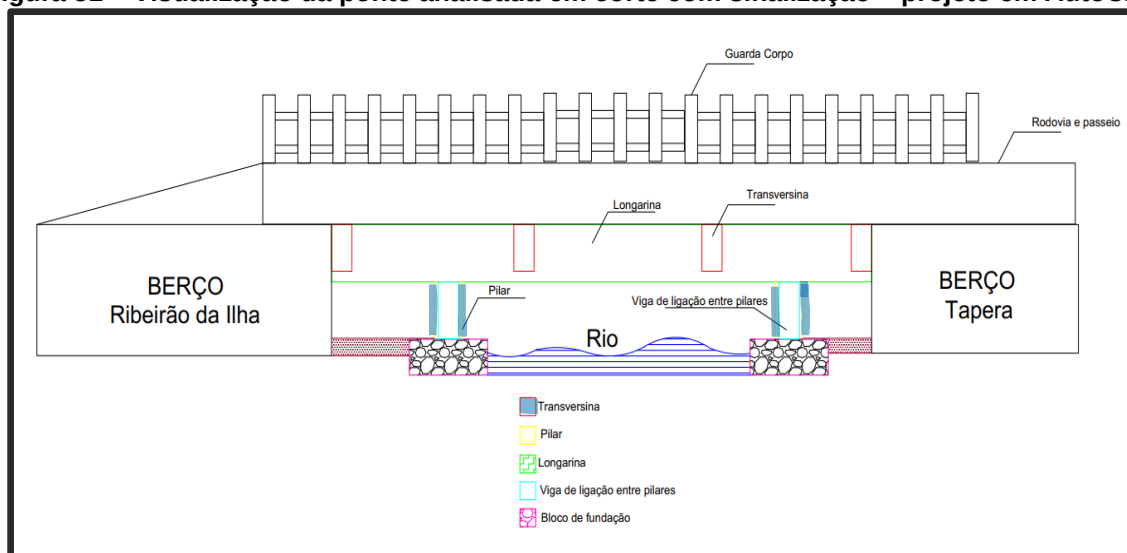
Diante disso, as Figura 50 e 51 abaixo ilustram como estão dispostos os elementos da ponte (transversinas, pilares, longarinas, vigas de ligação e bloco de fundação) em vista de planta e em vista de corte, respectivamente.

Figura 50 – Descrição dos elementos da ponte analisada – projeto em AutoCAD



Fonte: Autor (2022)

Figura 51 – Visualização da ponte analisada em corte com sinalização – projeto em AutoCAD



Fonte: Autor (2022)

Conforme já mencionado, as Figuras 50 (ponte vista em planta) e Figura 51 (ponte vista em corte), demonstram como é representado cada elemento associado a uma legenda que corrobora na melhor visualização e reconhecimento de cada elemento na ponte do Ribeirão da Ilha.

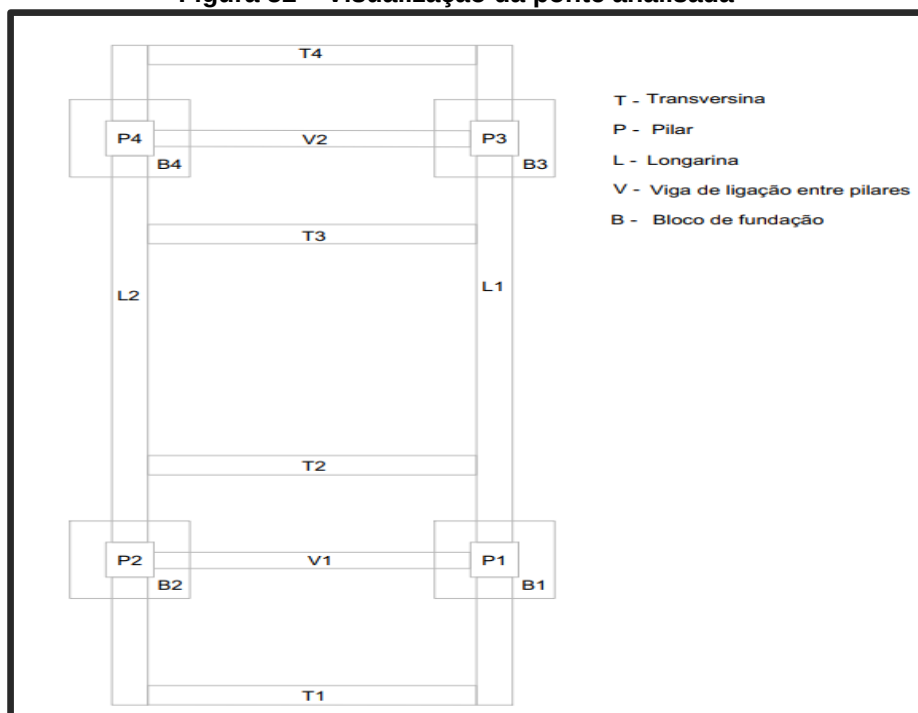
A análise das patologias observadas na ponte serão feitas através da avaliação dos elementos constituintes da ponte, caracterizando individualmente esses por conta da sua localização espacial na ponte e grau patológico e, assim, concluindo à respeito da estrutura como um todo.

Por isso, existe a necessidade de uma relação objetiva de cada elemento em função da sua posição ao longo da ponte estudada. Essa relação é observada nas Figuras 52 e 53, em que a ponte é vista em planta e em corte, respectivamente, associada a uma sigla que correlaciona elemento, local e quantidade.

Tais nomenclaturas seguiram os seguintes critérios:

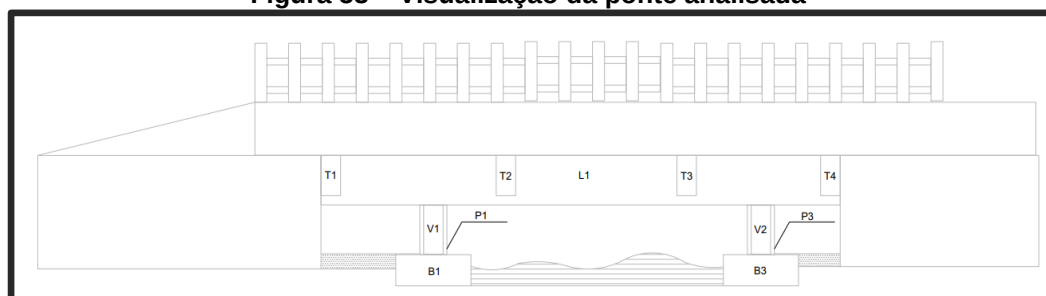
- T para transversinas
- P para pilares
- L para longarinas
- V para vigas de ligação entre pilares
- B para blocos de fundação

Figura 52 – Visualização da ponte analisada



Fonte: Autor (2022)

Figura 53 – Visualização da ponte analisada



Fonte: Autor (2022)

4 METODOLOGIA

Primeiramente, foi feita uma inspeção visual da obra para verificar o seu estado de modo geral e os possíveis acessos para a coleta de dados.

Posteriormente, visitou-se a ponte por sua lateral direita (local da longarina L1) no sentido do Ribeirão da Ilha para a Tapera e, uma vez que essa parte da obra encontra-se em propriedade privada, o acesso a ela teve o consentimento do morador. Verificou-se, contudo, a necessidade também de dados fotográficos dos elementos do lado esquerdo da ponte, assim, esses registros ocorreram por meio do acesso a sua adjacência oposta (sentido Tapera-Ribeirão) com bastante dificuldade devido a presença de grande quantidade de vegetação, pedras e animais (como aranha) no local (Figura 54).

Figura 54 – Obstrução do acesso ao outro lado da ponte por vegetação, pedras e animais



Fonte: Autor (2022)

Figura 55 – Registro fotográfico dificultado da ponte devido a vegetação



Fonte: Autor (2022)

As visitas ocorreram nos dias 30 de agosto, 19 de setembro de 2021 e também em 02 de fevereiro de 2022. As metodologias utilizadas para extração de dados foram obtidas através da inspeção visual, toque na estrutura para noções de umidade, resistência registro fotográfico das patologias, o ensaio não destrutivo de esclerometria e por fim o confronto com a norma DNIT 010/2004 – PRO.

Foram feitos registros fotográficos da parte superior da ponte, basicamente os passeios, guarda corpo e faixa de tráfego e, em seguida, outras fotos foram tiradas da parte inferior da ponte pelos acessos laterais. Nestes locais houve o registro da ponte como um todo e de suas patologias, presentes nos berços, longarinas, transversinas, pilares, viga de ligação dos pilares, tabuleiro e dos blocos de fundação, na medida do possível, devido a estes estarem inertes dentro da água (Figura 56) a seguir.

Figura 56 – Pilar imerso com dificuldade de aproximação e verificação de bloco de fundação.



