

Metodologia de Inspeção e Ensaios para Avaliar as Manifestações Patológicas em Estruturas de Pontes

Daniele Dias Ferreira; Luis Henrique de Moraes Gomes; Marcela Stéfani Alves Rosa; Matheus Souza Martins e Yasmin Lorrainy Silveria dos Santos.

Universidade UNA de Catalão – Campus Santa Cruz

Professor Orientador Davidson de Oliveira França Junior, Curso de Engenharia Civil

diasdani03@gmail.com; luismorais754@gmail.com; marcelastefaniaalves@hotmail.com; kamattz.br@gmail.com; yasmin_lorrainy@hotmail.com

Resumo

As pontes são obras de arte especiais em que é imprescindível garantir condições minuciosas de segurança, pois um colapso pode gerar enormes prejuízos econômicos, sociais e ambientais. O concreto armado trata-se do principal material construtivo brasileiro, sendo aplicado em obras de pontes e viadutos, caracterizadas pela ligação entre locais antes inacessíveis. Tal material construtivo sofre processos de deterioração ao longo de sua vida útil, que podem advir de falhas nas etapas da concepção no projeto, durante a execução e na fase de utilização. Nesse sentido, essa deterioração representa um elevado risco a sua funcionalidade, favorecem transtornos a seus usuários e podem até levar a ruína da estrutura. Inspeções técnicas são fundamentais para garantir a integridade e a durabilidade da estrutural através de planos de manutenção e recuperação. Portanto, nota-se a importância de que sejam realizados estudos referentes as suas causas e seus possíveis tratamentos. Diante do exposto, este trabalho aborda uma metodologia de inspeção em uma ponte de concreto armado situada na cidade de Cumari, estado de Goiás. Através dos critérios normativos de inspeção em pontes do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), foi aplicado a metodologia grau de deterioração de estruturas (GDE) e adaptada neste trabalho para o cálculo de deterioração da estrutura da ponte, avaliada com valor de 1 e considerada como “obra de estado precário”. Além disso, foram realizados “in situ” ensaios destrutivos e não-destrutivos na estrutura, avaliando parâmetros que complementam a identificação das causas e o diagnóstico. Com os resultados obtidos foi recomendado a intervenção imediata para recuperação estrutural.

Palavras-chave: Manifestações Patológicas, Pontes, Metodologia de Inspeção, Ensaios Destrutivos e Não-Destrutivos.

Abstract

Bridges are special works of art in which it is essential to guarantee meticulous safety conditions, as a collapse can generate enormous economic, social and environmental damage. Reinforced concrete is the main Brazilian construction material, being applied in bridge and viaduct works, characterized by the connection between previously inaccessible sites. Such constructive material undergoes deterioration processes throughout its useful life, which can result from flaws in the design stages of the project, during execution and in the use phase. In this sense, this deterioration represents a high risk to its functionality, promotes inconvenience to its users and can even lead to the ruin of the structure. Technical inspections are essential to ensure the integrity and durability of the structure through maintenance and recovery plans. Therefore, the importance of carrying out studies regarding its causes and possible treatments is noted. Given the above, this work addresses an inspection methodology in a reinforced concrete bridge located in the city of Cumari, state of Goiás, Brazil. Through the normative criteria for inspection on bridges of the National Department of Transport Infrastructure (DNIT), the methodology degree of deterioration of structures (GDE) was applied and adapted in this work to calculate the deterioration of the bridge structure, evaluated with a value of 1 and considered as “work in a precarious state”. In addition, “in situ” destructive and non-destructive tests were performed in the structure, evaluating parameters that complement the identification of causes and diagnosis. With the results obtained, immediate intervention for structural recovery was recommended.

Keywords: Pathological Manifestations, Bridges, Inspection Methodology, Destructive and Non-Destructive Tests.

1. INTRODUÇÃO

1.1. BREVE HISTÓRICO

As pontes, também chamadas obras de artes especiais, tem um histórico milenar, onde os primeiros registros das mesmas vêm da Mesopotâmia, à aproximadamente 5000 a.C.. São estruturas feitas com o intuito de superar obstáculos, como rios, braços de mares e vales que impeçam o tráfego de veículo e pessoas (PEREIRA JÚNIOR E FRANÇA JÚNIOR, 2019).

Antigamente, por serem estruturas feitas em tempos remotos, foram construídas com materiais naturais como madeira e pedra. De acordo com Neme (2008), para aumentar a resistência foram adotadas técnicas como a dos arcos. Um exemplo disso, é a ponte mais antiga de Roma que ainda tem sua estrutura original completamente preservada, a Ponte Fabrício, feita em 62 a.C.

No início do século XX já começaram a ser descobertos novos métodos de resistência e adequação a formatos inusitados, surgindo assim o uso do concreto armado nos tabuleiros das mesmas, porém, somente a partir de 1912, quando as pontes foram adquirindo vãos maiores, foi onde se implementou o concreto armado na mesoestrutura (NEME, 2008).

1.2. GENERALIDADES

As pontes, classificadas como Obras de Arte Especiais (OAE), são estruturas geralmente de grande porte que assim são denominadas devido a sua complexidade projetual, envolvimento de diversas áreas do conhecimento na elaboração dos projetos até a construção. Esse tipo de estrutura pode ter diferentes classificações quanto em função do modelo de estrutura, finalidade dessa estrutura, material componente e do sistema construtivo (PFEIL, 1990).

Um número elevado de problemas patológicos, deficiências estruturais podem ser observadas nas Obras de Artes Especiais brasileiras. Essa problemática excessiva pode ser decorrente da pouca, ou praticamente nenhuma, adoção de medidas preventivas, como, a realização de inspeções periódicas, do planejamento de manutenções preventivas, ou até mesmo a falta de controle da gigantesca demanda do tráfego rodoviário, que está acrescentando a essas estruturas elevadas cargas não consideradas à época das suas concepções (GOMES, 2018).

Segundo Vitório (2002), a falta de estratégias públicas voltadas à manutenção de pontes e viadutos, possibilitou uma grande carência no que se refere à circulação de informações do real estado de calamidade dessas obras no Brasil. Assim, a realização de inspeções para a coleta de dados sobre as condições de segurança e funcionalidade dessas obras, se tornou essencial.

Segundo o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) em 2020 foram realizadas obras de manutenção rodoviária em 50 obras de artes no estado de Goiás, sendo 35 pontes e 15 viadutos. Reparos nas juntas, limpeza dos sistemas de drenagem e pintura foram necessárias. As obras estão previstas para serem concluídas em 2022 beneficiando várias cidades ao longo destas rodovias. Estas manutenções são essenciais para a conservação e aumento da vida útil, evitando que patologias se agravem ou outras se manifestem.

Nas estruturas de pontes em concreto armado, a evidência de suas patologias é manifestada através de fissuras, corrosão das armaduras, nichos de concretagem,

manchas, deslocamento do concreto, problemas nas juntas de dilatação, erosão na base dos pilares, entre outros diversos problemas que podem surgir e estar relacionados a falhas nas etapas da concepção no projeto, durante a execução e na fase de utilização (CÂNOVAS, 1988).

Tendo em vista que a origem das manifestações patológicas nas estruturas de concreto indica em geral a existência de deterioração ao longo de sua vida útil, inspeções técnicas são fundamentais para garantir a integridade e a durabilidade da estrutura. Com isso, o estudo das manifestações patológicas em pontes de concreto armado tem sido uma área de interesse ativo por muitos pesquisadores no decorrer dos anos e ainda o faz atualmente, tais como podem ser mencionados os trabalhos de (MENDES, 2012; MATOS, 2015; SANTOS, 2017; CARVALHO, 2019; BERENQUER, 2016; PAIXÃO, 2020), que incorporam inspeções visuais, ensaios técnicos e análises “in loco” nessas estruturas.

1.3. OBJETIVO

Diante do exposto, este trabalho aborda uma metodologia de inspeção em uma ponte de concreto armado em vigas contínuas situada na cidade de Cumari, estado de Goiás. Através dos critérios normativos do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) para inspeção em pontes, foi aplicado a metodologia grau de deterioração de estruturas (GDE), sendo adaptada de forma detalhada para o cálculo de deterioração da estrutura. Além disso, foram realizados “in situ” ensaios destrutivos e não-destrutivos na estrutura, ambos com a finalidade de investigar a situação das armaduras expostas nos elementos estruturais da ponte em acordo com a metodologia proposta. Com os resultados obtidos foi possível avaliar as causas das manifestações patológicas e apontar o diagnóstico. Foi recomendado aos órgãos governamentais a intervenção imediata para recuperação estrutural.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. PONTES E VIADUTOS

É bem frequente o uso das pontes para transpor águas, como rios, mares, ou seja, quando transpõem obstáculos naturais. Por outro lado, quando estas estruturas são usadas para transpor um obstáculo artificial, como por exemplo, uma trincheira de rodovia no meio urbano permitindo interligar ao mesmo nível pontos não acessíveis separados por um meio seco, elas são chamadas de viadutos.

Do ponto de vista estrutural, as pontes e viadutos são divididas em infraestrutura, mesoestrutura e superestrutura. A infraestrutura é responsável pela transferência dos esforços recebidos da mesoestrutura para o terreno onde se está localizada a construção. São constituintes da mesma os blocos de coroamento, tubulões, estacas, entre outros elementos de fundação. Já a mesoestrutura é representada por pilares, que recebem os esforços oriundos da superestrutura, que é composta pelas lajes (tabuleiro) e vigas (longarinas e transversinas) (NEME, 2008).

Segundo Marchetti (2007) são consideradas pontes estruturas com uma extensão de vão total maiores que 10 metros, uma vez que estas estruturas podem ser classificadas de acordo com a finalidade do tráfego, tais como: ferroviárias; rodoviárias; rodoferroviárias; pontes para pedestres, canal ou aqueduto; mistas, ou ainda, aeroviárias.

Quanto ao tipo de material empregado para a construção, Vitorio (2002) afirma que as pontes podem ser classificadas em: madeira; pedra; metálicas; concreto armado; concreto protendido e pré-moldadas. Além disso, o autor afirma que é bem comum a existência de pontes mistas, as quais são constituídas por mais de um material.

Por fim, além das classificações citadas, os viadutos e pontes podem ser classificadas quanto ao seu sistema estrutural, podendo ser: pontes em laje; vigas; estrado celular; grelha; pórticos; arco; pênses e, por fim, estaiadas (VITÓRIO, 2002).

Assim sendo, pontes rodoviárias em concreto armado com sistema estrutural em vigas, estrutura de estudo neste trabalho, estão sujeitas ao surgimento de diversas manifestações patológicas, discorridas no item 2.2 a seguir.

2.2. PATOLOGIA EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO APLICADA A PONTES

A patologia das construções é a área da engenharia que estuda toda e qualquer tipo de manifestação patológica, isso é, o problema e a expressão resultante do mecanismo de degradação do elemento. Tem como objetivo descobrir as causas e origens dos defeitos das edificações/obras de arte e, por consequência, diagnosticar e solucionar tal problemática. Esse estudo tem como base nunca ignorar ou esconder o problema, mas sim investigar a fundo a ponto de sanar todos os tipos de sintomas, os quais variam muito de estrutura para estrutura (FRANÇA JÚNIOR, 2019).

No caso específico das pontes, a falta de manutenção no decorrer da vida útil pode desencadear em diversas manifestações patológicas, sendo as mais encontradas: corrosão e carbonatação ocorridas no conjunto aço e concreto, nichos de concretagem, manchas, deslocamento do concreto, problemas nas juntas de dilatação, erosão na base dos pilares, fissuras e flechas excessivas.

De acordo com Souza et al. (1998) as patologias apresentadas em pontes podem reduzir sua vida útil, pois elas podem comprometer a estética e reduzir a capacidade de resistência da estrutura, causando até o colapso parcial ou total da mesma. Quando um material atinge o fim da sua vida útil, entende-se que as condições de uso se degradaram a um certo ponto que não se deve mais utilizá-la, pois pode trazer riscos à segurança das pessoas.

Os aspectos anteriormente mencionados e as manifestações patológicas citadas podem comprometer tanto a funcionalidade, quanto o atingimento do Estado Limite Útil (ELU) das obras de arte especiais. Assim, são apresentados aspectos teóricos sobre as principais manifestações encontradas nestas estruturas.

2.2.1. Corrosão das armaduras

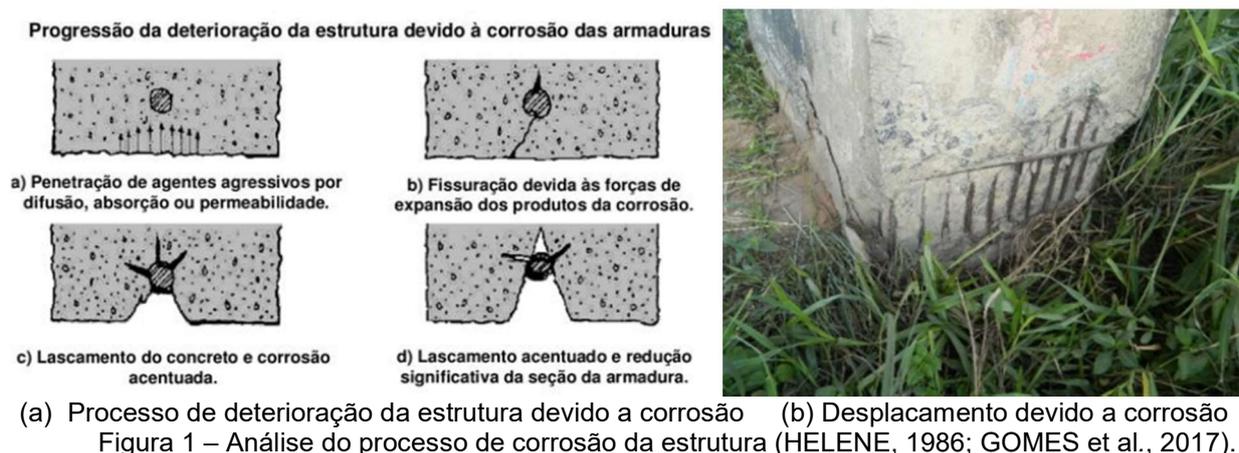
A oxirredução é a reação química responsável pela oxidação e redução, onde há troca de elétrons, provocando a corrosão que consiste no resultado do contato de um determinado material com o meio externo, ocasionando sua deterioração (SOARES et al., 2015).

Soares et al. (2015) explica que, ao se encontrar suficientemente permeável para possibilitar a entrada de íons em sua armadura, o concreto propicia que esses, juntamente com a água e o oxigênio, iniciem o processo de corrosão nas armaduras. Ao relacionar esta reação química a peças em concreto armado, manifestações patológicas são retratadas através de machas superficiais, fissuras, deslocamento do revestimento de concreto e perda

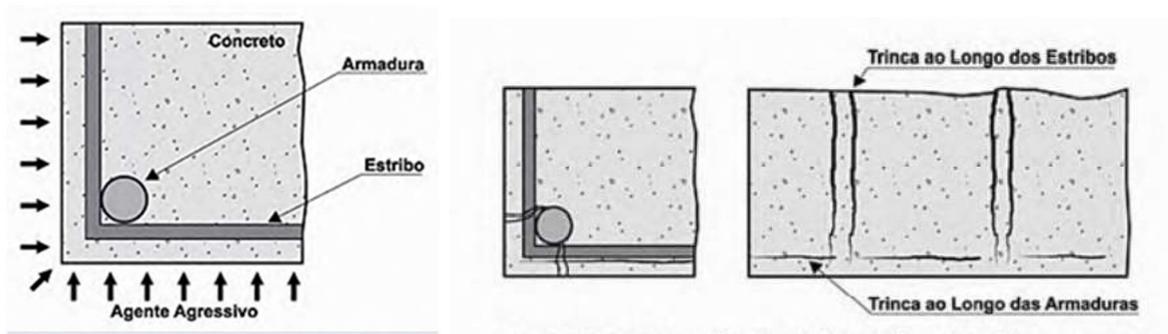
de massa das armaduras, provocando inicialmente um aumento de volume na fase inicial de corrosão com a conseqüente redução na seção do aço com avançar da corrosão.