Fonte: Autor (2022)

Por fim, após tais processos, ocorreu o ensaio não destrutivo de esclerometria com o Esclerômetro Schmidt Modelo N código PU-934, ASTM C 805 (Figura 105) e com a ábaco da Figura 112 os ensaios foram realizados de acordo com a NBR 7584 (2012) e podem ser vistos alguns passos através das Figuras 57 e 58 a seguir. Eles ocorreram nos elementos do berço, próximo ao bairro do Ribeirão da Ilha, nas duas longarinas (L1 e L2), na transversina T4, no pilar P1 e no tabuleiro.

Figura 57 – Escolha de um dos locais para ensaio esclerometrico



Fonte: Autor (2022)

Figura 58 – Realização do ensaio não destrutivo com esclerômetro



Fonte: Autor (2022)

2.1 ENSAIO REALIZADO IN LOCO

O ensaio foi realizado com o Esclerômetro Schmidt Modelo N código PU-934, ASTM C 805, conforme a Figura 59.

Figura 59 – Esclerômetro Schmidt Modelo N



Fonte: Autor (2022) apud Thomaz (2012)

A ensaio ocorreu da seguinte forma:

- (a) colocou-se o embolo em contato com a superfície de concreto da ponte(Figura 60).

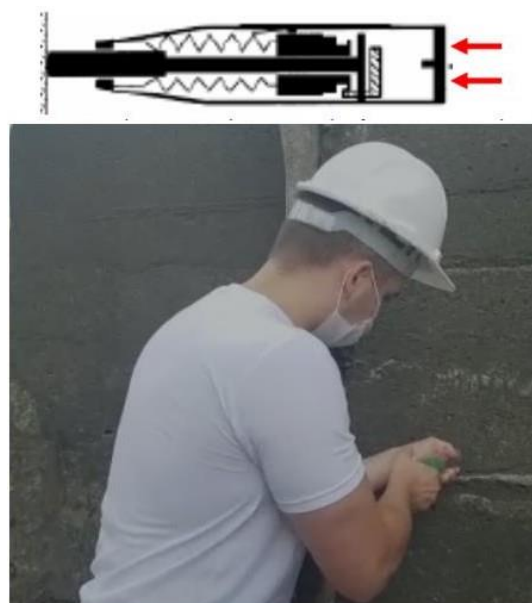
Figura 60 – Contato do esclerômetro com a superfície de concreto (a)



Fonte: Autor (2022) apud Thomaz (2012)

- (b) pressionou-se o embolo contra o concreto até a retração quase completada mola emitindo um som nesse processo (repique) – Figura 61.

Figura 61 –(b) Compressão do embolo sob o concreto e retração da mola.



Fonte: Autor (2022) apud Thomaz (2012)

(c) apertou-se o botão (Figura 62) que se encontra ao longo do esclerômetro para travar seu embolo.

Figura 62 – Botão para travamento do embolo do esclerômetro.



Fonte: Autor (2022)

(d) registrou-se o valor obtido pelo indicador (Figura 63) do equipamento.

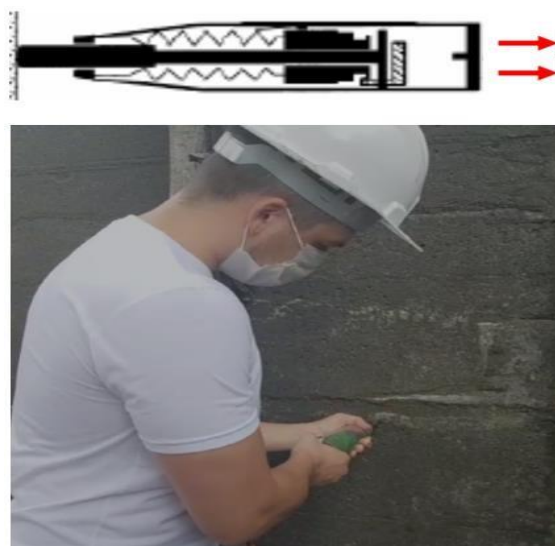
Figura 63 – Aferição do valor fornecido pelo esclerômetro



Fonte: Autor (2022)

(e) pressionou-se novamente o embolo contra o concreto liberando amola para a posição inicial (Figura 64) e tornou-o apto para próximas medições.

Figura 64 – Liberação do embolo para próximas medições



Fonte: Autor (2022) apud Thomaz (2012)

O procedimento acima foi realizado através da medição de 9 pontos no elemento estrutural analisado, obtendo-se os seus índices esclerométricos, conforme exemplifica a Figura 65 a seguir. Os elementos analisados foram o berço mais próximo ao Ribeirão da Ilha, a longarina L1 e L2, a transversina T4, o pilar P1 e o tabuleiro entre transversina T3 e T4.

Figura 65 – Demonstração dos 9 pontos analisados na longarina L1



Fonte: Autor (2022)

Por fim, após a realização dos procedimentos supracitados, partiu-se para a análise da ponte segundo a NORMA DNIT 010/2004 – PRO intitulada “Inspeções em pontes e viadutos de concreto armado e protendido – Procedimento”.

A análise da ponte, segundo essa norma, seguiu os procedimentos de inspeções gerais e particulares, e conseqüentemente foram analisados os resultados e providências pertinentes, e Anexos B e C dessa, seguindo a previsão normativa.

Ao final da verificação desses critérios, foi atribuída uma nota individual para cada elemento (laje, vigamento principal, mesoestrutura, infraestrutura e pista/acesso) e com base nessas notas, que variam de 1 a 5, foi selecionada como nota geral a menor dentre todas. Essas notas refletem a maior ou menor gravidade existente nas estruturas e elas são mensuradas através do Anexo C da NORMA DNIT 010/2004 - PRO

5 ANÁLISE DAS PATOLOGIAS OBSERVADAS NA PONTE

A análise das patologias observadas na ponte será feita através da verificação de cada elemento estrutural isoladamente. Para isso, são considerados os elementos isolados de interesse para essa verificação de patologias, sendo eles o tabuleiro, as transversinas, as longarinas, as vigas de ligação entre os pilares, os pilares e o bloco de fundação e esses seguirão a localização na ponte e nomenclatura ilustrada nas Figuras 52 e 53 observadas anteriormente.

Nas análises desenvolvidas nesse trabalho, foi utilizada a Tabela 7, extraída de OLIVEIRA (2012), para a classificação das fissuras quanto à sua abertura.

5.1 PILARES

De modo geral, todos os pilares apresentam-se com diversas patologias, como fissuração, desagregação, desintegração, desgaste, ação biótica e corrosão de armadura são percebidas em um grau alto gerando risco à estrutura como um todo.

A Figura 66 apresenta o Pilar P1, onde podemos ver que a evidência das diversas patologias, em específico a de corrosão de armadura e desintegração do concreto, ambas em alto grau de risco.

Figura 66 – Corrosão de armadura e desintegração concreto do pilar P1



Fonte: Autor (2022)

Devido à posição do pilar estar em contato com a água, sujeito à possíveis variações constantes de maré, pode ter ocorrido um processo químico na matriz cimentícia causando a despassivação da armadura e tornando a armadura suscetível à corrosão.

Ainda no mesmo pilar P1, a Figura 67 mostra a ruptura de um dos estribos do pilar, conforme sinalizado no círculo em vermelho, o que demonstra o alto grau de corrosão da armadura.

Figura 67 – Corrosão e rompimento de armadura do pilar P1



Fonte: Autor (2022)

Os pilares P2, P3 e P4 são vistos nas Figuras 68, 69 e 70 a seguir e apresentam patologias similares às do pilar P1 e, assim como nele, com alto grau de intensidade, o que pode comprometer a estrutura.

Figura 68 – Corrosão e deterioração do pilar P2



Fonte: Autor (2022)

Figura 69 – Corrosão e deterioração do pilar P3



Fonte: Autor (2022)

Figura 70 – Corrosão e deterioração do pilar P4



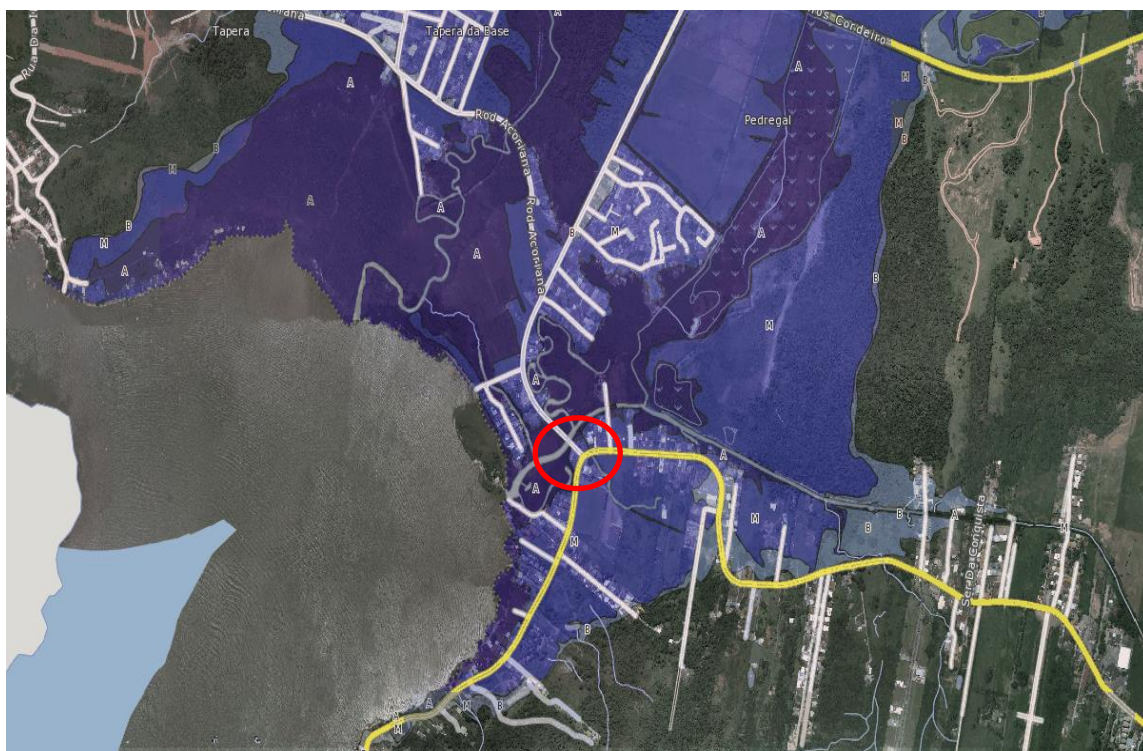
Fonte: Autor (2022)

Nas Figuras 68, 69 e 70 podemos ver a presença de deslocamento, representados por um círculo e armaduras expostas, com indicação pela seta. Todos os pilares verificados aparentam possuir pouca fissuração ocasionada por esforços, provavelmente advindas de processos químicos e da corrosão que gera tensões no concreto originando seu deslocamento.

Por fim, foi observado também que todos os pilares: P1, P2, P3, P4 sofrem com o aumento da maré, fato que facilita o aparecimento de patologias. A área de inundação pode ser observada na Figura 71 que mostra uma possível causa para ataque de cloretos nos pilares, mas também na estrutura como um todo (longarinas,

transversinas etc.) pois as áreas inundáveis (representado em azul) alcançam a área da ponte (circulada em vermelho) e alcançam até mesmo nos bairros da Tapera da Base e Ribeirão da Ilha.

Figura 71 – Áreas inundáveis SIG Florianópolis - (S 27° 41' 58.15" O 48° 32' 42.36")



Fonte: SIG Florianópolis (2016)

Nas figuras 68 e 70, já mostradas, e nas figuras 74, 78 e 80 é possível observar que existe uma linha (representada na figura 78 por uma reta vermelha) em que a maré parece oscilar recorrentemente podendo por vezes até mesmo atingir altura superior. Isso possivelmente facilitou o aparecimento de patologias em uma porção da estrutura que fica abaixo dessa linha.

Para validação dessa observação foi consultada a Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina EPAGRI/CIRAM, que dispôs a tábua de marés da cidade de Florianópolis com o auxílio da previsão oficial de maré efetuada pela Marinha do Brasil.

A tabela 11 a seguir representa essa tábua de maré discriminada pelos dias, horas e os valores de maré obtidos na cidade de Florianópolis. Percebe-se, a partir dessa tabela, que existe uma grande oscilação da maré de acordo com o dia e horário. O intervalo obtido através da verificação dessa tabela mostra que a altura da maré oscila entre 0 a 1 metro.

Tabela 11 – Oscilação de marés em Florianópolis com dias, horas e nível.

Florianópolis	01/03/2022		02/03/2022		03/03/2022		04/03/2022		05/03/2022	
	Hora	Alt. (m)	Hora	Alt. (m)	Hora	Alt. (m)	Hora	Alt. (m)	Hora	Alt. (m)
	03:17	1.0	03:42	1.0	04:04	1.0	04:25	0.9	04:51	0.9
	10:14	0.4	10:23	0.4	10:06	0.4	09:55	0.4	10:01	0.3
	14:55	0.9	15:19	0.9	15:55	1.0	16:21	1.0	16:57	1.0
	21:34	0.0	22:06	0.0	22:34	0.1	22:51	0.1	23:01	0.2
Florianópolis	06/03/2022		07/03/2022		08/03/2022		09/03/2022		10/03/2022	
	Hora	Alt. (m)	Hora	Alt. (m)	Hora	Alt. (m)	Hora	Alt. (m)	Hora	Alt. (m)
	05:08	0.8	05:29	0.8	05:51	0.7	06:01	0.7	03:44	0.7
	10:14	0.3	10:40	0.3	11:02	0.3	11:29	0.3	12:02	0.4
	17:25	0.9	18:02	0.9	18:51	0.8	20:02	0.7	15:25	0.5
	23:08	0.3	23:21	0.4	23:42	0.5	23:57	0.6	17:04	0.5
									22:06	0.7
									23:55	0.7
Florianópolis	11/03/2022		12/03/2022		13/03/2022		14/03/2022		15/03/2022	
	Hora	Alt. (m)	Hora	Alt. (m)	Hora	Alt. (m)	Hora	Alt. (m)	Hora	Alt. (m)
	02:57	0.7	01:46	0.8	01:38	0.8	01:57	0.9	02:21	1.0
	12:53	0.5	07:36	0.5	07:51	0.5	08:06	0.4	08:29	0.4
	15:04	0.5	11:17	0.6	12:34	0.7	13:16	0.8	13:55	0.8
	18:21	0.4	19:06	0.3	19:44	0.3	20:16	0.2	20:51	0.1
Florianópolis	16/03/2022		17/03/2022		18/03/2022		19/03/2022		20/03/2022	
	Hora	Alt. (m)	Hora	Alt. (m)	Hora	Alt. (m)	Hora	Alt. (m)	Hora	Alt. (m)
	02:55	1.0	03:23	1.0	04:01	1.0	04:29	1.0	05:02	0.9
	08:53	0.3	09:17	0.3	09:49	0.3	10:17	0.3	10:55	0.3
	14:27	0.9	15:02	1.0	15:38	1.0	16:14	1.0	16:55	1.0
	21:19	0.1	21:55	0.1	22:25	0.1	22:57	0.2	23:27	0.3
Florianópolis	21/03/2022		22/03/2022		23/03/2022		24/03/2022		25/03/2022	
	Hora	Alt. (m)	Hora	Alt. (m)	Hora	Alt. (m)	Hora	Alt. (m)	Hora	Alt. (m)
	05:36	0.8	06:04	0.7	01:16	0.6	01:42	0.7	02:06	0.8
	11:23	0.3	12:01	0.4	03:04	0.6	11:02	0.4	09:04	0.5
	17:32	1.0	18:16	0.9	06:34	0.6	12:57	0.5	10:59	0.5
	23:16	0.4	22:55	0.5	12:55	0.4	15:06	0.4	13:17	0.5
					19:10	0.8	20:23	0.7	16:57	0.4
					22:47	0.6	22:25	0.7		
Florianópolis	26/03/2022		27/03/2022		28/03/2022		29/03/2022		30/03/2022	
	Hora	Alt. (m)	Hora	Alt. (m)	Hora	Alt. (m)	Hora	Alt. (m)	Hora	Alt. (m)
	02:36	0.9	02:53	1.0	02:44	1.0	02:25	1.0	02:36	1.0
	08:04	0.4	08:27	0.4	08:47	0.4	09:04	0.4	09:14	0.4
	13:38	0.6	13:21	0.6	13:23	0.7	13:51	0.8	14:17	0.9
	18:14	0.3	19:08	0.2	19:55	0.1	20:32	0.1	21:04	0.1
Florianópolis	31/03/2022									
	Hora	Alt. (m)	Hora	Alt. (m)	Hora	Alt. (m)	Hora	Alt. (m)	Hora	Alt. (m)
	02:59	1.0								
	09:08	0.4								
	14:53	1.0								
	21:32	0.1								

Fonte: EPAGRI/CIRAM apud Marinha Brasileira (2022)

Também é possível observar, na tabela 11 anterior, que predominantemente nos horários da madrugada (entre 1 hora da manhã até 6 horas da manhã) é observado um maior nível de maré. Já referente às estruturas, essa oscilação de até um metro causa um efeito de contato e retirada dele com a estrutura, o que favorece patologias estruturais.

Além disso, é percebido na figura 68, 70, 74 e 78 que os pilares e vigas de ligação possuem uma cor esverdeada mais próximo ao nível da água, o que indica um contato direto e recorrente com a água.