A curva de evolução da corrosão no concreto armado proposta por Tuutti (1982) divide o processo de corrosão em duas fases, a iniciação e a propagação. Compreende-se como iniciação as etapas que vão desde a formação na obra até a destruição da camada passivadora que protege a armadura. Já a propagação dos efeitos provenientes da corrosão na estrutura de concreto armado se inicia logo após a desp passivação da armadura, sendo nesta fase que se verifica a diminuição do desempenho da estrutura, prejudicando sua vida útil e podendo chegar a ocasionar a ruína da peça (GRAEFF, 2007).

Para que exista a corrosão é necessário a presença de água, oxigênio e a diferença de potencial. A corrosão pode ser acelerada e agravada por meio da presença de diferentes agentes quando está relacionada as estruturas em concreto armado. São alguns exemplos, os cloretos, dióxido de carbono, íons sulfeto e sulfeto de hidrogênio. Gomes et al. (2017), afirma que a corrosão em estruturas de concreto armado pode ser fragmentada em corrosão por carbonatação, íons cloreto e sulfatos. A figura 1 apresenta o processo de corrosão das armaduras.



Através da Figura 1 acima pode-se observar que a penetração de agentes agressivos no concreto pode se dar por difusão (processo físico em que substâncias são transportadas de uma região mais concentrada para outra menos concentrada), absorção (quando o próprio material absorve) ou permeabilidade (porosidade do material). Ao atingir as armaduras e iniciado o processo de corrosão, a armadura expande e surgem fissuras típicas de corrosão, que são fissuras que acompanham as armaduras corroídas (Figura 2). Quanto mais a armadura expande, fissuras são agravadas e mais agente agressivo penetra, levando a evolução do processo de corrosão e, conseqüentemente, ao deslocamento/lascamento do revestimento (camada protetora). A partir de um nível acentuado de corrosão as armaduras que antes expandiram tem redução significativa da seção.



(a) Entrada do agente agressivo

(b) Fissuração por corrosão

Figura 2 - Fissura devido a corrosão das armaduras (MARCELLI, 2007).

Tendo em vista o processo de corrosão das armaduras, as diferentes causas desta manifestação patológica nas estruturas de concreto armado são discorridas em seguida.

2.2.2. Carbonatação

Através da reação físico-química entre o dióxido de carbono presente na atmosfera e os compostos hidratados do cimento origina-se a carbonatação, responsável pela diminuição do pH existente nos materiais cimentícios (PAULETTI et al., 2007). Reduzindo o pH da ordem de 12,5 para aproximadamente 9,0 e podendo chegar a valores de pH 8,0 quando todo hidróxido de cálcio presente no material carbonata (NARDINO et al., 2019). A figura 3 apresenta o processo químico de carbonatação.

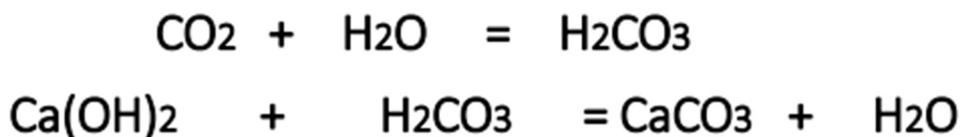


Figura 3 – Reação química no processo de carbonatação (Autoria Própria, 2021).

Conforme pode ser observado na figura 3, o CO_2 presente na atmosfera entra no concreto por meio da difusão ou permeabilidade juntamente com água H_2O . Ao se juntar formam o ácido carbônico (H_2CO_3), que é um composto químico considerado como um ácido fraco, que não gera danos na estrutura, pois é encontrado no meio ambiente, na chuva, em refrigerantes, bebidas e até mesmo no sangue. Entretanto, quando o ácido carbônico (H_2CO_3) no interior da estrutura reage com o Hidróxido de Cálcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$ que é presente em compostos cimentícios (devido ao próprio processo de hidratação do cimento), então é formado o Carbonato de Cálcio (CaCO_3) e água (H_2O). O carbonato de cálcio e a reação citada não deteriora o concreto, porém durante a sua formação é consumido os álcalis da pasta do concreto, ou seja, o próprio Hidróxido de Cálcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ou até mesmo o silicato de cálcio hidratado (C-S-H), reduzindo o pH do concreto e favorecendo a corrosão (FRANÇA JR, 2019; PAULETTI et al., 2007).

A grande diminuição do pH contribui para eliminar a camada passivante do aço tornando a armadura vulnerável a corrosão podendo chegar a colapsar a estrutura segundo Werle et al. (2011).

A carbonatação é diretamente influenciada por alguns fatores, como a quantidade de dióxido de carbono presente no ambiente, a temperatura e umidade do ar, além de fatores que são determinados pelo tipo de material utilizado na estrutura e a execução da mesma, sendo eles, o tipo de cimento, relação água/cimento, os agregados e teor de

argamassa, o correto adensamento e vibração no estado fresco e a adequada cura do concreto. Todos são aspectos fundamentais que determinará a estrutura dos poros presentes na peça de concreto (WERLE et al., 2011).

Araújo (2017) afirma que esses poros e a ocorrência de patologias como fissuras e ninhos de concretagem possibilitam a penetração do gás carbônico no interior do concreto por meio de difusão, o que dá origem a uma camada carbonatada que expande sua espessura ao passar do tempo, tal camada é denominada frente de carbonatação. A frente de carbonatação, como demonstra Nardino et al. (2019), leva um tempo para que se possa chegar ao aço e este período é conhecido como iniciação, em acordo com a curva de evolução da corrosão desenvolvida por Tuutti (1982).

2.2.3. Cloretos

Os cloretos são elementos em abundância na natureza. São classificados como sais inorgânicos, derivados da reação de uma base com o ácido clorídrico. O Cátion é fornecido pela base e o íon cloreto é fornecido pelo ácido clorídrico. Eles são encontrados junto a agregados extraídos de lugares que no passado eram regiões marinhas, em águas minerais, potáveis, de torneira, de rios, de mares, em aditivos, alguns acelerados de pega, atmosferas marinhas, entre outros (SILVA, 2006).

A presença de íons cloretos em estruturas de concreto armado faz com que o aço retorne a forma de óxido de ferro, produzindo uma redução do seu pH, que pode chegar a valores de até 5, sendo seu valor normal de 12,5 a 13,5; causando conseqüentemente corrosões nas armaduras. Quando a corrosão ocorre, há uma perda de sua seção transversal e conseqüentemente sua resistência mecânica também diminui. Outra conseqüência é a expansão do material quando ocorre a formação de óxidos e hidróxidos que incorporam muitas moléculas de água, ocasionando fissuras e até mesmo deslocamento da camada de revestimento devido ao ataque de cloretos. A interface aço/concreto também é prejudicada em relação a tensão entre eles, pois ocorrem perturbações devido ao acúmulo de óxidos e a degradação das camadas externas do aço (TORRES, 2011).

Quando o concreto não é executado de forma correta, ele perde a sua funcionalidade de proteção e a armadura pode sofrer ataques de íons de cloreto ou de outra substância ácida existente na natureza, que podem estar dissolvidos em água, em dissolução aquosa por meio das chuvas ou da umidade. O cloreto também pode estar incorporado as misturas dos componentes do concreto durante a sua produção ou quando o mesmo já está endurecido por meio de mecanismos de absorção capilar, difusão, migração ou permeabilidade (VIEIRA, 2003).

2.2.4. Sulfatos

Os sulfatos estão presentes nas águas de mares, rios, lençóis freáticos, águas de pântanos, locais poluídos com esgoto, na decomposição da matéria orgânica, em ambientes industriais e nos agregados presentes no concreto (SILVA, 2006).

De acordo com Silva (2017), é utilizado o termo ataque por sulfatos para descrever as reações químicas que ocorrem entre os íons de sulfato e os componentes do concreto endurecido, a origem desses íons pode ser tanto externa como interna. A melhor forma de evitar esses ataques é reduzindo a permeabilidade do concreto.

Segundo Silva (2006), a ação dos sulfatos encontrado em águas de mares, dentre os agentes agressivos é uma das mais severas. A deterioração do concreto por sulfatos,

envolvem três etapas: a primeira corresponde a porosidade e permeabilidade, onde ocasiona a difusão dos íons agressivos para o interior da matriz cimentícia. A segunda se trata da expansão de espécies químicas criadas por reações, entre os íons de sulfatos e certos componentes hidratados do cimento. E, por fim, a terceira se refere a perda de resistência e fragmentação, onde ocorre a fissuração da matriz que pode ser associada a descalcificação do C-S-H (Silicato de cálcio hidratado).

O ataque por sulfatos pode ser descrito basicamente por três reações que dão origem a: gipsita também chamada de pedra de gesso, etringita e taumasita. A gipsita causa perda de resistência mecânica e adesão, assim como lascamentos e expansão do concreto. A etringita está relacionada com a expansão e o surgimento de fissuras e a taumasita é capaz de transformar o concreto endurecido em uma massa não coesa, considerando-a assim a mais severa (COLLEPARDI, 1996).

Quando o concreto sofre com a ação dos sulfatos, uma característica que ele apresenta é a mudança em sua coloração, apresentando uma aparência característica esbranquiçada. Em geral, nas estruturas de pontes com elementos estruturais contidos diretamente em contato com solo (vigas de fechamento, alas de contenções, pilares, lajes de aproximação etc), há alguns fatores que influenciam o ataque por sulfatos como: a concentração de sulfatos presentes no solo ou nas águas, pois dependendo da região quanto maior for essa quantidade mais severo é o ataque. Além disso, o nível e o fluxo da água, a porosidade do solo, a forma da construção e a qualidade do concreto são variáveis primordiais nesse sistema. Contudo, entende-se que para que o concreto seja prejudicado pelos sulfatos no solo, é necessário que haja umidade. Esta umidade precisa ser entre 12% e 14%, pois se permanecerem secos, eles não realizam a difusão e não prejudicam o concreto (FUAD E OLIVEIRA, 2016).

2.2.5. Patologias nas Juntas de Dilatação

Segundo Campos (2016), juntas de dilatação é um dos elementos que compõem a superestrutura das pontes e é caracterizada pelo espaço a ser ou não preenchido por material elástico para permitir, dentro de uma faixa aceitável, a movimentação da estrutura. Tais juntas possuem função de absorver movimentos seja por compressão, tração, cisalhamento, rotação ou pequenos recalques diferenciais, como também é uma forma de prevenir o aparecimento de fissuras, principalmente devido às movimentações térmicas e retração hidráulica no concreto. As principais falhas nesse processo estão relacionadas a aberturas insuficientes, o que causa elevação da junta devido à dilatação e infiltração de água, gerando problemas patológicos devido à umidade, como eflorescências, bolores e mofos.

As pontes já são projetadas para que haja essa movimentação, sendo colocado ali um material geralmente do tipo Neoprene, que é uma borracha parcialmente flexível de alta resistência por ser enrijecida internamente com chapas de aço, com função de um selante para as juntas de dilatação, permitindo assim o maior movimento ao passar veículos com cargas maiores sem que tenha o desgaste da estrutura (FRANÇA JÚNIOR, 2019).

Campos (2016) ainda afirma que as juntas são componentes essenciais para a superestrutura que podem ser, ou não, cobertos por algum material, seja ele elástico, asfáltico ou metálico. Sua principal função é controlar a dilatação e movimento da estrutura devido a agente externos.

De acordo com Marques e Brito (2009) temos 12 tipologias de juntas de dilatação ordenadas segundo amplitudes de movimentos tendencialmente crescentes. Sendo essas: juntas abertas, juntas ocultas sob pavimento contínuo, juntas de betume modificado, juntas

seladas com material elástico, juntas em perfil de elastômero comprimido, bandas flexíveis de elastômero, placas metálicas deslizantes, juntas de elastômero armado, pentes metálicos em consola, juntas de elastômero armado composta, placas metálicas com roletes, juntas de perfis de elastômero múltiplos.

Nesse sentido, as juntas são partes únicas e que necessitam de manutenções devido a sua grande importância. Já se percebe que a manutenção das pontes deve ser uma atividade rotineira, de forma preventiva e/ou corretiva. Deve-se considerar inúmeros motivos aos quais podem interferir na funcionalidade da mesma, que podem ser a contração devido a cura, a umidade do ambiente, variação de temperatura, carga em movimento, chuva, sol, emissão de gás carbônico e tempo de vida da estrutura para avaliar a necessidade de manutenção e sua maior eficácia. A falta de monitoramento para a conservação das juntas pode gerar esmagamento ou rachaduras na estrutura devido a diferença de nível entre as partes da junta e desgastar o concreto, ocasionando o agravante de outras patologias, como por exemplo, a carbonatação e a corrosão (CAMPOS, 2016).

2.2.6. Fissuras em Estruturas de Concreto Armado

As fissuras podem ser divididas em dois grupos: ativas, quando a sua abertura varia ao longo do tempo, e as passivas, quando não ocorre mais essa variação de tamanho na mesma. São consideradas mecanismo de aviso de que há algo errado com a estrutura, levando em consideração que uma peça nunca entra em colapso de uma forma inesperada, sempre haverá indícios de que isso possa vir ocorrer posteriormente. Também podem causar um grande desconforto psicológico para os usuários. As fissuras têm sua nomenclatura alterada de acordo com o tamanho da sua abertura, conforme tabela 1.

Tabela 1 – Classificação das Fissuras em Estruturas de Concreto (FRANÇA JÚNIOR, 2019)

Nomenclatura	Tamanho da Abertura (mm)
Fissura	≤ 0,5
Trinca	0,5 – 1,5
Rachadura	1,5 – 5,0
Fenda	5,0 – 10,0
Brecha	≥10,0

Assim como argumenta Valença et al. (2015), a fissuração no concreto apenas em algumas situações apresenta uma irregularidade em alta escala, sendo importante avaliar seus possíveis efeitos, levando em consideração sua localização, causas e uso da estrutura. Logo, é extremamente importante acompanhar a evolução das fissuras ao longo do tempo.

Nas Obras de Arte Especiais as aberturas em termos de manifestações patológicas podem estar diretamente ligadas as flechas excessivas devido aos maiores tamanhos dos vãos, a possibilidade de carga não planejada de veículos ou suas vibrações, aos tipos de apoios e a problemas patológicos no concreto.

Segundo Marcelli (2007), durante o processo de cura do concreto, pode ocorrer a perda de água de amassamento, isso desencadeia tensões internas na peça, gerando retração, causando esforços de tração no mesmo. Essas tensões de tração são provocadas pelo resfriamento acelerado do concreto após a perda de calor, uma vez que o concreto

está em temperatura maior que o meio externo devido a sua reação exotérmica por conta da hidratação do cimento posteriormente a concretagem (THOMAZ, 2003).

Tal fenômeno faz com que surge fissuras com direções diversas e em formato de mapeamento geográfico, sendo assim, características das fissuras por retração hidráulica. Outra causa de fissuração relacionado a água é a variação do teor de umidade, onde ocorre uma variação dimensional pela perda higroscópica ou por absorção na peça de concreto. Pode acarretar fissuras ao longo do elemento ou junto as conexões, quando há existência de vínculos que impedem a movimentação do mesmo (MARCELLI, 2007).

Por outro lado, das fissuras de retração, Marcelli (2007) traz que quando o concreto já no estado endurecido é submetido a variação de temperatura do ambiente, seja ela natural, ou oriundas de acidentes como incêndios, é provocado a dilatação nos elementos estruturais de concreto. Essa dilatação traciona elementos da estrutura, porém quando a peça se dilata e é impedida de se movimentar, são geradas tensões elevadas de compressão e, conseqüentemente, fissuras por compressão. A Figura 4 apresenta fissuras características de retração hidráulica e fissuras pela variação de temperatura em estruturas de concreto.