Também é possível observar que as longarinas L1 e L2, conforme figuras 68 e 80, encontram-se mais deterioradas no seu bordo inferior em detrimento do superior. Isso indica um maior aparecimento de patologias pelo contato direto com a água devido à presença de oscilação de maré, nas partes inferiores dessas longarinas.

5.2 VIGA DE LIGAÇÃO ENTRE OS PILARES

Nas Figuras 72 e 73, vê-se as vigas de ligação entre os pilares. Nelas é possível perceber um grau patológico e de desgaste semelhante entre ambas e, com base na presença de cheias no local, é possível perceber também que as duas possuem a presença de limo um pouco acima da metade de sua altura, esse material biológico apresenta-se através da cor esverdeada em ambas as imagens.

Figura 72 – Viga de ligação entre pilares V1



Fonte: Autor (2022)

Figura 73 – Viga de ligação entre pilares V2



Fonte: Autor (2022)

A Figura 74 contém parte da viga V1. Nela, observa-se diversas patologias, como fissuração horizontal na região superior da peça, exposição de armadura, desintegração do concreto, presença de limo e infiltração por umidade, tais patologias são sinalizadas por setas.

Figura 74 – Patologias observadas na viga de ligação V1



Fonte: Autor (2022)

Em complemento da figura anterior, a Figura 75 a seguir traz uma noção do tamanho da fissuração e sua extensão horizontal.

Figura 75 – Demonstração da fissura presente na viga de ligação V1



Fonte: Autor (2022)

A fissura horizontal encontra-se ao longo de praticamente todo o vão entre os pilares, na parte superior da viga de ligação, e tem grau de abertura classificado como de trincas (de 0,5 a 1,5mm).

Figura 76 – Lixiviação presente na viga V1



Fonte: Autor (2022)

A Figura 76 expõe o processo de lixiviação da viga V1. A lixiviação, por vezes, está associada a um cimento mais puro e essa condição sugere a ausência ou presença reduzida de adições como pozolona e escória de alto forno, por exemplo.

A falta dessas adições pode ter contribuído para que o concreto se tornasse mais suscetível ao ataque de sulfatos, o que justificaria também a alta presença patológica de corrosão de armadura ao longo da ponte.

Figura 77 – Exposição de armadura presente na viga V2



Fonte: Autor (2022)

A Figura 77 mostra a viga entre pilares V2. Na imagem, percebe-se que parte do concreto que envolve o aço não está presente e a armadura da

viga está exposta, possivelmente devido a danos no concreto do concreto e/ou oxidação da armadura e, conseqüente, tensões que romperam o material de concreto.

Figura 78 – Presença de material biológico na viga de liga V2



Fonte: Autor (2022)

Por fim, nas vigas de ligação V1 e V2 (Figura 78) existe a presença de material advindo da natureza, como a presença de limo (representado pela cor esverdeada) e de animais impregnados na parte inferior, como moluscos. Isso, por si só, não gera grande risco a ponte, mas é uma constatação que ratifica a conexão da obra de arte com a ambiente agressivo, água salina e presença de cloretos.

5.3 LONGARINAS

Nas Figuras 79 e 80 é possível observar a presença de diversas patologias já observadas em outros elementos, tais como: fissuração, exposição de armadura e desintegração do concreto.

Figura 79 – Longarina L1



Fonte: Autor (2022)

Figura 80 – Longarina L2



Fonte: Autor (2022)

Figura 81 – Deterioração do concreto, abertura patológica na ligação longarina L1 pilar P1



Fonte: Autor (2022)

Na Figura 81, é perceptível uma abertura considerável e exposição da parte interna do concreto (incluindo armaduras). Tal patologia pode possuir diversas causas, o ambiente agressivo do local, associado a ao ataque de cloretos, corrosão de armadura e, conseqüente, expansão e até mesmo devido a esforços solicitados para essa ligação.

Na região de apoio da longarina L1, há um grave grau de corrosão e exposição das armaduras no vão das vigas, podendo ser observado nas figuras 82 a 85 a seguir.

Figura 82 – Ruptura de estribos da longarina L1



Fonte: Autor (2022)

Figura 83 – Exposição e corrosão da armadura da longarina L1



Fonte: Autor (2022)

Nas Figuras 82 e 83 é possível perceber que, devido a agressividade ambiental ao longo dos anos, o aço da estrutura encontra-se em

alto grau de degradação e o concreto, devido à tensão gerada pela corrosão do aço, deteriorou-se consideravelmente também.

Figura 84 – Armadura sem capa de concreto da longarina L1



Fonte: Autor (2022)

Na Figura 84, é possível perceber o alto grau patológico na parte inferior da longarina L1, a armadura longitudinal está completamente desprotegida com o concreto que a deveria envolver. Já na Figura 85, pode-se ver a exposição da armadura transversal da longarina L1 em menor grau, mas ainda sim gerando risco a estrutura.

Figura 85 – Armadura vertical exposta e corroída da longarina L1



Fonte: Autor (2022)

As Figuras 86 e 87 são referentes à longarina L2, nelas é possível observar a presença de diversas patologias, em especial o deslocamento do concreto e a exposição e corrosão de armadura em alto grau.

Figura 86 –Exposição, corrosão e abaloamento da armadura longitudinal da longarina L2



Fonte: Autor (2022)

Na Figura 86, é notável a exposição das barras longitudinais quase ao longo de toda a longarina. Também é perceptível que algumas dessas barras estão soltas e não envolvidas pelo concreto.

Já na Figura 87, o objeto de interesse é a exposição das armaduras transversais da viga e visualização da longarina em contato com o pilar. Ambos severamente degradados.

Figura 87 – Exposição e corrosão da armadura e pilar degradado na longarina L2



Fonte: Autor (2022)

A Figura 88 mostra as patologias na longarina L2, que são, basicamente, as mesmas da longarina L1, acrescidas de um outro fator de risco: as tubulações laterais, as quais atravessam a ponte e podem gerar um fluxo de líquidos não esperado para a longarina L1 e armaduras. Na Figura 88, é possível observar que as patologias em geral, acrescidas do desgaste pelo tempo, removeram a proteção de concreto que envolvia a tubulação branca (menor diâmetro) desprotegendo-a e facilitando o dano às mesmas.

Figura 88 – Encanamento exposto, degradação e corrosão de armadura da longarina L2



Fonte: Autor (2022)

5.4 TRANSVERSINAS

Já a visualização das transversinas T1, T2, T3 e T4 é feita através das Figuras 89 a 91.

As transversinas também apresentam patologias ao longo de si, assim como a maioria dos elementos analisados. Contudo, nelas o grau de degradação é reduzido em relação aos demais elementos estruturais, em especial nas transversinas centrais T2 e T3 e isso provavelmente advém do posicionamento delas na estrutura, pois as transversinas T2 e T3 estão menos expostas aos ventos marinhos.

Figura 89 – Transversina T1



Fonte: Autor (2022)

Figura 90 –Transversina T2 e T3



Fonte: Autor (2022)

Figura 91 – Demonstração fotográfica da transversina T4



Fonte: Autor (2022)

As Figura 92 e 93 apresentam a transversina T2. Nelas, observa-se principalmente fissurações verticais, as quais podem estar associadas aos esforços solicitados durante os anos à obra. Contudo, elas se encontram exatamente na posição dos estribos, o que indica uma corrosão do aço, que causa tensões expansivas e deteriora o concreto.

Figura 92 –Transversina T2



Fonte: Autor (2022)

Figura 93 – Transversina T2



Fonte: Autor (2022)

Dentre as duas transversinas, as próximas aos berços da ponte (T1 e T4) encontram-se em um grau de deterioração superior podendo ser consideradas em grau elevado em alguns pontos. A Figura 94, a seguir, demonstra tal fato. Nela é possível perceber que além da fissuração já observada nas transversinas T2 e T3 o grau de deterioração do concreto e da armadura é mais severo na transversina T1, inclusive deixando exposta boa parte da armadura longitudinal e vertical.

Além disso, existe a presença de uma cor esverdeada em sua parte inferior, o que indica contato direto com as águas do local e isso, provavelmente, desencadeou essas patologias mais acentuadas, vale ressaltar que as transversinas próximas dos berços da ponte possuem altura inferior as da centrais.

Figura 94 – Patologias de corrosão armadura, fissuração e cor esverdeada na transversina T1



Fonte: Autor (2022)

Figura 95 – Ligação da transversina T1 e longarina L1 e exposição de armadura.



Fonte: Autor (2022)

A Figura 95 mostra a intersecção entre a longarina L1 e a transversina T1, nela é possível observar que próximo aos pontos de ligação existe uma desintegração do concreto, exposição e corrosão de armadura bem acentuada.

Por fim, na Figura 96 a seguir, próximo ao berço, a transversina T1 encontra-se com a armadura mais exposta e o concreto está deslocado, sendo possível verificar os agregados e a armadura exposta.

Figura 96 – Demonstração fotográfica da transversina T1



Fonte: Autor (2022)

5.5 BLOCO DE FUNDAÇÃO

A visualização dos blocos de fundação é vista nas Figuras 97 a 99

Figura 97 – Apresentação dos blocos B1



Fonte: Autor (2022)

Figura 98 – Apresentação do bloco de fundação B2



Fonte: Autor (2022)

Figura 99 – Apresentação dos blocos B3 e B4, à direita B3.



Fonte: Autor (2022)

Basicamente, os blocos de fundação não se encontram tão deteriorados quanto os demais elementos apresentados. Os blocos possuem somente um grau de desgaste natural e presença de lodo e material biológico, conforme pode ser visto nas Figuras 97, 98 e 99. A ausência de algumas patologias, ou a presença delas

em

menor grau, provavelmente advém do próprio projeto do elemento, que previa o contato direto com o ambiente agressivo e a reduzida presença de oxigênio livre, o que, conseqüentemente, reduz as corrosões.

5.6 TABULEIRO

A visualização do tabuleiro entre as transversinas T3 e T4 é visto na Figura 100 a seguir, e entre as transversinas T1 e T2 é visto na Figura 101.

Figura 100 – Tabuleiro entre as transversinas T3 e T4



Fonte: Autor (2022)

Figura 101 – Tabuleiro entre as transversinas T1 e T3



Fonte: Autor (2022)

De modo geral, os tabuleiros encontram-se com a presença de patologias consideradas de alto grau, o que é observado em alguns pontos desse elemento. A Figura 100 mostra uma exposição e corrosão de armadura elevada, sendo possível ver a malha de aço que resiste aos esforços, desintegração do concreto e até mesmo uma barra rompida.

A Figura 101 e 102 se situam entre as transversinas T1 e T2 e essa parte encontra-se com maior presença de exposição e corrosão das armaduras em relação a Figura 100 (parte do tabuleiro entre transversina T3 e T4).

Figura 102 – Exposição de armadura por corrosão do tabuleiro entre T1 e T2



Fonte: Autor (2022)

Figura 103 – Exposição de armadura por corrosão do tabuleiro entre T3 e T4



Fonte: Autor (2022)

Na Figura 103, é possível perceber a mesma presença de desintegração do concreto, exposição e corrosão de armadura contudo em um grau inferior e em menos pontos dessa parte do tabuleiro.

5.7 ÁREA DE TRÁFEGO, PASSEIOS E BERÇO

Para complementar as análises, foram observados a parte referente à superestrutura da ponte e outros, como faixa de tráfego de veículos, passeios, guarda corpos e berço.

Figura 104 – Visão geral da parte superior da ponte do Ribeirão - Tapera



Fonte: Autor (2022)

A Figura 104 mostra uma visão geral da parte superior da ponte do Ribeirão da Ilha, a foto foi retirada no sentido Tapera-Ribeirão, e traz uma noção do tamanho do vão e desgaste na parte superior

A Figura 105 mostra parte da faixa de rodagem, o passeio e guarda corpo e um dos acessos a ponte pela lateral direita (sentido Tapera-Ribeirão).

Figura 105 – Demonstração da faixa de rodagem, passeio, guarda corpo e acesso lateral



Fonte: Autor (2022)

Observadas as Figuras 104 e 105, é possível localizar-se na obra colaborando para análise da Figura 106, que tem como objetivo mostrar que o guarda corpo encontra-se em um grau patológico moderado mesmo com a alta idade da ponte e desgaste devido a intempéries, basicamente no guarda corpo, de ambos os lados, encontrou-se uma leve exposição de armadura e tinta removida devido ao desgaste e dissolução.

Figura 106 – Guarda corpo deteriorado



Fonte: Autor (2022)

Em complemento ao já exposto, a Figura 107 mostra o guarda corpo, mas o interesse dessa imagem é a verificação do passeio, em que o concreto se encontra um pouco desgastado. Acredita-se que o desgaste tenha ocorrido devido ao próprio tempo da estrutura, intempéries e da presença da pesca no local. O centro dos guarda corpos são os pontos em que os pescadores apoiam seus equipamentos de

pesca e ao colher esses equipamentos é gerado um atrito com a região causando um desgaste, contudo esses elementos são delimitados como grau de risco baixo.

Figura 107 – Passeio desgastado devido ao tempo e intempéries



Fonte: Autor (2022)

Já na Figura 108 a seguir, existe a verificação de uma abertura no pavimento que atravessa de um lado a outro. Diversas causas poderiam ocasionar esse fenômeno, como: a dilatação do pavimento, o recalque no encontro do tabuleiro com o asfalto, e até mesmo a vibração da ponte.

Figura 108 – Abertura de fenda no asfalto da ponte



Fonte: Autor (2022)

Os berços encontram-se em estado suficientemente satisfatório, não apresentando patologias graves, mesmo diante dos anos de construção da ponte. O berço próximo ao Bairro da Tapera é visto na Figura 109 e o berço próximo ao Bairro

do Ribeirão da Ilha é observado na Figura 110. Ambos são construídos com rocha, tijolo e concreto.

Figura 109 – berço próximo a bairro da Tapera



Fonte: Autor (2022)

Figura 110 – berço próximo a bairro do Ribeirão da Ilha



Fonte: Autor (2022)

6 ESCLEROMETRIA DA PONTE DO RIBEIRÃO DA ILHA

6.1 RESULTADOS E ANÁLISE DO ENSAIO DE ESCLEROMETRIA

Os resultados dos 9 pontos realizados no ensaio de esclerometria são observados nas Tabelas 11 a 16, sendo esses divididos pelos elementos analisados.

**Tabela 12 – Resultados obtidos pela esclerometria de 9 pontos - Berço
Berço próximo ao Ribeirão da Ilha**

Ponto medido	ÍNDICE ESCLERÔMETRICO (IE)	Ângulo (α)
1	28	0 °
2	26	0 °
3	36	0 °
4	36	0 °
5	38	0 °
6	34	0 °
7	32	0 °
8	34	0 °
9	36	0 °

Fonte: Autor (2022)

**Tabela 13 – Resultados obtidos pela esclerometria de 9 pontos – longarina L1
Longarina L1**

Ponto medido	ÍNDICE ESCLERÔMETRICO (IE)	Ângulo (α)
1	30	0 °
2	38	0 °
3	30	0 °
4	36	0 °
5	34	0 °
6	40	0 °
7	38	0 °
8	34	0 °
9	34	0 °

Fonte: Autor (2022)

Tabela 14 – Resultados obtidos pela esclerometria de 9 pontos – longarina L2

Longarina L2		
Ponto medido	ÍNDICE ESCLERÔMETRICO (IE)	Ângulo (α)
1	34	0 °
2	34	0 °
3	38	0 °
4	34	0 °
5	38	0 °
6	36	0 °
7	32	0 °
8	30	0 °
9	30	0 °

Fonte: Autor

Tabela 15 – Resultados obtidos pela esclerometria de 9 pontos – transversina T4

Transversina T4		
Ponto medido	ÍNDICE ESCLERÔMETRICO (IE)	Ângulo (α)
1	38	0 °
2	42	0 °
3	44	0 °
4	38	0 °
5	38	0 °
6	40	0 °
7	36	0 °
8	38	0 °
9	36	0 °

Fonte: Autor (2022)

Tabela 16 – Resultados obtidos pela esclerometria de 9 pontos – pilar P1

Pilar P1		
Ponto medido	ÍNDICE ESCLERÔMETRICO (IE)	Ângulo (α)
1	30	0 °
2	32	0 °
3	34	0 °
4	32	0 °
5	30	0 °
6	34	0 °
7	36	0 °

8	32	0 °
9	32	0 °

Fonte: Autor (2022)

**Tabela 17 – Resultados obtidos pela esclerometria de 9 pontos – tabuleiro
Tabuleiro entre transversina T3 e T4**

Ponto medido	ÍNDICE ESCLERÔMETRICO (IE)	Ângulo (α)
1	50	90 °
2	42	90 °
3	50	90 °
4	50	90 °
5	50	90 °
6	42	90 °
7	46	90 °
8	42	90 °
9	44	90 °

Fonte: Autor (2022)

Os ensaios, das tabelas 11 a 16 anteriores, foram realizados em 9 pontos dos elementos citados, procedendo a medição na ordem de cima para baixo e da esquerda para a direita e o ângulo (α) orienta qual das linhas no ábaco serão utilizadas para determinação de resistência, sendo 0 ° o embolo horizontal e 90 ° o embolo na vertical.

Posteriormente, em acordo com a NBR 7584 (2012), foram realizadas as médias aritméticas dos 9 valores obtidos para cada elemento chegando-se aos valores em amarelo vistos na Tabela 17.