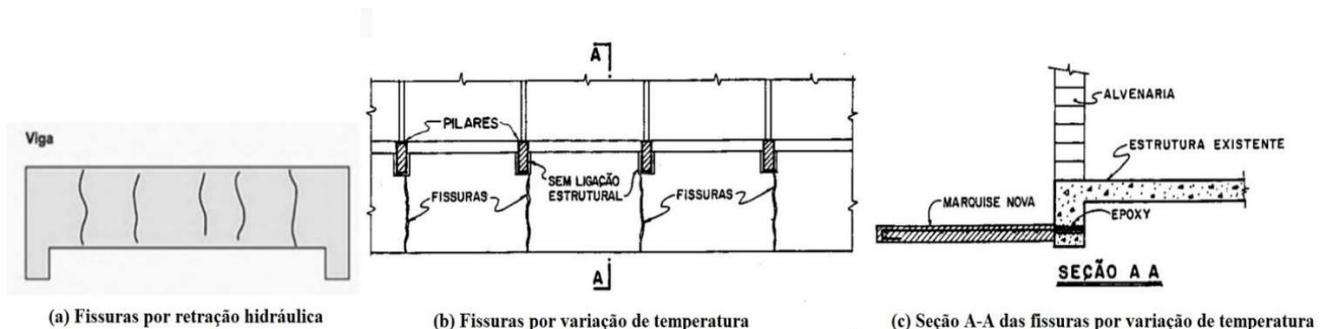


Figura 4 – Fissuras em Estruturas de Concreto Armado por Retração e Efeito da Temperatura (Adaptada de HELENE, 1992; THOMAZ, 2003; MARCELLI, 2007).

Através da figura 4 (a) é possível notar que as fissuras por retração são fissuras superficiais. Por outro lado, as fissuras por movimentação térmica, vista na figura 4 (b) e (c), é apresentado neste exemplo que, por não ter ligação a estrutura da marquise nova com a antiga, o efeito da temperatura provoca fissuras nas regiões de encontro entre elementos, entrando em acordo com o que diz Thomaz (2003), que quando o alongamento ou encurtamento (provocado pela dilatação ou contração) é superior a resistência de ruptura do concreto à tração, a peça sofre fissuração.

Ainda no contexto sobre fissuras em estrutura de concreto armado, pode-se afirmar que do ponto de vista de fissuras relacionadas ao comportamento estrutural, quando existe irregularidade no material empregado na execução, aplicação de sobrecargas não previstas, uma deformação precoce (retirada do escoramento antes do momento adequado, por exemplo), um comprimento de ancoragem insuficiente ou, uma armadura mal posicionada ou até mesmo mal dimensionada, têm-se a ocorrência de fissuramento por flexão (HELENE, 1992).

Por outro lado, podem ocorrer as fissuras de cisalhamento, em que ocorrem, mais comumente onde os esforços cortantes são máximos. As fissuras de cisalhamento podem ocorrer devido a estribos mal posicionados, tanto no projeto como na execução, ou insuficientes. Sobrecargas não previstas na peça e o concreto com uma resistência inadequada também são fatores preponderantes para o aparecimento das mesmas (HELENE, 1992).

Além disso, Marcelli (2007) afirma que, quando se tem a presença de rotação no plano da seção transversal do elemento, há uma geração de deformações acima da capacidade de suporte da peça, surgindo assim as fissuras características de torção. Elas aparecem, por exemplo, nas duas faces laterais de uma viga no formato de retas contrárias a direção da mesma e são inclinadas aproximadamente a 45°. Assim, ao se projetar uma determinada estrutura e não considerar a torção, é bem provável que surgirá fissuras de torção (HELENE, 1992).

As trincas resultantes de compressão são umas das mais significativas e preocupantes, pois o concreto possui alta resistência a compressão, logo, quando essa carga começa a provocar fissuras no elemento, tem-se indícios de ruptura próxima. Nesse sentido, sabendo que o concreto é um material frágil (possui pouca deformação antes da ruptura), as fissuras de compressão indicam a possibilidade de um colapso repentino da estrutura. Algumas das principais causas do aparecimento de fissuras de compressão são, a má colocação dos estribos (permitindo assim que ocorra a flambagem na peça, como exemplo dos pilares com uma grande esbeltez), uma carga superior à prevista em projeto, mal adensamento do concreto e uma resistência inadequada do concreto (HELENE, 1992).

Dentre as fissuras estruturais citadas, quando se tem uma laje apoiada diretamente sobre um pilar ou o contrário (mesmo que pouco usual), há um excesso de força pontual sendo descarregada no elemento, isso pode acarretar um fissuramento devido a punção. Se existe uma falha na execução da armadura, sendo ela posicionada erroneamente, for insuficiente na região da carga concentrada e a estrutura for mais delgada, e ainda, juntamente a isso houver um excesso de carga, isso pode ser motivo para o aparecimento das trincas por punção nessas regiões (MARCELLI, 2007).

Uma vez que foram abordadas as fissuras relacionadas com aspectos estruturais, a figura 5 a seguir apresenta um resumo destas fissuras.

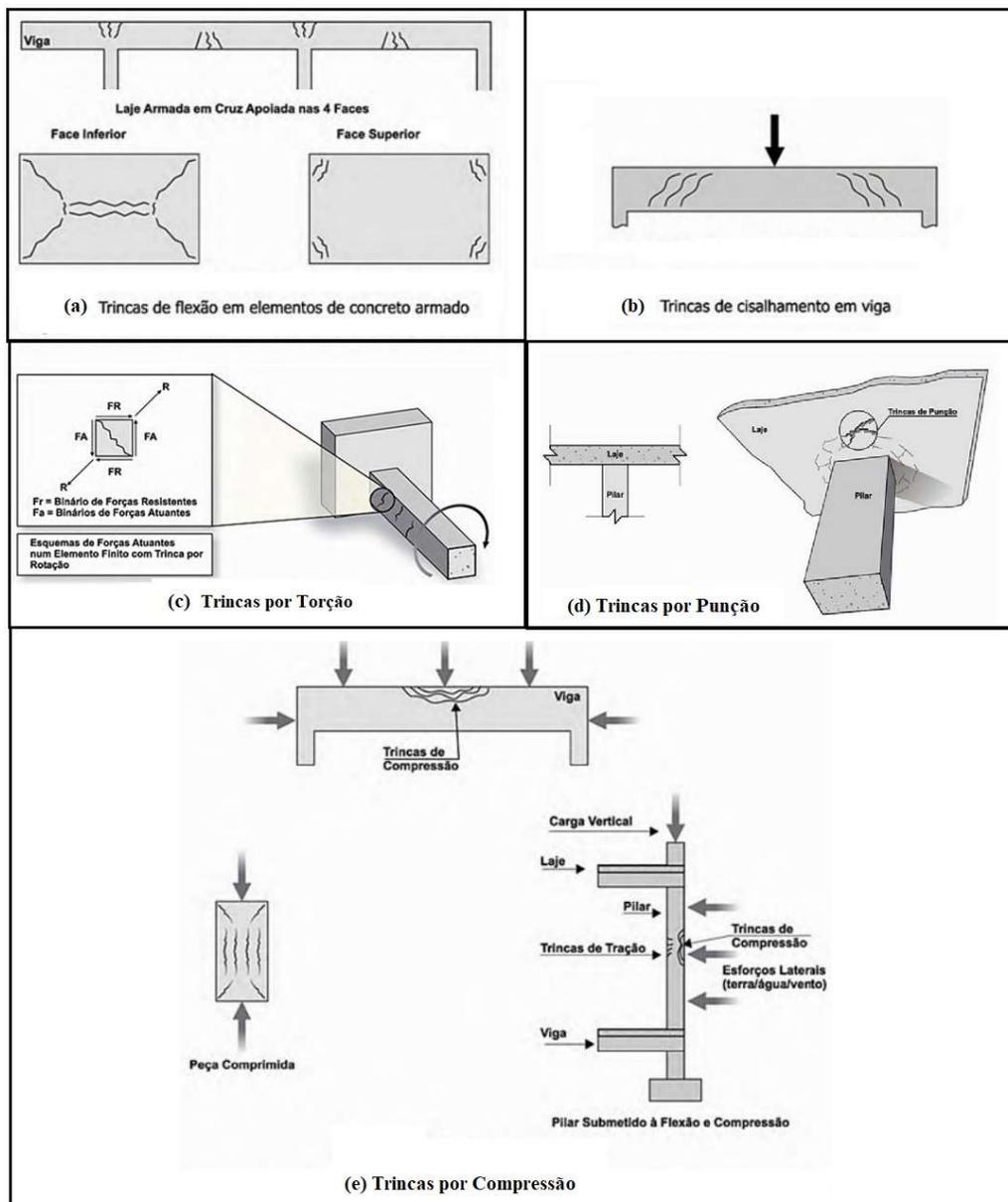


Figura 5 – Tipos de fissuras estruturais em elementos de concreto armado (Adaptada de MARCELLI, 2007).

2.2.7. Flechas Excessivas

Segundo Silva et al. (2020) as estruturas projetadas antigamente eram menos sofisticadas em relação às do tempo atual, assim elas eram compostas por elementos estruturais com menor esbelteza. Com o passar do tempo as estruturas passaram a ser mais altas e esbeltas, bem como com uma arquitetura mais arrojada, o que resultou na necessidade de maiores vãos. Todas essas alterações fizeram com que as estruturas se tornassem mais deformáveis, ampliando a importância da avaliação das condições de estados limites de serviço, que é a verificação de deslocamentos e flechas em estruturas, que afetam a durabilidade devido a relação direta com abertura de fissuras.

Um dos problemas que uma estrutura pode sofrer é chamado de flecha excessiva, a qual se resulta por deformações não previstas, aumentando as fissuras nos elementos estruturais e construtivos, bem como alterando sua estética e interferindo na durabilidade da estrutura. Em pontes, os aspectos que devem ser observados variam de acordo com o

tipo de obra e de quais carregamentos externos estão sendo aplicados na estrutura, rigidez a flexão dos elementos, elasticidade do material, modelo estrutural, entre outras variáveis.

Assim, as flechas poderão ter diferentes comportamentos de acordo com cada estrutura. Um exemplo disso são pontes construídas por balanços sucessivos, nas quais também é importante observar as flechas na fase de construção da própria estrutura, uma vez que estas são executadas por uma sequência de segmentos em balanço com a influência do peso próprio e, em alguns casos, o peso da carga de construção. Em seguida, após a finalização da execução, a estrutura, agora monolítica, tem comportamento estrutural de forma distinta da fase construtiva (SANTOS, 2014).

As flechas podem ser divididas em flechas imediatas e diferidas no tempo. As flechas imediatas ocorrem logo após a retirada do escoramento e ações das cargas permanentes e variáveis, ou seja, surge já nas primeiras idades da estrutura. As flechas diferidas no tempo são originadas pelo efeito da fluência do concreto, caracterizada pela deformação lenta do concreto. Para a resolução do problema de flechas imediatas excessivas pode-se calcular seus máximos valores e respectivos locais na estrutura, bem como aplicar o método da contra flecha (figura 6), que é o deslocamento vertical intencional aplicado à estrutura durante a montagem das formas no sentido contrário a flecha de projeto antes da concretagem, com intuito de anular o efeito da flecha imediata. Por outro lado, além das flechas imediatas, as flechas diferidas no tempo devem ser calculadas e verificadas, para que também fiquem dentro de limites normativos aceitáveis (SANTOS, 2014).

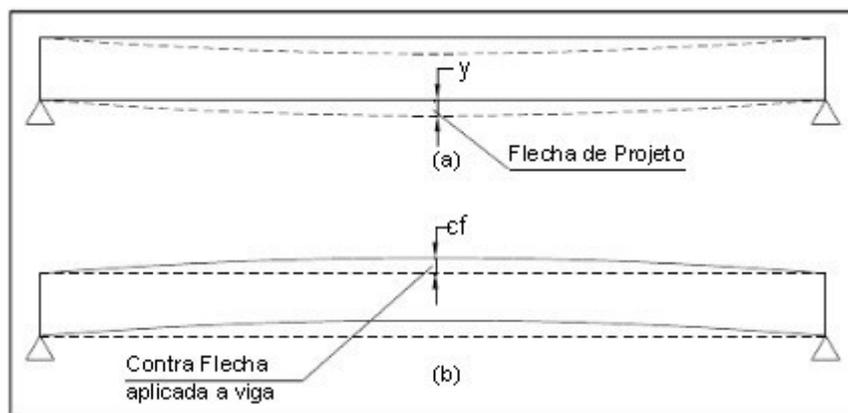


Figura 6 – Análise das flechas e contra flechas (SANTOS, 2014).

2.2.8. Nichos de Concretagem

Ninhos ou também chamados nichos de concretagem são espaços vazios dentro da massa de concreto que durante o seu adensamento nas formas irá comprometer a homogeneidade da massa como também a agregação dos agregados na pasta de cimento.

Segundo Freitas (2014), os nichos de concretagem podem ter várias origens, tais como a baixa trabalhabilidade do concreto devido ao baixo fator água/cimento, ou até mesmo o excesso de água provocando segregação da pasta e a separação entre agregados. O estudo até mesmo na dosagem deve ter adequado teor de argamassa em um concreto, pois tal variável é fundamental para que a pasta envolva o agregado e o nicho não ocorra. Além disso, estas falhas podem ocorrer durante o transporte, lançamento e na fase de adensamento do concreto, assim como em detalhamento de armadura inadequado, ou seja, quando se tem muitas barras de aço com espaçamento inadequado. Assim, é

impedido a passagem da brita, separando-a da pasta de cimento. Tais efeitos citados originam os nichos de concretagem (Figura 7).

De acordo com Freitas (2014), os vazios afetam a durabilidade e a resistência das estruturas de concreto, favorecendo principalmente a entrada de agentes nocivos que originam a corrosão das armaduras.



Figura 7 – Nichos de concretagem em estruturas de concreto (Votorantim Cimentos, 2016).

Tendo em vista as principais manifestações patológicas apresentadas, é possível discorrer no item 2.3 sobre alguns dos métodos de avaliação (ensaios) que são aplicados em inspeções de estruturas de concreto armado e, conseqüentemente, em obras de arte especiais.

2.3. ENSAIOS PARA AVALIAÇÃO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

2.3.1. Ensaio de Carbonatação

A carbonatação em estruturas de concreto pode ser verificada através da utilização da fenolftaleína, de acordo com instruções da norma CPC-18 (*Measurement of hardened concrete carbonation*, 1998), como indicado por Andrade (2018). O reagente utilizado em ensaios físicos e químicos é um indicador colorimétrico de potencial hidrogeniônico, de forma sólida.

Ao ser aplicado a solução de fenolftaleína na amostra analisada, a região carbonatada (frente de carbonatação) que possui seu pH reduzido não adquire qualquer coloração diferente, permanecendo o concreto com seu tom natural indicando que o meio está propício a corrosão das armaduras (NARDINO et al., 2019). Carmo (2020) aponta que para saber se um concreto está sofrendo carbonatação utiliza-se a fenolftaleína em forma líquida após ser diluída em solução alcoólica, contendo fenolftaleína 1% dissolvida em 70% de álcool etílico e 29% de água destilada. Caso a amostra seja um corpo de prova extraído, este deve ser fraturado ao longo do comprimento, logo após deve ser aplicada a solução sobre a superfície da amostra, que instantaneamente irá reagir atribuindo a cor rosa intensa ou mantendo-a incolor (ANDRADE, 2018).

Segundo Gindri et al. (2014) na presença de materiais que possuem níveis de pH inferior a 9, indicando pH ácido, permanece em tom incolor. Porém, ao entrar em contato com níveis superiores a 9, pH básico, ganha uma coloração rosa, intensificando-se conforme há aumento do mesmo, podendo chegar a tons de rosa bastante intensos em contato com níveis acima de 12. A coloração rosa indica que a peça não sofreu o processo de carbonatação, mas caso não demonstre nenhuma coloração mantendo o tom natural, o concreto analisado foi carbonatado.

O concreto é alcalino, seu pH encontra-se em torno de 12 e 13, porém ao ser acometido pela carbonatação seu nível de pH é reduzido para valores inferiores a 9, ou seja, regiões da peça analisada que apresentem áreas mais alcalinas a solução de fenolftaleína aplicada adquire tom rosado, já áreas que se tornam mais ácidas permanecem incolor (Amorim, 2010).

Com a utilização de um paquímetro é possível determinar o avanço da carbonatação e identificar também a profundidade de carbonatação sofrida pela amostra. Assim como descrito por Werle et al. (2011) uma mesma amostra pode gerar diversas medidas de profundidade de carbonatação diferentes.

2.3.2. Ensaio para Avaliação de Fissuras (Fissurômetro)

O fissurômetro é utilizado para o acompanhamento dos comportamentos de fissuras, trincas e rachaduras, ou seja, ele auxilia na medição de fissuras passivas e acompanha a evolução das ativas. A figura 8 apresenta um exemplo de ensaio.

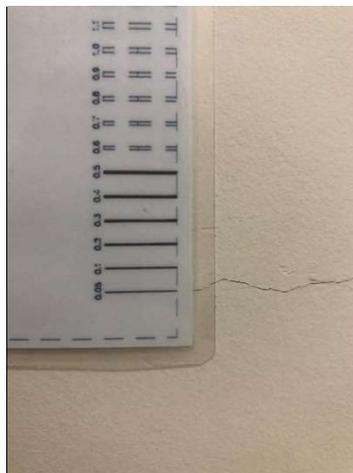


Figura 8 – Ensaio do fissurômetro (Autores, 2021).

Além do fissurômetro, para acompanhar a evolução das fissuras diversos profissionais colocam uma placa de gesso ou vidro colada com epóxi, em direção perpendicular a fissura, com o intuito de identificar se a fissura é ativa ou já se encontra passiva. Vale ressaltar que toda fissura deve ter sua evolução acompanhada, pois não adianta tomar uma medida corretiva nesta manifestação patológica se essa fissura é ativa e o problema poderá retornar, ou ainda, poderá estar escondendo um problema mais sério relacionado a estrutura.

2.3.3. Ensaio de Pacometria

De acordo com MENDES (2017), este ensaio tem por finalidade medir o cobrimento das barras de aço, a posição das barras, como também o espaçamento entre elas e a bitola usada. O pacômetro, aparelho responsável para realizar o ensaio, possui resultados menos precisos por ser um ensaio superficial. Os resultados do ensaio devem ser cuidadosamente avaliados pelo operador para que os dados coletados possuem pequenas margens de erro. O aparelho funciona por ondas eletromagnéticas com finalidade de detectar estruturas de aço dentro do raio do sensor.

Segundo o código ACI 228 2R-98 R04 do American Concrete Institute (2004), referente a testes não destrutivos para avaliação do concreto, os efeitos de reflexão das ondas eletromagnéticas determinam a localização de objetos metálicos. Os resultados do

ensaio são úteis em qualquer estudo de patologia de estruturas, avaliação da vida útil, manutenção e auxilia na realização de outros ensaios.

2.3.4. Ensaio de Tração axial (Extração de Testemunho no Aço)

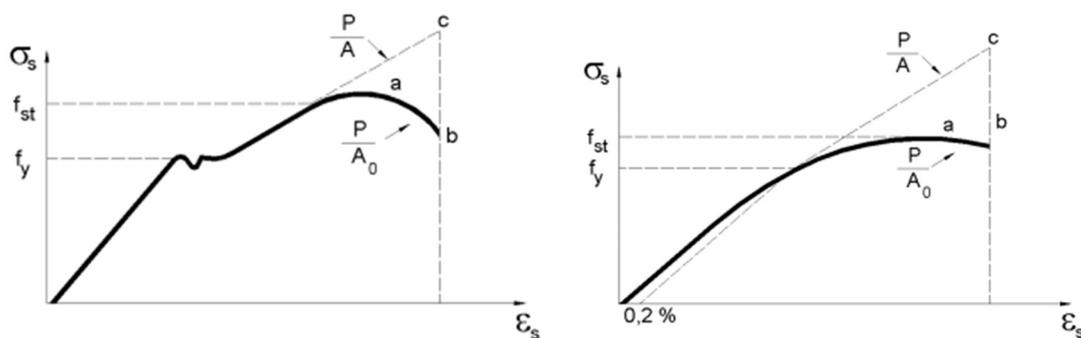
Quando uma estrutura de concreto armado possui algum ponto de corrosão das armaduras, antes de qualquer recuperação estrutural é fundamental avaliar se estas armaduras ainda possuem capacidade adequada de resistência, uma vez que a corrosão pode estar em fase inicial ou avançada. Existem diversos métodos para tal, sendo uma das formas de se avaliar a situação das barras de aço é retirar uma amostra da barra na própria estrutura inspecionada, ou seja, realizando um ensaio destrutivo na estrutura. Com as armaduras, pode-se realizar em laboratório o ensaio de tensão vs deformação para conhecer a resistência real do aço da estrutura.

Para se obter o diagrama tensão vs deformação é necessário realizar o ensaio de tração axial. Esse ensaio submete um corpo de prova padronizado a uma força de tração axial que tende a causar uma deformação do material, alongando ou esticando até que sofra a ruptura. Além de verificar a resistência do material, ele também determina o gráfico tensão vs deformação ao analisar a medição de força e o alongamento a cada instante do ensaio (BERTOLDI, 2014).

Esse gráfico fornece informações importantes para o estudo daquele determinado corpo de prova. Entre eles estão: o módulo de elasticidade, limite de proporcionalidade, de elasticidade e de escoamento, limite de resistência a tração, tensão de ruptura entre outros (ALMEIDA, 2002).

O ensaio é realizado segundo a NBR ISO 6892 (ABNT, 2002), na qual para a sua realização são utilizados corpos de provas padronizados, onde seu comprimento inicial precisa ser igual a 10 diâmetros nominais, sendo necessário deixar 20 cm a mais para prender a barra na garra. O corpo de prova é marcado com tinta de 5 em 5 milímetros e com auxílio de um traçador de altura. Esta marcação feita no início é o que determina o alongamento final da peça.

É utilizada uma máquina universal de ensaio, onde o corpo de prova é preso por suas extremidades a uma garra de fixação, onde se mede os esforços aplicados e os resultados são lançados em um computador. Em forma de gráficos são obtidos os resultados em função da tensão vs deformação no decorrer do ensaio (NBR NM 6892/2002). O diagrama tensão vs deformação de um aço dúctil e frágil podem ser visualizados na figura 9.



(a) Comportamento do aço dúctil
(Ex: CA-25 e CA-50)

(b) Comportamento do aço frágil
(Ex: CA-60)

Figura 9 – Diagrama tensão vs deformação do aço dúctil e frágil (PINHEIRO et. al, 2003).

Conforme visualizado na Figura 9, alguns pontos importantes são abordados nesse gráfico que diz muito sobre o material analisado. No aço com comportamento dúctil (a), a capacidade do material voltar a sua forma original depois da carga aplicada ser retirada é chamada de elasticidade. Quando se tem uma deformação no regime elástico sabe-se que após retirar o carregamento o material retorna ao seu estado inicial, ou seja, essa fase elástica obedece a Lei de Hooke. Já a deformação plástica ou fase plástica, o material também possui a elasticidade, porém, não retorna ao seu estado original, ou seja, permanece com alguma deformação plástica acumulada permanentemente (BERTOLDI, 2014).

Além disso, no gráfico apresentado, o módulo de elasticidade, que representa a rigidez do material, sua resistência mecânica, que pode ser analisado através da inclinação da reta ainda na fase elástica. O limite de proporcionalidade é onde as tensões são diretamente proporcionais as deformações. Temos a fase de escoamento, onde o material sofre alongamento, sem acréscimo de carga, mas com oscilações na velocidade da deformação. O limite de resistência, refere-se a tensão máxima suportada pelo material antes de romper. E por fim temos o limite de ruptura, que diz respeito ao ponto de ruptura do material. Ao final do ensaio mede-se o comprimento do corpo de prova e assim descobre-se seu alongamento final (BERTOLDI, 2014).

No aço com comportamento frágil (b), o material se deforma pouco antes da ruptura, ou seja, não é encontrado escoamento e grandes deformações. A diferença de comportamento nos mecanismos de rompimento dos dois tipos de aços é devido aos diferentes processos de fabricação. No aço CA-50 o processo é todo à quente, não acontecendo deformação dos cristais durante a redução de espessuras, enquanto no aço CA-60 a trefilação impõe deformação aos cristais (encruamento) diminuindo sua ductilidade (PINHEIRO et. al, 2003).

2.4. TÉCNICAS DE INSPEÇÃO EM PONTES

A norma do DNIT 010 (2004), traz as condições exigidas para que seja feita as inspeções em pontes e viadutos de concreto armado e protendido, a fim de identificar a situação em que essas obras se encontram e possíveis danos presentes na estrutura.

A inspeção deve ser conduzida de forma sistemática e organizada, de tal forma que todo os elementos sejam inspecionados e os resultados registrados em fichas específicas. No decorrer da inspeção são atribuídas notas variando de 1 a 5, que refere a maior ou menor gravidade dos problemas existente, respectivamente.

A partir dos critérios normativos inspecionados pode ser empregada a metodologia do grau de deterioração das estruturas (GDE), inicialmente desenvolvida por Klein (1991) para estruturas de concreto armado e aplicada em trabalhos como de Castro (1994), Rosa (2014) e Euqeres (2011). Tal metodologia é conveniente para não atribuir uma única nota a toda estrutura, ou seja, neste método os efeitos dos danos são avaliados detalhadamente. Desta forma, é minimizado a subjetividade de uma avaliação geral (MEDEIROS, 2020).

A metodologia (Fig. 10) do GDE consiste basicamente na obtenção de um valor (nota) global da estrutura perante a quantificação dos diferentes danos em elementos estruturais distintos separado por grupos. A nota global é condicionada a um fator de ponderação de um dano (F_P) e a um fator de intensidade do dano (F_I). Com isso, a nota global da estrutura é dependente da importância do grupo de elementos estruturais avaliados e da sua intensidade da manifestação patológica em diferentes graus de deterioração.

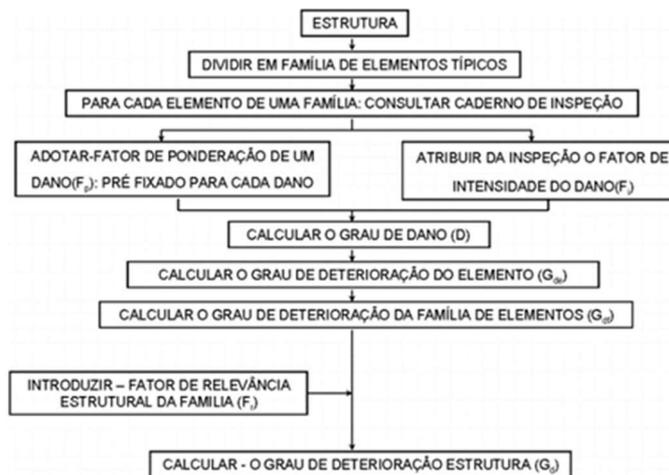


Figura 10 - Fluxograma com a metodologia GDE para avaliação de estruturas de concreto (FONSECA, 2007).

A partir dos grupos de elementos definidos, inicialmente é assumido um valor para fator de ponderação de um dano (F_p) e para fator de intensidade do dano (F_i) e, em seguida, calculado o dano (D) através das seguintes equações:

$$D = 0,8F_pF_i \quad \text{para } F_i \leq 2 \quad (2.1)$$

$$D = (12F_i - 28)F_p \quad \text{para } F_i > 2 \quad (2.2)$$

Com o valor do dano é possível obter o grau de deterioração de um elemento estrutural (G_{DE}) qualquer, sendo:

$$G_{DE} = D_{máx} \left[1 + \frac{\sum_{i=1}^m D(i) - D_{máx}}{\sum_{i=1}^m D(i)} \right] \quad (2.3)$$

onde:

G_{DE} : grau de deterioração de um elemento estrutural;

$D_{máx}$: máximo dano no elemento;

D_i : dano calculado para elemento com base F_i e F_p ;

i : índice somatório que indica a quantidade de danos.

A partir do G_{DE} a análise pode ser expandida e calculado o grau de deterioração para o grupo/família de elementos (G_{DF}), explícito por:

$$G_{DF} = G_{DE(máx)} \left[\sqrt{1 + \frac{\sum_{i=1}^m G_{DE}(i) - G_{DE(máx)}}{\sum_{i=1}^m G_{DE}(i)}} \right] \quad (2.4)$$

onde:

G_{DE} : grau de deterioração da família;

$G_{DE(máx)}$: máximo grau de deterioração dos elementos.

Dispondo das famílias de elementos estruturais, o grau de deterioração final da estrutura (G_d) é determinado por:

$$G_d = \frac{\sum_{i=1}^m F_{RF} \cdot G_{DF}}{\sum_{i=1}^m F_{RT}} \quad (2.5)$$

onde:

G_d : grau de deterioração;

G_{DF} : grau de deterioração da família;

F_{RF} : soma dos fatores de relevância dentro de cada família;

F_{RT} : soma de todos os fatores de relevância.

A metodologia GDE aplicada para estruturas de concreto foi estudada em Klein (1991); Castro (1994); Rosa (2014); Euqeres (2011); Medeiros (2020) e Fonseca (2017). Os fatores de ponderação de um dano podem variar de 0 a 10, sendo 0 o menor valor (peso) atribuído a um elemento de menor importância e 10 para de maior importância estrutural, respectivamente. Os valores de intensidade do dano variam de 0 a 4, em que 0 remete a um elemento sem lesões e 4 um estado crítico de lesões. Ao estudar os trabalhos citados anteriormente que desenvolveram e que aplicam a metodologia GDE, neste trabalho é proposto subdividir a estrutura da ponte em famílias com respectivos valores de (F_i) e (F_p) conforme as tabelas 2 e 3.

Tabela 2 - Fator de intensidade do dano (F_i) para pontes (Autores, 2021).

Tipos de danos	Fator de intensidade do dano no elemento estrutural
Fissuras	Peso 1 – Existência de fissuras superficiais originadas pelo efeito da retração e temperatura (fissuras mapeadas) e/ou de fissuras característica de corrosão sem o deslocamento do cobrimento..
	Peso 2 - Existência de fissuras característica de corrosão com pontos de deslocamento do cobrimento.
	Peso 3 - Existência de fissuras característica do efeito da flexão (positiva ou negativa), cisalhamento ou torção.
	Peso 4 - Existência de fissuras característica do efeito de compressão na flexão e esmagamento do concreto.
Cobrimento Insuficiente	Peso 1 – cobrimento encontrado menor que 25% da dimensão prevista em norma para o elemento estrutural.
	Peso 2 - cobrimento encontrado entre 25% a 50% da dimensão prevista em norma para o elemento estrutural.
	Peso 3 - cobrimento encontrado entre 50% a 75% da dimensão prevista em norma para o elemento estrutural.
	Peso 4 - cobrimento encontrado inexistente ou maior que 75% da dimensão prevista em norma para o elemento estrutural.
Corrosão das Armaduras	Peso 1 - manifestações leves, pequenas manchas infiltrações e/ou fissuras características de corrosão sem armadura exposta.
	Peso 2 - manifestações leves, manchas e/ou fissuras de corrosão, com exposição de armaduras em pequenas áreas por deslocamentos.
	Peso 3 – manifestações médias, com grandes manchas e/ou fissuras de corrosão, com exposição de armaduras em médias áreas por deslocamentos.
	Peso 4 – corrosão acentuada na armadura principal, com perda relevante de seção, em regiões iguais ou superiores a 50% da área do elemento inspecionado.

Tabela 3 - Fator de ponderação para famílias (F_p) e fator de relevância estrutural (F_r) (Autores, 2021).