Com base nas médias aritméticas da Tabela 17 e em acordo com a NBR 7584 (2012), recomenda-se que quaisquer valores individuais afastados em mais de 10% da média obtida anteriormente deverão ser retirados e novamente ser calculada nova média aritmética sem esses valores, conforme mostrado na Tabela 17 em cinza.

Na Tabela 17, a seguir, são mostrados respectivamente: os valores medidos pela esclerometria por elemento estrutural, média aritmética (em amarelo) efetuada pela Tabela 17, variação percentual de 10% com base na média aritmética da Tabela 17, divisão em valores acima e abaixo do 10% e nova média aritmética calculada com base nos dados anteriores

Tabela 18 – Média aritmética dos valores de esclerometria dos elementos

	Berço	Longarina L1	Longarina 2	Transversina T4	Pilar P1	Tabuleiro
Valores obtidos de ÍNDICE ESCLERÔMETRICO (IE) pela esclerometria de cada elemento	28	30	34	38	30	50
	26	38	34	42	32	42
	36	30	38	44	34	50
	36	36	34	38	32	50
	38	34	38	38	30	50
	34	40	36	40	34	42
	32	38	32	36	36	46
	32	34	30	38	32	42
	36	34	30	36	32	44
Média Aritmética dos (IE)	33	35	34	39	32	46
Variação 10% (acima)	36	38	37	43	36	51
Variação 10% (abaixo)	30	31	31	35	29	42
Nova média aritmética dos (IE)	34	36	34	38	32	46

Fonte: Autor (2022)

Na mesma tabela, são considerados valores medidos acima da variação de 10% os sinalizados em verde claro e valores abaixo da variação de 10% os sinalizados em azul claro e, por fim, a nova média aritmética extraída com a exclusão desses valores é observada na cor cinza. Essa nova média fornece o índice esclerométrico médio, esse valor deve ser multiplicado de um coeficiente de correção (k) fornecido pelo fabricante que é de 1,02 chegando ao valor do índice esclerométrico médio efetivo.

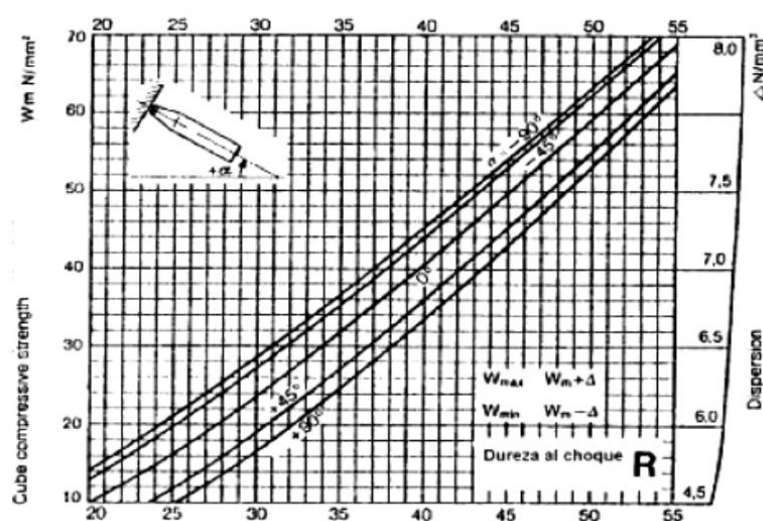
Sendo assim, o índice esclerométrico médio efetivo de cada elemento é:

- 35 para o berço.
- 37 para longarina L1.
- 35 para longarina L2.
- 39 para transversina T4.

- 33 para pilar P1.
- 47 para tabuleiro,

Por fim, como o objetivo da realização desse ensaio não destrutivo para a ponte do Ribeirão da Ilha foi a obtenção e a verificação do resultado da resistência à compressão de cilindros em Mpa, realizou-se a correlação dos dados calculados do índice esclerométrico médio efetivo com o ábaco (Figura 111), fornecido pelo fabricante para encontrar os seus valores em MPa.

Figura 111 – Resistência à compressão em cubos em N/mm² (MPa) em função da dureza ao choque
Esclerômetro Schmidt Modelo N



Fonte: Thomaz (2012)

A intersecção do eixo x (índice esclerométrico médio efetivo) e eixo y (resistência a compressão em MPa nas curvas de interesse (0 °, 90 °) demonstram os valores desejados para verificar a resistência a compressão do concreto armado. Esses valores de resistência são vistos na Tabela 18 a seguir.

Tabela 19 – Média aritmética dos valores de esclerometria dos elementos

ELEMENTO ESTRUTURAL	Ângulo (α)	ÍNDICE ESCLERÔMETRICO MÉDIO EFETIVO	MPA
BERÇO	0 °	35	32
LONGARINA L1	0 °	37	35
LONGARINA L2	0 °	35	32
TRANSVERSINA T4	0 °	39	40
PILAR P1	0 °	33	28
TABULERIO	90 °	47	43

Fonte: Autor

Vale salientar que, dentro dos valores da Tabela 19, somente o tabuleiro atingiu uma resistência de 43 MPa, e isso indica que, conforme a norma vigente (NBR 6118/2014) e Figura 21 do presente trabalho, a ponte de concreto armado e classificada em CAA IV (agressividade muito forte) não atingiria o mínimo de resistência solicitada.

Todavia, mesmo assim, esses pontos medidos não são capazes de produzir um resultado satisfatório que possa afirmar a resistência a compressão do concreto. Para essa verificação, seriam necessários, primeiramente, um maior espaço amostral de pontos com índices esclerométricos ao longo de toda a estrutura. Esses pontos devem ser correlacionados a outros ensaios e métodos estatísticos e/ou probabilísticos que poderiam ratificar com veemência a capacidade de suportar os esforços solicitados.

Além disso, os esforços solicitados precisariam ser mensurados também através de cálculos estruturais, projetos anteriores, estudos de tráfego e outras avaliações que peritos na área de estrutura podem considerar convenientes.

Visto isso, para fundamentar melhor se a ponte ainda apresenta capacidade de resistência aos esforços solicitados é primordial a verificação das armaduras. Essa verificação deve analisar as armaduras para ratificar se elas possuem seção mínima, resistência à tração compatível com os esforços bem como outras avaliações referente a esse elemento, pois as mesmas se encontram em alto grau de exposição e corrosão.

7 AVALIAÇÃO DE RISCOS SEGUNDO NORMA DNIT 010/2004-PRO

A norma DNIT 010/2004 – PRO faz diversas ponderações pertinentes a inspeção de pontes e viadutos de concreto armado e protendido.

Contudo, para obter-se um estudo mais objetivo da avaliação e resultados com base nessa norma, são observados os pontos pertinentes dos Anexos B e C.

O primeiro critério é a compreensão da relação da nota, danos, ação corretiva, condições de estabilidade e classificação das condições da ponte, esses elementos são observados na Figura 112 a seguir. Essas notas e dados serão utilizadas para completar o Anexo B posteriormente.

Figura 112 – Anexo C - norma DNIT 010/2004 – PRO

NOTA	DANOS NO ELEMENTO / INSUFICIÊNCIA ESTRUTURAL	AÇÃO CORRETIVA	CONDIÇÕES DE ESTABILIDADE	CLASSIFICAÇÃO DAS CONDIÇÕES DA PONTE
5	Não há danos nem insuficiência estrutural	Nada a fazer.	Boa	Obra sem problemas
4	Há alguns danos, mas não há sinais de que estejam gerando insuficiência estrutural	Nada a fazer; apenas serviços de manutenção.	Boa	Obra sem problemas importantes
3	Há danos gerando alguma insuficiência estrutural, mas não há sinais de comprometimento da estabilidade da obra.	A recuperação da obra pode ser postergada, devendo-se, porém, neste caso, colocar-se o problema em observação sistemática.	Boa aparentemente	Obra potencialmente problemática Recomenda-se acompanhar a evolução dos problemas através das inspeções rotineiras, para detectar, em tempo hábil, um eventual agravamento da insuficiência estrutural.
2	Há danos gerando significativa insuficiência estrutural na ponte, porém não há ainda, aparentemente, um risco tangível de colapso estrutural.	A recuperação (geralmente com reforço estrutural) da obra deve ser feita no curto prazo.	Sofrível	Obra problemática Postergar demais a recuperação da obra pode levá-la a um estado crítico, implicando também sério comprometimento da vida útil da estrutura. Inspeções intermediárias ¹ são recomendáveis para monitorar os problemas.
1	Há danos gerando grave insuficiência estrutural na ponte; o elemento em questão encontra-se em estado crítico, havendo um risco tangível de colapso estrutural.	A recuperação (geralmente com reforço estrutural) - ou, em alguns casos, substituição da obra - deve ser feita sem tardar.	Precária	Obra crítica Em alguns casos, pode configurar uma situação de emergência, podendo a recuperação da obra ser acompanhada de medidas preventivas especiais, tais como: restrição de carga na ponte, interdição total ou parcial ao tráfego, escoramentos provisórios, instrumentação com leituras contínuas de deslocamentos e deformações etc.

(1) Inspeções Intermediárias, no presente contexto, significa novas Inspeções a intervalos de tempo inferiores aos normais.

Obs.: A nota final da ponte corresponde a menor dentre as notas recebidas pelos seus elementos com função estrutural.

Fonte: DNIT (2004)

O anexo B da norma DNIT 010/2004 – PRO trata a respeito da ficha de inspeção da ponte, suas observações e nota técnica, para melhor elucidação foram separadas as Figuras 113 a 117, em que é possível avaliar cada elemento individualmente chegando-se a nota técnica final (Figura 118).

Figura 113 – Avaliação do elemento laje – norma DNIT 010/2004 – Anexo B

1. LAJE		Nota Técnica: 3	Local	Quantidade (Opcional)
Buraco (abertura)	☐ Existe	☒ É Iminente	Centro do Tabuleiro	
Armadura Exposta	☒ Muito Oxidada	☐ Grande Incidência	Entre T1 e T2 e T3 e T4	
Concreto Desagregado	☒ Muita Intensidade	☐ Grande Incidência	As longos da laje	
Fissuras	☐ Forte Infiltração	☒ Grande Incidência	As longos da laje	
Marcas de Infiltração	☐ Forte	☒ Grande Incidência	Próximos a exposição armadura	
Aspecto de Concreto	☒ Má Qualidade		-	
Cobrimento	☒ Ausente / Pouco		Pontos armadura exposta	

Fonte: Autor (2022) apud DNIT (2004)

Assim como discorrido ao longo do trabalho, a Figura 114 acima mostra a respeito da avaliação do elemento laje, a nota técnica desse elemento foi 3 e ele possui diversas patologias como buracos iminentes, armadura exposta e oxidada, concreto desagregado, fissura e muitas vezes remoção do cobrimento.

Figura 114 – Avaliação do vigamento principal – norma DNIT 010/2004 – Anexo B

2. VIGAMENTO PRINCIPAL		Nota Técnica: 2	Local	Quantidade (Opcional)
Fissuras Finas	☐ Algumas	☒ Grande Incidência	-	
Trincas (fissuras w>0,3mm)	☐ Algumas	☒ Grande Incidência	-	
Armadura Principal	☒ Exposta	☒ Muito Oxidada	Armadura inferior exposta	
Desagreg. de Concreto	☒ Muito Intenso	☐ Grande Incidência	As longos da estrutura	
Dente Gerber	☐ Quebrado/Desplacado	☐ Trincado	-	
Deformação (Flecha)	☐ Exagerada		-	
Aspectos do Concreto	☒ Má Qualidade		Deteriorados	
Cobrimento	☒ Ausente / Pouco		Centro de L1 e L2	

Fonte: Autor (2022) apud DNIT (2004)

A Figura 115 anterior mostra a respeito da avaliação do vigamento principal que recebeu a nota técnica 2, essa nota advém das condições desses elementos que se encontram com fissuras, trincas, armaduras expostas e oxidadas e cobrimento comprometido.

Figura 115 – Avaliação da mesoestrutura – norma DNIT 010/2004 – Anexo B

3. MESOESTRUTURA		Nota Técnica:	Local	Quantidade (Opcional)
Armadura Exposta	☒ Muito Oxidada	☒ Grande Incidência	<u>Nos pilares P1, P2, P3 e P4</u>	
Concreto Desagregado	☒ Muita Intensidade	☒ Grande Incidência	-	
Fissuras	☐ Forte Infiltração	☒ Grande Incidência	-	
Aparelho de Apoio	☒ Danificado	☐ Grande Incidência	-	
Aspecto do Concreto	☒ Má Qualidade		-	
Cobrimento	☒ Ausente/Pouco		-	
Desaprumo	☐ Há		-	
Deslocabilidade dos Pilares	☐ Forte		-	

Fonte: Autor (2022) apud DNIT (2004)

A Figura 116, a seguir, trata a respeito da mesoestrutura que, assim como o vigamento principal, recebeu a nota técnica 2, tal nota advém da percepção de uma grande exposição e oxidação das armaduras dos pilares, bem como concreto desagregado, fissuras e até mesmo o aparelho de apoio estar em condição adversa.

Figura 116 – Avaliação da infraestrutura – norma DNIT 010/2004 – Anexo B

4. INFRAESTRUTURA		Nota Técnica:	Local	Quantidade (Opcional)
Recalque de Fundação	☐ Há	<u>4</u>	-	
Deslocamento de Fundação	☐ Há		-	
Erosão Terreno de Fundação	☒ Há		-	
Estacas Desenterradas	☐ Há		-	

Fonte: Autor (2022) apud DNIT (2004)

De modo geral a infraestrutura não pode ser analisada a fundo, contudo foi percebido através dos procedimentos que o único evento observado foi uma erosão do terreno de fundação. Dessa forma essa avaliação recebeu a nota 4, sendo considerada boa.

Figura 117 – Avaliação da pista e acesso – norma DNIT 010/2004 – Anexo B

5. PISTA / ACESSO		Nota Técnica:	Local	Quantidade (Opcional)
Irregularidades no Pav.	☐ Muita Intensidade	<u>4</u>	-	
Junta de Dilatação	☒ Faltando/Inoperante	☒ Muito Problemática	<u>Ruptura no pavimento</u>	
Acessos X Ponte	☐ Degrau Acentuado	☐ Concordância Problem.	-	
Acidentes com Veículos	☐ Frequente	☒ Eventual	-	

Fonte: Autor (2022) apud DNIT (2004)

Da mesma forma que a infraestrutura, a pista e o acesso encontram algum grau patológico e de deterioração, mas nada grave que comprometa o seu uso ou gere grande risco, diante disso essa avaliação recebeu a nota técnica 4.

Por fim, a Figura 119 a seguir é a compreensão geral da estrutura segundo a norma DNIT 010/2004 em seu Anexo B. A nota final é concebida a partir da menor nota observada dentre as notas recebidas pelos elementos com função estrutural.

Dessa forma, as menores notas são as observadas na mesoestrutura e vigamento principal e correspondem a 2, ficando portando a nota técnica final 2.

Figura 118 – Avaliação final e nota técnica final – norma DNIT 010/2004 – Anexo B

COMENTARIOS GERAIS			
a) Condições de Estabilidade:	☐ Boa	☒ Sofrível	☐ Precária
b) Nível de Vibração do Tabuleiro:	☐ Normal	☒ Intenso	☐ Exagerado
c) Inspeção Especializada (Realizada por Engenheiro de Estruturas),	Necessária? ☒ SIM ☐ NÃO		
Já houve alguma anteriormente?	☐ SIM	☐ NÃO	Urgente? ☒ SIM ☐ NÃO
OBSERVAÇÕES ADICIONAIS:			

NOTA
TÉCNICA

2

Fonte: Autor (2022) apud DNIT (2004)

Além da nota técnica geral, a Figura 119 contempla outras informações como condições de estabilidade que se encontra sofrível, condições de conservação que está ruim, nível de vibração do tabuleiro que é intenso e a necessidade de inspeção especializada que é necessária e urgente.

Por fim, entendendo a nota técnica geral como 2 é observado através do Anexo C (Figura 113) que a ação corretiva proposta é a recuperação da obra a ser feita no curto prazo e que a classificação da condição da ponte é uma obra problemática e postergar demais a recuperação dela pode leva-la a um estado crítico, podendo comprometer sua vida útil. Além disso, é recomendável inspeções intermediárias para monitorar os problemas

8 CONCLUSÃO

Nesse trabalho, foi localizada a obra de arte especial da ponte do Ribeirão da Ilha na cidade de Florianópolis. Posteriormente, foram identificadas e averiguadas as diversas patologias existentes nessa ponte, buscando sempre as suas possíveis causas, visto que as patologias atuam muitas vezes em efeito cascata.

A ponte em questão encontra-se com diversas patologias como fissuração, ataque de cloretos, carbonatação, lixiviação, desgaste físico, agentes bióticos, despassivação, exposição e corrosão de armadura e, na maioria dessas, o grau encontrado é alto, especialmente nas armaduras que se mostram bem corroídas e até mesmo rompidas.

Além disso, as patologias supracitadas não se restringem em somente um elemento como pilar, mas estão presentes ao longo da maioria dos elementos da ponte como longarinas, transversinas, pilares, vigas de ligação, tabuleiro, berços, asfalto, guarda corpo e até mesmo nos passeios.

Em consonância com o exposto, é percebido que a ponte possui idade avançada e ainda está inserida em um ambiente de classe de agressividade alta (CAA IV) com aumentos e baixas de maré. Isso colabora em muito para a manifestação de patologias que a mesma ponte, mesmo com a sua idade construtiva, poderia não apresentar.