Família	Elementos Estruturais	F_p	F_r
Superestrutura	Lajes (tabuleiro)	7	4,0
	Vigas (longarinas e transversinas)	10	5,0
	Vigas de encontro e contraventamento	5	3,0
	Guarda-rodas e guarda-corpo	7	4,0
	Juntas de Dilatação	5	4,0
	Elementos de composição arquitetônica	2	1,0
Mesoestrutura	Aparelho apoio	7	4,0
	Pilares	10	5,0
Infraestrutura	Travessas Pilares	8	3,0
	Blocos de Fundação	10	4,0

Com a metodologia GDE adaptada a pontes proposta neste trabalho dispondo de um maior detalhamento na inspeção, o resultado do nível de deterioração da estrutura global é dado na tabela 4.

Tabela 4 - Classificação dos níveis de deterioração global pelo método GDE adaptado para pontes e a relação com a norma (DNIT10/2004).

Nível de deterioração	Estado e ações a serem adotadas	G_d	Nota global (DNIT10/2004)
Muito Baixo	Estado aceitável. Nada a fazer.	0-5	5,0
Baixo	Estado aceitável. Planejar inspeções em prazo médio entre 1 a 2 anos.	5-15	4,0
Médio	Estado razoável. Planejar inspeções em prazo máximo de 1 ano	15-40	3,0
Alto	Estado sofrível. Planejar inspeções e recuperação em prazo máximo de 6 meses	40-60	2,0
Crítico	Estado precário. Interdição da estrutura com intervenção de recuperação ou demolição imediata	> 60	1,0

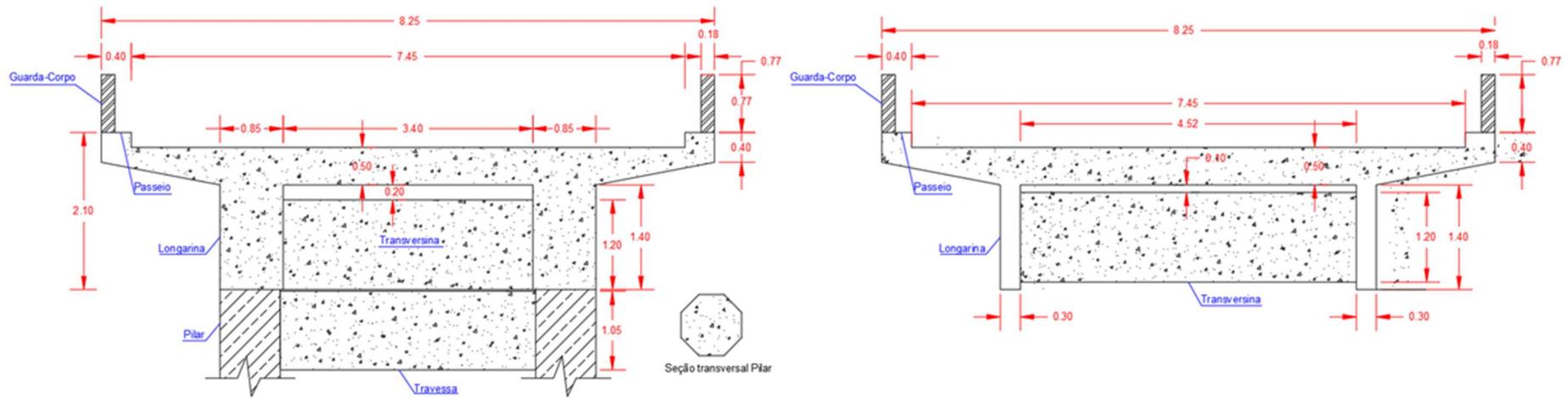
3. METODOLOGIA

3.1. CARACTERÍSTICAS DA ESTRUTURA

Neste trabalho foi analisada uma ponte com sistema estrutural constituído por vigas contínuas, formado por longarinas, transversinas, travessas, apoios e tabuleiro. O material empregado em cada componente foi concreto armado e o sistema construtivo observado foi de moldado “in loco”.

A superestrutura é subdividida em 2 longarinas, 5 transversinas e com 6 vãos, sendo 2 balanços e 4 vãos internos. As longarinas possuem um total de 72,5 metros, com 10 pilares (5 pilares em cada longarina). Por ser uma obra de arte especial antiga, não possui pavimento, tão pouco a barreira de New Jersey, contendo apenas o guarda corpo em formato antigo. O fluxo de veículos sobre a estrutura é pequeno.

Como características planialtimétricas, tem-se uma estrutura com traçado tangente, em região ondulada e uma travessia ortogonal. As figuras 11 e 12 apresentam a seção transversal e o perfil longitudinal da estrutura.



(a) Seção transversal na região dos apoios

(b) Seção transversal no meio do vão

Figura 11 – Seção transversal da obra de arte especial estudada (Autores, 2021).

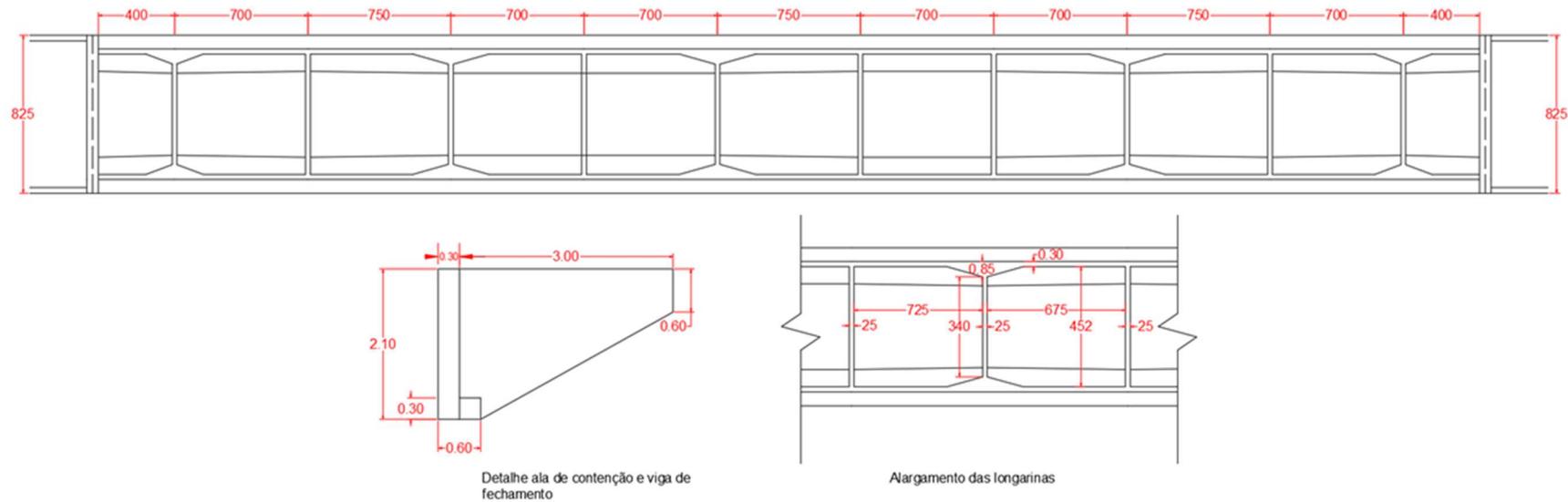


Figura 12 – Vista superior do perfil longitudinal e detalhes de alargamento nos apoios (Autores, 2021).

Está localizada no estado de Goiás, entre os municípios de Cumari e Corumbaíba (mais precisamente próxima ao povoado do Areão), com rotas alternativas para possíveis reformas, passando pela rodovia GO-210 com ligação com a GO-402/GO-511, atravessando o rio Veríssimo. A ponte estudada pode ser visualizada na figura 13.



Figura 13 – Visão geral da obra de arte especial entre os municípios de Cumari e Corumbaíba - GO (Autores, 2021).

3.2. MATERIAIS E MÉTODOS

Todo o trabalho realizado contou com a parceria da prefeitura de Cumari, com a participação do Sr. André Luiz, representante no dia da secretaria de obras do município, que acompanhou toda a inspeção da ponte, no intuito de ajudar e supervisionar as atividades. Ao final deste trabalho, todos os resultados e conclusões que foram feitos serão repassados para a prefeitura, na intenção de informá-los sobre qual a situação real da ponte, para que assim possam ser feitas as devidas melhorias na ponte estudada, beneficiando ambos os lados.

Por meio de inspeção técnica na Obra de Arte apresentada acima, realizou-se inicialmente uma análise sensorial fundamentada nos parâmetros estabelecidos pelo DNIT 010/2004. Essa análise foi feita nos elementos estruturais da superestrutura, mesoestrutura e infraestrutura, atribuindo notas (fatores de intensidade de danos) as suas manifestações patológicas avaliadas. Para os danos encontrados e respectivas notas atribuídas, foi desenvolvido uma planilha eletrônica automatizada que favoreceu a aplicação da metodologia GDE na inspeção da ponte, podendo ser utilizada em outros futuros estudos na área.

Essa avaliação contribuiu para que se aplicasse os critérios da metodologia GDE (grau de deterioração da estrutura). Por meio desta metodologia e da planilha citada, foram aplicadas as equações para conceder uma nova nota global a estrutura para as manifestações patológicas avaliadas.

Além da análise sensorial, foram realizados ensaios de diagnósticos para complementar à análise, que possibilitaram comprovar as causas dos problemas patológicos identificados na estrutura da ponte. Vale ressaltar que para realização dos

ensaios todas os cuidados relacionados as questões de segurança quanto a COVID-19, manuseio dos equipamentos e procedimentos em altura foram realizados.

Dentre os ensaios realizados está o fissurômetro, que possibilitou a identificação das principais fissuras e suas espessuras. Com a utilização de fenolftaleína, aspergido em algumas partes da estrutura, realizou-se o ensaio de carbonatação, que possibilitou identificar a situação atual do PH do concreto. O ensaio de carbonatação foi realizado em diversos pontos da estrutura para critério de comparação e validação do ensaio.

Com o auxílio de um pacômetro, realizou-se o ensaio de pacometria, onde foi possível analisar o cobrimento da peça de concreto armado e o posicionamento das barras de aço. Por fim, foi feito a extração de um testemunho de uma barra de aço da estrutura para análise laboratorial, realizando posteriormente o ensaio para a obtenção do gráfico de tensão vs deformação.

A avaliação dos resultados dos ensaios bem como a avaliação global da estrutura é apresentada em termos de tabelas, gráficos, fotos e discussões técnicas sobre o assunto. A figura 14 apresenta o fluxograma dos processos para a realização da inspeção técnica na Obra de Arte em análise.

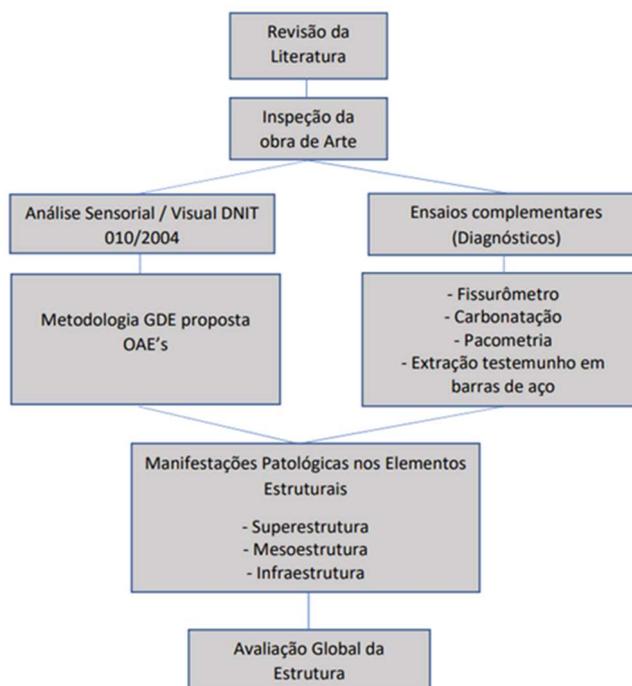


Figura 14 – Fluxograma com as etapas deste trabalho. (Autores, 2021).

4. RESULTADOS

4.1. ANÁLISE DA SUPERESTRUTURA

Ao ser feita a visita, a primeira análise realizada foi da superestrutura, na qual foram verificados o estado de conservação da laje (tabuleiro) e das vigas (longarinas e transversinas).

4.1.1. Análise do Tabuleiro

Ao primeiro contato pode-se observar diversos problemas patológicos na laje maciça da estrutura, tanto na parte inferior, como superior, conforme mostram as imagens a seguir.



(a) Vista Superior do tabuleiro



(b) Vista inferior do tabuleiro



(c) Manchas de infiltração junto ao sistema drenagem



(d) Manchas e eflorescências ao longo do tabuleiro



(e) Manchas, eflorescências e fissuras na parte inferior do tabuleiro



(f) Perda da pasta de argamassa no guarda-corpo

Figura 15 – Análise do tabuleiro e suas manifestações patológicas (Autores, 2021).

Em se tratando da parte superior do tabuleiro como exemplificado na imagem (a) da figura 15, vale ressaltar que a estrutura possui 19 juntas abertas secas de dilatação, por não ter o revestimento asfáltico, as mesmas estão praticamente cobertas pelo solo e poeira existente.

Ainda analisando a parte superior, vemos a problemática no guarda-corpo, onde ele se encontra bastante danificado. Em alguns locais inspecionados do mesmo, foi constatado in loco a presença de fissuras por expansão das armaduras que acompanham a corrosão. Além disso, notou-se a perda da pasta de argamassa do concreto, expondo assim os agregados e a armadura. Notou-se também o problema de carbonatação, em que para achar um concreto com o pH adequado foi preciso retirar uma grande quantidade de cobrimento, demonstrando que a frente de carbonatação está avançada e, como mostra a figura 16 a seguir, já próxima das armaduras do guarda-corpo.



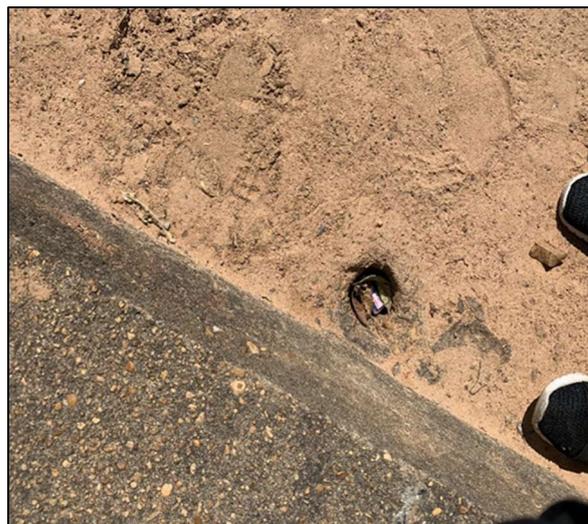
Figura 16 – Aspersão da fenolftaleína no guarda-corpo (Autores, 2021).

Iniciando a observação da parte inferior do tabuleiro, o principal problema patológico encontrado ao longo de toda laje maciça, foi os nichos de concretagem. Complicação devido ao manuseio inadequado do concreto durante a etapa de execução, acarretando o aumento da porosidade, que conseqüentemente gera perda da resistência do mesmo e principalmente favorece a entrada de agentes nocivos no concreto.

Nota-se fissuras por expansão em todo tabuleiro, que acompanham as manchas por infiltração, problema esse encontrado principalmente próximo ao sistema de drenagem na parte lateral do tabuleiro, que foi ocasionado devido ao inadequado sistema de drenagem, em que a água escoava pela estrutura e não pela tubulação. A existência de objetos que tampam a passagem da água favorece a permanência de umidade na estrutura, a falta de manutenção e acompanhamento destes sistemas são de fundamental importância para a vida útil da estrutura de concreto.



(a) Vista parte inferior do tabuleiro



(b) Vista parte superior do tabuleiro

Figura 17 – Dispositivos de drenagem (Autores, 2021).

Observando-se as eflorescências pode-se constatar o início da calcificação, onde líquidos devido a infiltração retira a cal presente no concreto e em estado avançado leva a lixiviação (manchas esbranquiçadas) e formação de estalactites, onde já se pode ver as formações rochosas sedimentares.



(a) Eflorescência no concreto



(b) Estalactites

Figura 18 – Processo de lixiviação da laje da estrutura (Autores, 2021).

A existência de fissuras longitudinais que acompanham a linha das armaduras na parte inferior, revela a possível corrosão e consequentemente expansão das armaduras por não estarem devidamente protegidas da permeabilidade da água.

Existe a presença de infiltração em vários pontos da estrutura, o reparo com o uso de impermeabilizantes e fechamento desses pontos é primordial na correção dos mesmos.

No estado em que a estrutura se encontra, ainda não leva a uma afirmação de um próximo colapso, porém, a quantidade de complicações existentes na superestrutura está levando ao aumento da porosidade do concreto, diminuindo assim a sua durabilidade.

4.1.2. ANÁLISE DAS LONGARINAS E TRANSVERSINAS

No estudo de campo realizado verificou-se a presença de 2 longarinas e 5 transversinas, sendo que as longarinas tinham a presença de diferentes patologias, como deslocamento do concreto observado pela imagem (a), pontos de corrosão em (b), manchas representadas em (c) e fissuras em (d) correspondentes a figura 19.



(a) Deslocamento do concreto na longarina



(b) Corrosão na região da longarina



(c) Manchas na área da longarina



(d) Fissuras na longarina

Figura 19 – Manifestações patológicas nas longarinas (Autores, 2021).

Através da figura 19 (b) e (d) é possível observar diferença na coloração no concreto da longarina e no concreto do cobrimento. Desta forma, existe grandes indícios de que nesta região de nichos de concretagens foram realizados reparos na estrutura de forma inadequada, pois nota-se a expansão das armaduras e o deslocamento do reparo.

Ao realizar uma análise visual da superestrutura mais especificadamente nas longarinas não é possível notar a presença de fissuras ocasionadas pelos efeitos de compressão, flexão, cisalhamento ou torção, mas sim por consequências da corrosão. Outras regiões das longarinas foram inspecionadas e tem seus resultados apresentados na figura 20.



(a) Fissuras ao longo do cobrimento da longarina (b) Análise da fissura pelo fissurômetro
Figura 20 – Fissuras nas longarinas (Autores, 2021).

Fissuras horizontais foram medidas e encontradas acompanhando a região do cobrimento das armaduras como retratado na da figura 20, percebe-se também a presença de cores distintas de concreto na peça, o que indica uma possível recuperação, provavelmente realizada de forma inadequada, não contendo a corrosão e possibilitando a expansão da armadura que tende a expulsar o cobrimento. Utilizando um fissurômetro identificamos que tais fissuras se tratava de microfissuras de aproximadamente 0,05 milímetros de espessura como visível em (b) ainda da figura 20.

Para proceder com tratamentos sobre esta manifestação patológica é necessário antes acompanhá-la observando se está ativa ou passiva, para determinar a ela o tratamento adequado. Analisando superficialmente a fissura, por se tratar de uma fissura típica de corrosão esta pode ser classificada como ativa, pois se não houver uma recuperação irá ocorrer o aumento da fissura até o deslocamento do cobrimento. Para tratar tal fissura é necessário um ensaio mais aprofundado para analisar o nível de corrosão das armaduras e do Ph do concreto, sendo possível posteriormente realizar o fechamento com injeção de resina epoxídica.

Para averiguar os pontos de corrosão nas longarinas com o intuito de identificar suas causas procedeu-se o ensaio de carbonatação, para verificar o pH do concreto. Inicialmente desgastou-se uma pequena região próxima aos pontos visíveis de corrosão (amostra 1) como mostra a imagem (a) da figura 21, aspergindo uma solução de fenolftaleína e identificando a presença de um pH não básico, inadequado a estrutura, devido a permanência da cor natural do concreto em toda a peça, confirmando assim a causa da corrosão das armaduras.

Em seguida, foi feito a abertura de uma nova amostra (2) e novamente aspergido a fenolftaleína, na região lateral da longarina, como mostra as imagens (b) e (c) da figura 21. Com o auxílio de um paquímetro foram retiradas as medidas das amostras, com uma profundidade de 5 cm para a amostra 1 totalmente carbonatada e de 3 cm de profundidade para a amostra 2, com indícios de não carbonatação, imagem (e).



(a) Desgaste da longarina

(b) Região das amostras

(c) Medição das amostras



(d) Aspersão da fenolftaleína



(e) Presença de regiões ainda não carbonatadas na amostra 2

Figura 21 – Ensaio de carbonatação (Autores, 2021).

Na realização de um ensaio destrutivo “in loco”, a primeira variável que se deve levar em consideração é se o dano que será causado não compromete a segurança da estrutura e do ensaio. Para isto, a realização do dano na estrutura da longarina foi executada em uma região de menor esforço da peça. Pelo sistema estrutural da ponte é possível prever a distribuição de momentos fletores e cisalhantes na estrutura. Desta forma, o dano foi realizado na região próximas de esforços de flexão nulos e fora da região de bielãs de compressão e cisalhamento da estrutura.

Há presença de nichos que podem receber tratamento para corrigir e evitar futuras áreas de corrosão. Além disso, como método de tratamento da condição do pH do concreto pode-se refazer o reparo de maneira adequada, utilizar a proteção galvânica e transferência de elétrons para melhorar a condição do pH do concreto.

É fundamental executar esse ensaio em outros pontos da estrutura, sendo assim, foi feito um desgaste e testou-se a substância em uma superfície nas vigas de fechamento e alas de contenção, sem a presença de corrosão ou fissuras significativas, não sendo identificado problema quanto ao pH do concreto, o mesmo permanecia básico.

Nas longarinas o espaçamento estre as barras foi identificado através da visualização das próprias barras expostas. Por outro lado, nas transversinas executou-se o ensaio de pacometria com o intuito de medir o cobrimento das barras de aço e seu espaçamento. O pacômetro movimentado em sentido vertical e horizontal identificou, respectivamente, as barras transversais imagem (a) da figura 22, referentes aos estribos, que foram localizadas pois estas são posicionadas mais próximas ao concreto da superfície, e as armaduras longitudinais, em que o sensor do equipamento não foi capaz de reconhecer imagem (b) da figura 22, indicando a utilização de um cobrimento adequado na peça e barras mais profundas. O espaçamento entre estribos estava de acordo ao permitido por norma, estando em valor máximo de 30 cm entre estribos. A demarcação da posição das barras apresentadas pelo pacômetro foi realizada através de um giz de cera na cor em vermelha.



(a) Barras transversais (estribos) localizadas



(b) Barras longitudinais não encontradas

Figura 22 – Ensaio de pacometria (Autores, 2021).

Para avaliação e comparativo de tensão vs deformação foi extraída uma barra de aço em local carbonatado e corroído para efetuar a análise em laboratório. Optou-se por retirar a amostra do guarda corpo e não da viga para evitar danos severos que poderiam ser ocasionados a ponte. Tal comparativo tem intuito de identificar o comportamento da barra existente *in loco*, através do comportamento do aço no ensaio de tração axial.



(a) Início da extração da barra



(b) Aspersão da fenolftaleína

Figura 23 – Extração de amostra para análise de tensão vs deformação (Autores, 2021).

Após a retirada do testemunho foi feito o ensaio de tração axial e obtido a curva tensão vs deformação. O ensaio foi feito no laboratório da Faculdade UNA de Catalão com uso da máquina universal de tração EMIC EWC-22-50, como mostra a figura 24.



(a) Equipamento Utilizado



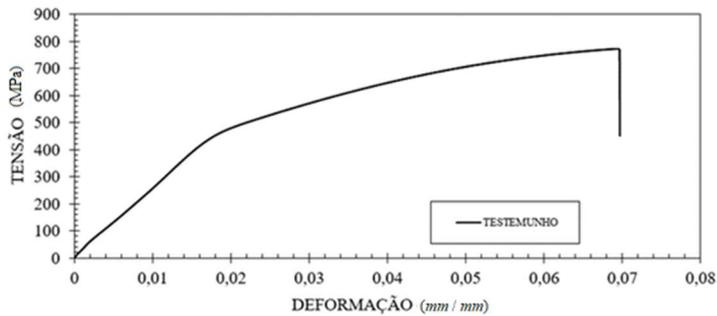
(b) Momento da Ruptura



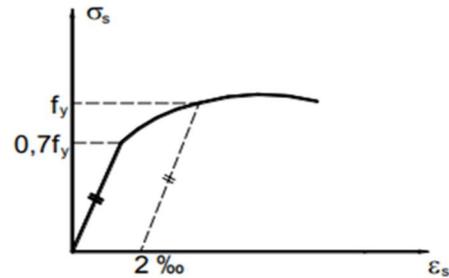
(c) Forma da ruptura do aço

Figura 24 – Ensaio de tração axial do testemunho (Autores, 2021).

Segundo a NBR 7480:2007, a resistência característica de escoamento (f_y) do aço CA-60 é de 600Mpa, dentro da deformação de 2‰, com região linear próxima de 0,7 da resistência característica de escoamento. Com isso, pode-se observar que o gráfico obtido do ensaio apresenta um patamar de escoamento esperado, e junto a isso, ocorreu a ruptura do tipo frágil. O aço estudado tem um comportamento próximo do aço CA-60 e ainda possui uma adequada capacidade resistente, conforme apresentado na figura 25.



(a) Diagrama Tensão vs Deformação do testemunho



(b) Tensão vs Deformação aço CA-60

Figura 25 – Análise dos diagramas de Tensão vs Deformação (Autores, 2021; Bastos, 2019).

Levando em conta a retirada de apenas uma amostra do guarda corpo, vale ressaltar que ensaios mais aprofundados podem ser feitos para complementar os resultados já obtidos e contribuir para a escolha do tratamento mais adequado, ensaios estes que podem refletir uma avaliação quantitativa da corrosão do aço, indicando se a sua utilização ainda permanece apta ou não, como por exemplo, o método de perda de massa (gravimétrico) e diversos ensaios eletroquímicos.

4.1.3. ANÁLISE NAS VIGAS DE FECHAMENTO E ALAS DE CONTENÇÕES

De acordo com a inspeção realizada, pode-se perceber que a base da área de contenção é composta por rochas. Não existe nenhum desmoronamento ou erosão na base.

Além disso, foi aspergido fenolftaleína em uma parte bem superficial da viga de fechamento para critério de comparação com as vigas das longarinas, onde se obteve a coloração rosa, constatando que naquele local não houve carbonatação. Ao aspergir fenolftaleína na superfície de todos os elementos estruturais estes apresentaram sem coloração por estar sempre em contato com gás carbônico (CO_2) naquela região, indicando a carbonatação na superfície, o que é normal em qualquer estrutura. Porém, na região de interesse interna do cobrimento a coloração rosa demonstra que a peça está bem protegida com pH adequado.



(a) Carbonatação na superfície



(b) Desgaste e concreto com PH correto

Figura 26 – Desgaste da ala de contenção e realização do ensaio de carbonatação (Autores, 2021).

A viga de fechamento e a ala de contenção aparentemente apresentam um bom estado. Possuem algumas manchas devido a umidade e agentes biológicos como fungos. Puderam ser observadas algumas pequenas trincas tanto na viga de fechamento, como na ala de contenção. Ensaio mais aprofundados podem ser feitos para complementar e dessa forma buscar a melhor solução com relação aos reparos a serem feitos.



(a) Área de contenção e viga de fechamento



(b) Ala de Contenção

Figura 27 – Análise nas Alas de Contenção e Vigas de Fechamento (Autores, 2021).

4.2. ANÁLISE DA MESOESTRUTURA

Na mesoestrutura não realizou nenhum ensaio destrutivo pois, o mesmo poderia colocar em risco a integridade da ponte. Portanto, foram realizadas análises visuais, na qual foi possível identificar algumas manifestações patológicas.

Nota-se inexistência do aparelho de apoio, a estrutura possui 10 pilares com a geometria de um octógono, com perímetro de 2,7 metros e raio de 0,8148 m.

Devido a diferença de nível da fundação temos dois pilares de altura maior que os demais. Estes não possuem proteção contra o choque de embarcações, pois o rio não é destinado a embarcações de grande porte.

Os pilares em contato com a água se encontram desgastados superficialmente devido a ação do escoamento da água, apresentando a perda de argamassa, manchas e bolores. Na parte superior dos pilares que não tem contato com a água, ou seja, na parte seca dos pilares, foi observado que não se tem o mesmo desgaste devido ao nível da água.

A ponte possui 7 travessas, sendo 5 abaixo das transversinas e 2 que se encontram em uma altura média nos pilares do vão central (os que se encontram no curso d'água). As travessas não possuem ligação com a transversinas, logo, não transferem esforços. Sua função é travar os pilares na altura média, impondo basicamente a função de melhorar o comportamento contra o efeito de flambagem, resistir a alguma instabilidade geométrica e melhorar o desempenho estrutural da peça no sentido do escoamento da água. Tais travessas encontram-se bem desgastadas, conforme apresentado na figura 28.



(a) Perda de Argamassa e agregado exposto



(b) Travessa desgastada

Figura 28 – Manifestações patológicas nos pilares e travessas (Autores, 2021).

Em se tratando de fissuração, pode-se notar a presença de algumas na região onde as manchas resultantes do nível da água são mais aparentes, e próximo a travessa do vão central, encontra-se uma fenda causada possivelmente devido a força de escoamento feita pela água e objetos em contato com a estrutura. Os reparos para tais problemáticas são mais fáceis de fazer nessa época do ano (entre os meses de abril e novembro), onde o nível do rio está baixo. Uma vez que for constatado que as fissuras neste caso são passivas, deve ser feito a lavagem do mesmo com os ácidos apropriados que não alteram o PH da estrutura, com intuito da retirada das manchas e, logo após, uma execução de uma nova camada superficial ou pintura nessa mesoestrutura apropriada para impermeabilizar.

Além disso, na figura 29 a seguir, pode-se observar também o alargamento das longarinas nos apoios sem a presença de aparelho de apoio. O alargamento das vigas tem função de evitar a punção e favorecer a transferência de esforços para os pilares, sendo que a mesma tem 0,30m de largura e são alargadas de 0,55m para 0,85m quando em contato com os apoios. A falta de aparelho de apoio pode favorecer o desgaste naquela região. Além disso, pode ser observados os desgastes nos pilares e travessas da estrutura.



Figura 29 – Alargamento das longarinas, Manchas, fissuras e fenda nos pilares (Autores, 2021).

Conclui-se que para combater a evolução das infiltrações e corrosão nas armaduras pode-se fazer o reparo revestindo os pilares com uma massa de concreto com sílica ativa para garantir impermeabilidade as partes expostas. Em relação ao PH pode-se corrigi-lo através de processos de realcalinização eletroquímica.

Para melhores definições do tratamento para os problemas apontados devem ser feitos mais ensaios com retirada de amostras dessas peças, possibilitando análises mais completas das armaduras, e verificando o grau da corrosão do aço e da resistência do concreto. A título de comparação, os pilares e travessas que não estão na região de escoamento das águas também foram inspecionados. É possível observar que neste caso não ocorreu perda da argamassa na superfície e que não possuem fissuras significativas.



Figura 30 – Análise dos pilares fora do leito do rio (Autores, 2021).

4.3. ANÁLISE DA INFRAESTRUTURA

A partir da análise da infraestrutura foi percebido a ausência de fissuras que apontam problemas causados por recalques diferenciais, que geralmente são fissuras inclinadas a 45° . Assim, pela falta destas fissuras e até mesmo por saber que é uma estrutura antiga, pode-se afirmar que esta não sofreu recalques exagerados ou não previstos em projeto.

Foi observado que a ponte foi construída em níveis diferentes, portanto há fundações que estão localizadas abaixo do rio tanto quanto fundações em solo com ausência de água superficial. Outro fator interessante é o tipo de fundação a qual aponta ser estaca com bloco de coroamento, o tipo de estaca não pode ser analisado em razão da inviabilidade de sua confirmação.