Nesse diapasão, por mais que a ponte não tenha sofrido ruptura, o ensaio esclerométrico trouxe apenas noções de resistência, mas por não haver grande espaço amostral e associação com outros ensaios e verificações não é possível afirmar que a ponte apresenta resistência satisfatória e segura para os carregamentos aplicados nela.

Com isso, é necessário a realização de cálculos mais específicos e conclusivos além de acompanhamentos e verificações de outros parâmetros como solicitações, resistência à compressão efetiva, resistência à tração e condições da armadura da ponte, visto que ela se encontra muito deteriorada.

Também foi verificado, através da norma DNIT 010/2004 – PRO que de modo geral a ponte do Ribeirão da Ilha encontra-se com a nota técnica geral de 2,

sendo enquadrada como condição de estabilidade sofrível, e classificando-a como em condição de obra problemática que necessita como ação corretiva a recuperação da mesma no curto prazo.

Diante disso, recomenda-se então que para a ponte sejam realizados ensaios complementares como os referentes a carbonatação, sulfato, ultrassom dentre outros. Além da verificação dos blocos de fundação com mais precisão através do uso de equipamento adequado.

São outras sugestões a realização de um espaço amostral maior com o esclerométrico e sua correção com a posição da peça realizando uma comparação com o grau de presença patológica, o tipo de elemento analisado e o seu contato direto com o mar. Outra avaliação para trabalhos futuros seria a quantificação da presença e avaliação da fissuração, armadura exposta, lixiviação e outras através do uso de drones e o estudo da influência dos ventos sul e norte nas longarinas L1 e L2.

Quanto ao ensaio realizado pela norma DNIT 010/2004, é sugerido também um estudo mais aprofundado, sugestões e aprimoramento para critérios mais objetivos de verificação. Evitando-se assim, que os profissionais que utilizam seus anexos atribuam notas diferentes para a mesma obra de arte.

Orienta-se também, que seja feita a retirada, correção ou reforço dos elementos estruturais de acordo com a legislação e normas vigentes, com atenção à característica individual de cada elemento estrutural, patologia observada e sua causa, a fim de que a origem do problema seja eliminada e as patologias não ocorram novamente.

REFERÊNCIAS

AECWEB. O portal da Arquitetura, engenharia e construção. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/revista/materias/patologias-do-concreto/6160>. Acesso em: 20 agosto 2021

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle e recebimento - Procedimento. Rio de Janeiro, 2006. 18 p.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16697**: Cimento Portland - Requisitos. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9575**: Impermeabilização - Seleção e projeto. Rio de Janeiro, 2010. 14 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, p. 238. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, p. 238. 2014.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Estruturas de Concreto Armado**: notas de aula. Bauru: Unesp, 2014.

BOLINA, Fabricio Longhi; TUTIKIAN, Bernardo Fonseca; HELENE, Paulo. Patologia de estruturas. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2019.

CATARINA, Governo do Estado de Santa. **Florianópolis**. 2021. Disponível em: <https://www.sc.gov.br/conhecasc/municipios-de-sc/florianopolis>. Acesso em: 29 ago. 2021.

CATARINA, Governo do Estado de Santa. **SC é o menor Estado em território do Sul do país**. 2021. Disponível em: <https://www.sc.gov.br/conhecasc/geografia>. Acesso em: 30 ago. 2021.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **NORMA DNIT 010/2004**: Inspeções em pontes e viadutos de concreto armado e protendido - Procedimento. Rio de Janeiro, 2004. 18 p.

EL DEBS, M. K.; TAKEYA, T. **Introdução às Pontes de Concreto**. USP. São Carlos. 2009.

EMMONS, Peter H.. **Concrete Repair and Maintenance Illustrated**: problem analysis, repair strategy and techniques. Kingston: R.S Means Company Inc, 1994.

FLORIANÓPOLIS. PREFEITURA DE FLORIANÓPOLIS. . **Geoprocessamento Corporativo**. 2022. Disponível em: <http://geo.pmf.sc.gov.br/>. Acesso em: 14 fev. 2022.

GUIA FLORIPA (Santa Catarina - Florianópolis). Bairros da Região Sul de Florianópolis: bairros de Florianópolis. Bairros de Florianópolis. 2021. Disponível em: <https://guiafloripa.com.br/cidade/regiao-sul>. Acesso em: 29 ago. 2021.

HELENE, Paulo. **Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto**. 2. ed. São Paulo: Editora Pini Ltda, 1992

HOLANDA, Aurélio Buarque de. **Dicionário Aurélio de Língua Portuguesa**. 5. ed. São Paulo: Editora Positivo, 2020.

HOSPEDAGEM, Viva Floripa - Guia de. Centro - Florianópolis SC. Disponível em: <https://www.vivafloripa.com.br/centro/>. Acesso em: 29 ago. 2021.

MAPS, Google. Costeira, Carianos, Tapera e Ribeirão da Ilha Florianópolis. 2021. Disponível em: <https://www.google.com/maps/place/Florian%C3%B3polis,+SC/@-27.6747358,48.5328625,7438m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x9527394eb2c632d7:0x81bc550b6a04c746!8m2!3d-27.5948036!4d-48.5569286?hl=pt-BR>. Acesso em: 29 ago. 2021.

MAPS, Google. Ilha de Florianópolis - SC. 2021. Disponível em: <https://www.google.com/maps/place/Florian%C3%B3polis,+SC/@27.5936729,48.7084242,68195m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x9527394eb2c632d7:0x81bc550b6a04c746!8m2!3d-27.5948036!4d-48.5569286?hl=pt-BR>. Acesso em: 30 ago. 2021.

MAPS, Google. Ponte de Carianos - Florianópolis SC. 2021. Disponível em: <https://www.google.com/maps/place/Ponte+Carianos/@-27.6515492,48.5229453,116m/data=!3m1!1e3!4m13!1m7!3m6!1s0x9527394eb2c632d7:0x81bc550b6a04c746!2sFlorian%C3%B3polis,+SC!3b1!8m2!3d-27.5948036!4d-48.5569286!3m4!1s0x95273bccfd93954b:0x6244beaae4ecc2c!8m2!3d-27.651346!4d-48.522982?hl=pt-BR>. Acesso em: 29 ago. 2021.

MAPS, Google. Ponte do Ribeirão da Ilha - Florianópolis - SC. 2021. Disponível em: <https://www.google.com/maps/place/Florian%C3%B3polis,+SC/@-27.6981643,-48.5509992,116m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x9527394eb2c632d7:0x81bc550b6a04c746!8m2!3d-27.5948036!4d-48.5569286?hl=pt-BR>. Acesso em: 29 ago. 2021.

MAPS, Google. Viaduto do Carianos - Florianópolis - SC. 2021. Disponível em: <https://www.google.com/maps/place/Florian%C3%B3polis,+SC/@-27.6627709,->

48.5284861,232m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x9527394eb2c632d7:0x81bc550b6a04c746!8m2!3d-27.5948036!4d-48.5569286?hl=pt-BR. Acesso em: 29 ago. 2021.

MARCHETTI, Osvaldemar. **Pontes de concreto armado**. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda, 2008. 237 p.

NEVILLE, A.M. **Propriedades do concreto**. 5. ed. São Paulo: Bookman Editora Ltda, 2016.

OLIVEIRA, Alexandre Magno. Fissuras e rachaduras causadas por recalque diferencial de fundações. 2012. 96f. Monografia (Especialização em Gestão em Avaliações e Perícias) – Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2012

PFEIL, Walter. **Pontes em concreto armado**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1979. 431 p.

PORTO, Thiago Bomjardim; FERNANDES, Danielle Stefane Gualberto. **Curso básico de concreto armado**: conforme nbr 6118/2014. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2015.

ROCHA, Bruno dos Santos. **Manifestações patológicas e avaliação de estruturas de concreto armado**. 2015. 63 v. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

SC, Coren. **Mapa de Santa Catarina**. 2021. Disponível em: <http://www.corensc.gov.br/2019/03/15/coren-sc-sugere-diretrizes-para-discussoes-nas-conferencias-municipais-de-saude/mapa-sub/>. Acesso em: 29 ago. 2021.

SOUZA, Vicente Custódio Moreira de; RIPPER, Thomaz. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: Editora Pini Ltda, 2009.

THOMAZ, Ercio. **Trincas em Edifícios**. São Paulo: Editora Pini Ltda, 1989.

VITÓRIO, Afonso. **Pontes rodoviárias**: fundamentos, conservação e gestão. Recife: Conselho Regional de Engenharia Arquitetura e Agronomia de Pernambuco, 2002.

YOUTUBE. O canal: **Mais Q Momento**, “Todo o engenheiro deveria conhecer esse ensaio”. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=eipGnLUP9sY>. Acesso em: 28 fevereiro 2022

THOMAZ, E.C.S. **Esclerômetro**. Notas de Aula, 2012.