Além disso, por possuir diferentes níveis, o comprimento de flambagem juntamente com o raio de giração dos pilares são conseqüentemente diferentes. Os pilares que se encontram fora do leito do rio são de fácil acesso, portanto sua manutenção pode se tornar mais viável em caso de necessidade. A figura 31 analisa os blocos de coroamento próximos da margem do rio.



Figura 31 – Manchas nos encontros entre pilares e bloco de coroamento submerso (Autores, 2021).

Ao que se diz respeito a manchas podemos perceber que sua presença foi em função da exposição da alta umidade, uma vez que parte dos pilares juntamente com os blocos de coroamento estão submersos. Para tal situação é um pouco complexo resolver o problema integralmente, no entanto é possível tratar tal patologia a partir do uso dos ácidos sulfâmico e acético os quais podem ser usados para remover as manchas. Além disso, para controle das manchas deve ser feito um acompanhamento de tempos em tempos para remover o excesso.

Pode-se verificar também *in loco* um pequeno processo de erosão ao redor dos pilares e encontros localizados nas bordas dos rios, onde constituem obstáculos que modificam os mecanismos de escoamento das águas, aumentando a velocidade das águas, a vorticidade e a turbulência, que geram cavidades (ou fossas) de erosão junto a essas estruturas, podendo causar o solapamento das fundações.

Por fim, dispendo dos resultados dos ensaios experimentais, medições e análises sensoriais da inspeção na obra de arte foi possível aplicar a metodologia Grau de Deterioração de Estruturas através da planilha desenvolvida.

4.4. RESULTADOS DA METODOLOGIA GDE

A metodologia GDE (Grau de deterioração de estruturas) é um sistema onde se é feita a avaliação quantitativa do nível de dano em estruturas de concreto, visando analisar as evoluções das manifestações, dando criticidade aos elementos e permitindo assim a elaboração de planos corretos para manutenções.

Neste artigo, através de uma tabela automatizada obteve-se a análise otimizada com tal método, além de proporcionar um estudo mais detalhado de cada elemento estrutural de forma global e individualmente, onde realizou-se a separação da estrutura em tramos e elementos, identificando assim, pontos críticos específicos.

Como resultado, tem-se o grau de deterioração geral da Obra de Arte considerando danos gerais e locais de cada família.

Tal método, possibilita visões mais detalhadas e também mais pontuais, ou seja, pelo resultado da Obra de Arte como um todo tem-se um estado crítico, porém quando se vê a estrutura pelas famílias e cada tipo de dano analisado, concluímos que a gravidade maior está na superestrutura e mesoestrutura para cobrimento e corrosão. Contudo, o planejamento para reparo deve ser concentrado nestes dois pontos e nos locais onde foi encontrado a peça mais danificada. Após aplicar a metodologia GDE, os resultados para cada tipo de manifestação patológicas em estruturas de concreto armado, já com os critérios assumidos neste artigo mais bem detalhados durante a inspeção, são apresentados nos quadros abaixo.

Quadro 1 – Classificação dos Níveis de Deterioração para as Fissuras.

Classificação dos Níveis de Deterioração para as Fissuras			
Família	GDF	Nota	Nota do DNIT
Superestrutura	39,3	Médio	3
Mesoestrutura	26,9	Médio	3
Infraestrutura	15,2	Médio	3
Estado da Estrutura e Ações a Serem Adotadas para Fissuras			
Elemento Estrutural	Avaliação final		
Superestrutura	Estado razoável. Planejar inspeções em prazo máximo de 1 ano.		
Mesoestrutura	Estado razoável. Planejar inspeções em prazo máximo de 1 ano.		
Infraestrutura	Estado razoável. Planejar inspeções em prazo máximo de 1 ano.		
Estado da Obra de Arte e Ações a Serem Adotadas para Fissuras			
Obra de Arte	GD	Nota	Nota do DNIT
	34,02	Médio	3
	Estado razoável. Planejar inspeções em prazo máximo de 1 ano.		

Quadro 2 – Classificação dos Níveis de Deterioração para o Cobrimento.

Classificação dos Níveis de Deterioração para o Cobrimento			
Família	GDF	Nota	Nota do DNIT
Superestrutura	168,0	Crítico	1
Mesoestrutura	106,0	Crítico	1
Infraestrutura	0,0	Muito baixo	5
Estado da Estrutura e Ações a Serem Adotadas para o Cobrimento			
Elemento Estrutural	Avaliação final		
Superestrutura	Estado precário. Interdição da estrutura com intervenção de recuperação ou demolição imediata.		
Mesoestrutura	Estado precário. Interdição da estrutura com intervenção de recuperação ou demolição imediata.		
Infraestrutura	Estado aceitável. Nada a fazer.		
Estado da Obra de Arte e Ações a Serem Adotadas para o Cobrimento			
Obra de Arte	GD	Nota	Nota do DNIT
	136,43	Crítico	1
	Estado precário. Interdição da estrutura com intervenção de recuperação ou demolição imediata.		

Quadro 3 – Classificação dos Níveis de Deterioração para a Corrosão.

Classificação dos Níveis de Deterioração para a Corrosão			
Família	GDF	Nota	Nota do DNIT
Superestrutura	162,6	Crítico	1
Mesoestrutura	106,0	Crítico	1
Infraestrutura	0,0	Muito baixo	5
Estado da Estrutura e Ações a Serem Adotadas para a Corrosão			
Elemento Estrutural	Avaliação final		
Superestrutura	Estado precário. Interdição da estrutura com intervenção de recuperação ou demolição imediata.		
Mesoestrutura	Estado precário. Interdição da estrutura com intervenção de recuperação ou demolição imediata.		
Infraestrutura	Estado aceitável. Nada a fazer.		
Estado da Obra de Arte e Ações a Serem Adotadas para a Corrosão			
Obra de Arte	GD	Nota	Nota do DNIT
	132,79	Crítico	1
	Estado precário. Interdição da estrutura com intervenção de recuperação ou demolição imediata.		

É possível observar que o fato de as longarinas estarem ambas com pontos de corrosão e deslocamento acentuados, a ponte necessita de uma intervenção imediata para sancionar tais manifestações patológicas e a situação obtida para estas patologias foram de “estado precário” quando comparada a análise das manifestações patológicas de fissuras, que obteve uma situação de “estado razoável”. Apesar de fisicamente ter uma relação entre as três manifestações patológicas, ou seja, uma peça com deslocamento e corrosão também sofreu uma manifestação do tipo de fissuração é válido afirmar que no método GDE um conjunto de fatores de intensidade de danos para todos os elementos estruturais são levados em consideração e com fator de relevância estrutural diferentes, ou seja, é possível que na avaliação de determinada estrutura a nota obtida em pequenos locais de corrosão grave e elementos estruturais fundamentais seja maior do que a nota obtida para diversos locais de fissuração na estrutura.

Juntamente a análise citada, na ponte em estudo os pilares e travessas bem degradados elevaram bastante o grau de deterioração para o deslocamento e corrosão, necessitando também de uma intervenção imediata. A partir do grau de deterioração para cada família e global para cada manifestação citada, foi possível obter a nota global da estrutura levando em consideração as três manifestações patológicas em conjunto, apresentada no quadro abaixo.

Quadro 4 – Estado da obra de arte geral e ação a ser adotada para as três manifestações patológicas em conjunto.

Estado da Obra de Arte e ação a ser adotada			
Obra de Arte Geral	GD	Nota	Nota do DNIT
	101,08	Crítico	1
	Estado precário. Interdição da estrutura com intervenção de recuperação ou demolição imediata.		

De acordo com o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), cada elemento de componente de uma ponte deve ser avaliado com uma nota entre 1 e 5, demonstrando a relevância da gravidade dos problemas existentes na mesma.

A Obra de Arte apresentada neste trabalho se encontra em um estado crítico em dois tipos de danos (corrosão e degradação), pois têm-se a ação constante da água em

contato com os pilares, travessas e parte da fundação, a idade avançada da estrutura contribui para tal resultado obtido, já que naturalmente ocorre a degradação da estrutura devido a carbonatação e infiltração. Em conjunto a isso tem o elevado tempo sem manutenção, influenciando assim, conseqüentemente, a sua avaliação final para a Obra de Arte nos tipos de danos de maior gravidade como um todo.

5. CONCLUSÃO

Mediante este estudo de caso através de observações e realização de ensaios na obra de arte especial, é possível afirmar que as manifestações patológicas nestas estruturas em concreto armado devem ter uma atenção especial e possuem uma causa muito comum.

Problemas diversos afetam todas as partes constituintes da ponte, superestrutura, mesoestrutura e infraestrutura, desde os mais simples até os que colocam em risco alguns elementos estruturais. Anomalias estas que ao longo do tempo são acumulativas e podem ter tido início desde a fase inicial do projeto, ou ainda erros de execução como materiais de baixa qualidade, erros de dosagem do concreto, entre outros podem ter desencadeado esses problemas encontrados.

Além disso, a falta de manutenção ao longo da vida útil da obra de arte contribuiu bastante para que alguns pontos sejam críticos, grande parte destes problemas seriam facilmente evitados ao serem adotadas medidas preventivas, como no caso de infiltrações, manchas, eflorescências, corrosão, entre outros descritos anteriormente. A provável manutenção inadequada nas longarinas não foi satisfatória e contribuiu para o surgimento de diversas patologias encontradas.

Sabe-se que a ponte estudada é uma estrutura antiga, em que as normas sobre as quais a regeram já não se encontram mais em uso, pois foram atualizadas, logo, como o meio externo atual é mais agressivo que na época de projeto, as inspeções e manutenções nessas estruturas devem ser feitas com uma atenção constante.

De acordo com o que foi avaliado, pode ser recomendado aos órgãos pertinentes estudos mais aprofundados e detalhados juntamente com uma avaliação estrutural para complementar os ensaios realizados e as observações visuais feitas, para que assim então seja proposto métodos de recuperação e reabilitação. Entretanto, alguns serviços de recuperação são visíveis e podem ser feitos, tais como: utilização de impermeabilizantes e fechamento dos pontos de infiltração, realizar proteção galvânica para melhorar o pH do concreto e frear o efeito da corrosão, recompor o concreto nos lugares onde houve deslocamento e a armadura se encontra exposta com material adequado e, por fim, recuperação do sistema de drenagem completo.

Contudo, este artigo buscou analisar as condições da obra de arte especial, bem como apontar os principais problemas patológicos encontrados e mediante ensaios e estudos, sugerir possíveis soluções para a conservação dela. Além disso, este estudo contribui com a metodologia de inspeção em pontes de concreto armado, excluindo uma subjetividade e incorporando critérios de inspeção para tal. Conclui-se que a estrutura se encontra razoavelmente danificada em várias regiões como descritas acima, que sem os devidos reparos tais problemas podem evoluir e causar riscos as vidas de quem trafega por lá.

Como sugestão de trabalhos futuros, destaca-se que podem ser realizados na obra de arte mais ensaios para complementar as análises, tais como: índice de cloretos, índice de sulfatos, extração de testemunho de concreto, análise de deslocamentos através de

sensores, aplicação da metodologia GDE para diferentes obras de arte especiais, entre outros.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Prefeitura Municipal de Cumari – GO pela parceria, bem como ao Sr. André Luiz. Agradecemos também aos professores Davidson França e Jéssica Ferreira Borges pelo acompanhamento e ensinamentos durante a inspeção e visita técnica.

Referências

ALMEIDA, L.C. **Aços para concreto armado**. Universidade Estadual de Campinas – Faculdade de Engenharia Civil, 2002. Disponível em: <<http://www.fec.unicamp.br/~almeida/au405/Acos.pdf>>. Acesso em: 12 de março de 2021

AMORIM, A. A. **Durabilidade das estruturas de concreto armado aparentes**. 2010. Disponível em: <[https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS-9A4GDM/1/durabilidade das estruturas de concreto armado aparentes.pdf](https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS-9A4GDM/1/durabilidade_das_estruturas_de_concreto_armado_aparentes.pdf)> Acesso em: 15 de março de 2021

ANDRADE, H. D. **Carbonatação em concreto de escória de aciaria**. 2018. Disponível em: <<https://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/11910/1/DISSERTA%20c3%87%20c3%83O%20Carbonata%20c3%a7%20c3%a3o%20ConcretoEsc%20c3%b3ria.pdf>> Acesso em: 15 de março de 2021

ANSARI, F. et al. **Nondestructive Test Methods for Evaluation of Concrete in Structures**. 2004. Disponível em: <http://dl.mycivil.ir/dozanani/ACI/ACI%20228.2R-98%20R04%20Nondestructive%20Test%20Methods%20for%20Evaluation%20of%20Concrete%20in%20Structures_MyCivil.ir.pdf>. Acesso em: 10 de março de 2021.

ARAÚJO, R. **Avaliação da profundidade de carbonatação em estruturas de concreto armado de uma refinaria de petróleo com vida útil maior de 40 anos**. 2017. Disponível em: <<http://doi.editoracubo.com.br/10.4322/2SPPC.2017.022>> Acesso em: 15 de março de 2021

BERENQUER, R. A., Helene, P., Monteiro, E. C. B, Lins, C. S. and Lima, A. 2016. **Inspection of the Pathological Manifestations on Janga Bridge**. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering* 21 (January): 4583-4594.

CAMPOS, I. M. **Estudo De Juntas De Dilatação Em Pontes E Viadutos, E Suas Melhorias Na Aplicação E Uso**. São Bernardo do Campo, 2016. Disponível em: <<https://fei.edu.br/sites/sicfei/2016/Civil/ESTUDO%20DE%20JUNTAS%20DE%20DILATA%20C3%87%20C3%83O%20EM%20PONTES%20E%20VIADUTOS,%20E%20SUAS%20MELHORIAS%20NA%20APLICA%20C3%87%20C3%83O%20E%20USO.pdf>> Acesso em: 06 de junho de 2020

CÁNOVAS, M. F., **Patologia e Terapia do Concreto Armado**. 1ª Edição. Tradução de M. C. Marcondes; C. W. F. dos Santos; B. Canabrava. São Paulo: Ed. Pini, 1988. 522 p.

CARMO, G. W. R. **Carbonatação em estruturas de concreto armado – verificação de carbonatação em pilares de um muro residencial no município de Monte Negro - Rondônia**. 2020. Disponível em: <<http://repositorio.faema.edu.br/bitstream/123456789/2761/1/TCC%20GEFFERSON%20FINAL%20assinado%20assinado%20%281%291608167341.pdf>> Acesso em: 15 de março de 2021

CARVALHO, D. M. and Calixto, J. M. F. 2019. **Analysis of strengthening procedures of reinforced concrete highway bridges: a brazilian case study**. *Ibracon Structures and Materials Journal* 1 (February): 199-209.

CASTRO, E. K. 1994. **Desenvolvimento de metodologia para manutenção de estruturas de concreto armado**. M.Sc. dissertation, Universidade de Brasília. 1994. (in Portuguese)

COLLEPARDI, M. **Concrete Deterioration from sulfate and acid attacks**. Universidade Federal de Santa Catarina, 1996.

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, 2020. "DNIT inicia obras de manutenção em 35 pontes e 15 viadutos da BR-070/GO, da BR-153/GO e da BR-414/GO". Disponível em: <<https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/infraestrutura-rodoviaria/proarte/noticias-proarte/dnit-inicia-obras-de-manutencao-em-35-pontes-e-15-viadutos-da-br-070-go-da-br-153-go-e-da-br-414-go>>. Acesso em: 09, 2021.

DNIT (2004). **Inspeções em pontes e viadutos de concreto armado e protendido - Procedimento.** NORMA DNIT 010/2004-PRO. Ministério dos transportes. Departamento nacional de infra-estrutura de transportes, Instituto de pesquisas rodoviárias.

DNIT (2006). **Tratamento da corrosão – Especificação de Serviço.** NORMA DNIT 084/2006 – ES. Ministério dos transportes. Departamento nacional de infraestrutura de transportes, Instituto de pesquisas rodoviárias.

DNIT (2010). **Manual De Recuperação De Pontes E Viadutos Rodoviários.** Publicação IPR 744. Ministério dos transportes. Departamento nacional de infraestrutura de transportes, Instituto de pesquisas rodoviárias.

EUQUERES, P. 2011. **Metodologia de inspeção em estruturas de pontes de concreto armado.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Goiás. 2011.

Fonseca, R. P. 2007. **A Estrutura do Instituto Central de Ciências: Aspectos Históricos, Científicos e Tecnológicos de Projeto, Execução, Intervenções e Proposta de Manutenção.** Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília. 2011.

FRANÇA JÚNIOR, D. O. **Patologia das Construções – Questionário.** Notas de aula da disciplina de Patologia das Construções, Universidade UNA de Catalão. Catalão, 2020.

FREITAS, C.S. **Patologia de estruturas de concreto armado.** 2014. Disponível em: <http://coral.ufsm.br/engcivil/images/PDF/2_2014/TCC_CAMILA%20FREITAS%20DOS%20SANTOS.pdf> Acesso em: 27 de maio de 2021.

FUAD, C. Z. J.; OLIVEIRA, R. A. **Behavior of Concrete in Relation to Physical and Chemical Sulfate Attacks in Foundation Elements.** Electronic Journal of Geotechnical Engineering, 2016.

GINDRI, B. B. et al. **DETERMINAÇÃO DA INFLUÊNCIA DOS AGREGADOS RECICLADOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO NO CONCRETO SUBMETIDO AO ENSAIO DE CARBONATAÇÃO ACELERADA.** Cuiabá, 2014. Disponível em: <<http://www.metallum.com.br/21cbecimat/CD/PDF/416-016.pdf>> Acesso em: 05 de junho de 2020.

GOMES, C. et al. **Um estudo sobre a degradação estrutural de pontes e viadutos rodoviários.** 2017. Disponível em: <http://vitorioemelo.com.br/publicacoes/Estudo_Degradacao_Estrutural_Pontes_Viadutos_Rodoviaros.pdf> Acesso em: 15 de março de 2021

GOMES, C. et al.. **Avaliação das condições de estabilidade das pontes das rodovias BR-101/PE E BR-232/PE.** Vitorioemelo, Pernambuco, 2018. Disponível em: <http://vitorioemelo.com.br/publicacoes/Avaliacao_Condicoes_Estabilidade_Pontes_BR101_BR232_PE.pdf>. Acesso em: 21 de abril de 2020.

GOMES, C. et al.. **Um estudo sobre a degradação estrutural de pontes e viadutos rodoviários.** Vitorioemelo, Pernambuco, 2018. Disponível em: <http://vitorioemelo.com.br/publicacoes/Estudo_Degradacao_Estrutural_Pontes_Viadutos_Rodoviaros.pdf>. Acesso em: 21 de abril de 2020.

GRAEFF, A. G. **Avaliação experimental e modelagem dos efeitos estruturais da propagação da corrosão em elementos de concreto armado.** 2007. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/10389/000597350.pdf?sequence=1&isAllowed=y>> Acesso em: 15 de março de 2021

HELENE, P. R. **Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto.** 2ª Edição. São Paulo: Editora PINI, 1992.

KLEIN, D. et al. 1991. **Critérios adotados na vistoria de obras de arte.** In *Proceedings of the Jornadas Sul-Americanas de Engenharia Estrutural*, 25. (1991).

- MARCELLI, M. **Sinistros na Construção Civil: Causas e soluções para danos e prejuízos em obras**. 1ª Edição. São Paulo: Editora PINI, 2007.
- MARCHETTI, O. **Pontes de concreto armado**. 1ª edição - 2007. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 2008.
- MARQUES, J.L.; BRITO, J. **Classificação das juntas de dilatação em obras de arte rodoviárias portuguesas**, 2009. Disponível em: < http://www.editoradunas.com.br/revistatpec/Art4_N14.pdf>. Acesso em: 12 de abril de 2021
- MATOS, J. C. L., Branco, V. H. L., Macêdo A. N. and Oliveira, D. R. C. 2015. **Structural assessment of a RC Bridge over Sororó river along the Carajás**. *Ibracon Structures and Materials Journal 2* (April): 140-163.
- MEDEIROS, A. G., Almeida de Sá, M. V. V., Filho, J. N. S. and Anjos, M. A. S. 2020. **Application of Inspection Methods in Reinforced Concrete Bridges**. *Ambiente Construído 20* (September): 687-702.
- MENDES, P. T. C., Moreira, M. L. T. and Pimenta, P. M. 2012. **Reinforced concrete bridges: effects due to corrosion and concrete Young modulus variation**. *Ibracon Structures and Materials Journal 3* (June): 388-419.
- NARDINO, C. et al. **Previsão de vida útil de estruturas por modelos matemáticos e carbonatação natural**. Paraná, ISSN 2526-7248 artigo n. 4SPPC132, pp. 300-311, 2019. Disponível em: <<http://doi.editoracubo.com.br/10.4322/2526-7248.052>> Acesso em: 15 de março de 2021
- NBR NM 6892/2002. **Materiais Metálicos: Ensaio de tração à temperatura ambiente**. Disponível em:< <https://ecivilufes.files.wordpress.com/2011/04/nbr-6892-mat-metc3a1licos-ensaio-de-trac3a7c3a3o-c3a0-temperatura-ambiente.pdf>> Acesso em: 12 de março de 2021.
- PAIXÃO, M. A. S, Borba, F. V., Rocha, J. P, Lima, K. B. A., Araújo, W. M. P., Viana, S. W. J. P. and Filho, L. T S. P. 2020. **Manifestações patológicas em obras de arte especiais: Estudo de caso de um Viaduto Rodoviário em São Luis-Ma**. *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento 04* (Abril): 132-147.
- PAULETTI, C. et al. **Carbonatação acelerada: estudo da arte das pesquisas no Brasil**. 2007. Disponível em <<https://www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/3750/2103>> Acesso em: 15 de março de 2021
- PFEIL, W., 1990. Pontes em Concreto Armado. Rio de Janeiro, Technical and Scientific Books
- PINHEIRO, A. A. et al. **Metodologia para gerenciar projetos de pesquisa e desenvolvimento com foco em produtos**. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: < <https://www.scielo.br/j/rap/a/sYsHHTKk6rtZqLs6QHxvNb/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 15 de junho de 2021.
- PONTES, V.C. **Efeito dos sulfatos na degradação do concreto**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil) - Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, p. 126. 2019.
- ROSA, F. B. et al. 2014. **Comparação das metodologias de inspeção em obras de arte: metodologia GDE/UnB e DNIT**. In *Proceedings of the Congresso Brasileiro Do Concreto*, 56.
- SANTOS, A. G. F. S., Sousa, A. O., Farias, M. L. A. and Pontes, V. F. J. 2017. **Levantamento das manifestações patológicas de uma ponte de concreto armado junto as suas possíveis técnicas de recuperação**. In *Proceedings of the National Conference on Pathology and Structure Recovery*. (2017).
- SANTOS, M. F. L. O. **Procedimento Adaptativo Para Controle De Contra Flechas Durante A Fase Construtiva De Estruturas Em Balanços Sucessivos**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Recife, 2014. Disponível em:<<https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/21928/1/DISSERTAÇÃO%20Mariella%20Falcão%20Santos.pdf>>. Acesso em: 20 de maio de 2021.
- SILVA, A.R.; LIMA, G.L. **O estudo de um problema da engenharia civil à luz da teoria a matemática no contexto das ciências**. *Rev. Prod. Disc. Educ.Matem.*, São Paulo, v.9, n.1, pp. 52-62, 2020. Disponível em:< [O estudo de um problema da engenharia civil à luz da teoria a matemática no contexto das ciências | ROSA SILVA | Revista de Produção Discente em Educação Matemática](http://www.revista.ufrj.br/revista-de-producao-discente-em-educacao-matematica). ISSN 2238-8044 (pucsp.br) >. Acesso em: 14 de março de 2021

- SILVA, C.J.G. et al.. **Condições estruturais e funcionais de pontes e viadutos das rodovias federais de Pernambuco**. Revista de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción, Progreso, Mérida, Yucatán, n1v.8, 79-93, novembro de 2017.
- SILVA, C.M., et al. **Ataque físico e químico em fundações superficiais: mecanismos e danos**. Conferência Nacional de Patologia e Recuperação de Estruturas – CONPAR. Recife, 2017.
- SILVA, F.G. **Estudo de concretos de alto desempenho frente à ação dos cloretos**. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia dos Materiais) – Área de Interunidades em Ciências e Engenharia dos Materiais. Universidade de São Paulo. São Carlos, p. 220. 2006.
- SOARES, A. P. F. et al. **Corrosão em armaduras de concreto**. 2015. Disponível em: <<https://periodicos.set.edu.br/fitsexatas/article/view/2651/1540>> Acesso em: 15 de março de 2021
- SOUZA, V.C.M; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. 1º Edição. São Paulo: Editora PINI, 5 de maio de 1998.
- THOMAZ, E. C. S. **Fissuração: 168 casos reais**. Rio De Janeiro, 2003. Disponível em: <http://aquarius.ime.eb.br/~webde2/prof/ethomaz/fissuracao/Coletanea_Fissuracao_Eduardo_Thomaz.pdf> Acesso em: 15 de março de 2021.
- TORRES, A.S. **Corrosão por cloretos em estruturas de concreto armado: uma meta-análise**. Tese (Doutorado em Engenharia) –Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, p. 170. 2011.
- TUUTTI, K. Corrosion of steel in concrete. Swedish Cement and Concrete Research Institute, Stockholm, 1982.
- VALENÇA, J. et al. **Avaliação de fissuras em pontes e viadutos de betão através de um método inovador – CrackBri - baseado em processamento de imagem e laser-scanning**. 2015. Disponível em: <shorturl.at/krzCF> Acesso em: 19 de abril de 2020
- VIEIRA, G.L. **Estudo do processo de corrosão sob a ação de íons cloreto em concreto obtidos a partir de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) –Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, p. 150. 2003.
- VITÓRIO, A., **Pontes Rodoviárias: Fundamentos Conservação e Gestão**. 1ª Edição – 2002. Recife: Conselho Regional de Engenharia Arquitetura e Agronomia de Pernambuco – CREA-PE, 2002.
- WERLE, A. P. et al. **Carbonatação em concretos com agregados reciclados de concreto**. 2011. Disponível em: <<https://www.scielo.br/pdf/ac/v11n2/a15v11n2.pdf>> Acesso em: 15 de março de 2021.

Apêndices

APÊNDICE A – FICHA DE INSPEÇÃO CADASTRAL PREENCHIDA DA NORMA DO DNIT

NORMA DNIT 010/2004-PRO

10

Anexo A (normativo)	
Ficha de inspeção cadastral expedita	
1 DADOS BÁSICOS	
IDENTIFICAÇÃO / LOCALIZAÇÃO / JURISDIÇÃO Data: <u>04.04.21</u>	
OAE:Código: <u> </u> Nome: <u> </u>	
Tipo de Estrutura: Código <u> </u> Nat. Transposição: Código <u> </u> Sist. Construtivo: Código <u> </u>	
UNIT: <u> </u> Residência: <u> </u> Rodovia: BR- <u> </u> UF: <u>GO</u>	
Trecho (PNV): <u> </u> Localização (km): <u> </u> Cidade Prox.: <u>Cumocoi</u>	
ADMINISTRAÇÃO	
<input type="checkbox"/> DNIT <input type="checkbox"/> DER <input type="checkbox"/> CONCESSÃO <input checked="" type="checkbox"/> OUTROS Nome: <u>COINFRA</u> <small>(para o caso concessão / outros)</small>	
PROJETO / CONSTRUÇÃO	
Projetista: <u> </u> ; Ano de Construção: <u> </u>	
Construtor: <u> </u> ; Arquivo: <u> </u> ; Trem - Tipo Classe: <u> </u>	
COMPRIMENTO / LARGURA	
Comprimento: <u>72,5</u> m; Largura: <u>6,25</u> m	
2 DADOS SOBRE CARACTERÍSTICAS FUNCIONAIS	
CARACTERÍSTICAS PLANI-ALTIMÉTRICAS	
Região: <input type="checkbox"/> PLANA <input checked="" type="checkbox"/> ONDULADA <input type="checkbox"/> MONTANHOSA Greide: Rampa Máxima(%): <u> </u>	
Traçado: <input checked="" type="checkbox"/> TANGENTE <input type="checkbox"/> CURVO Raio: <u> </u> m Travessia: <input checked="" type="checkbox"/> ORTOGONAL <input type="checkbox"/> ESCONSA	
CARACTERÍSTICAS DA PISTA	
Larg.Total da Pista: <u>7,45</u> m Pavimento: <input type="checkbox"/> Asfalto <input checked="" type="checkbox"/> Concreto Drenos: <input checked="" type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO	
Nº de Faixas: <u>101 cad. via</u> Passeio: <input checked="" type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO Pingadeiras: <input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO	
Acostamento: <input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO Guarda-Rodas: <input type="checkbox"/> P.Antigo <input type="checkbox"/> N.Jersey <input checked="" type="checkbox"/> Outro	
Larg.Acostamento: <u> </u> m <u>Dezau com Guarda-Corpo</u>	
GABARITOS	
Para Viaduto: Horizontal <u> </u> m; Vertical <u> </u> m	
Para Ponte s/ Rio Navegável: Horizontal <u>72,5</u> m; Vertical <u>40</u> m	
Proteção dos Pilares Contra Choque de Embarcação? <input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO	
JUNTAS DE DILATAÇÃO	
Número total de juntas: <u>19 juntas secas</u>	
Tipo de vedação: <input checked="" type="checkbox"/> Nenhuma; nos pilares / articulação <input type="checkbox"/> Tipo <u> </u> <input type="checkbox"/> Tipo <u> </u>	
TRÁFEGO	
VMD: <u> </u> veículos/dia	
Frequência de Carga Móvel ≥ 36 tf: <input type="checkbox"/> Alta <input type="checkbox"/> Média <input checked="" type="checkbox"/> Baixa	
Passagem de Cargas Excepcionais: <input type="checkbox"/> Freqüente <input checked="" type="checkbox"/> Esporádica	

/Anexo A (continuação)

NORMA DNIT 010/2004-PRO

11

Anexo A (continuação)

Ficha de inspeção cadastral expedita

3 CARACTERÍSTICA DA ESTRUTURA

MATERIAIS / SEÇÃO / TIPO Data: 04/04/21

COMPONENTE	MATERIAL (CÓDIGO) (VER TABELA 2)	SEÇÃO TIPO (CÓDIGO) (VER TABELA 3)	TIPOS DE APARELHOS DE APOIO	
			Cód.	Descrição
LAJES	CA		FR	Freyssinet
VIGAS PRINCIPAIS	CA	TE	NP	Neoprene
PILARES	CA	2GT	TF	Teflon
FUNDAÇÕES	CA	BE	CH	Placa de Chumbo
			RM	Rolo Metálico
			AM	Articulação Metálica
			PD	Pêndulo
			LP	Ligação Pórtico
			TE	Tipo Especial
			NI	Não Informado

Aparelhos de Apoio *não possui*

Apoio →																				
Tipo →																				

Obs.: para tipos de aparelhos de apoio ver tabela acima.

PARTICULARIDADES

Número de Vãos: <i>6 (4+2 balancos)</i>	Altura da Viga no Apoio (m): <i>2,40</i>	Extrem. Inicial: <input type="checkbox"/> ENCONTRO <input checked="" type="checkbox"/> BALANÇO
Número de Juntas Gerber: <i>0</i>	Altura da Viga no Vão (m): <i>1,40</i>	Extrem. Final: <input type="checkbox"/> ENCONTRO <input checked="" type="checkbox"/> BALANÇO
Comprimento do Vão Maior (m): <i>21,5</i>	Altura Máxima de Pilar (m): <i>3,8</i>	Laje de Aprox.: <input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO

Comentários:

4 OUTROS ASPECTOS

Desnível Max entre Grelde e Terreno: <i>—</i> m	As Fundações encontram-se em Solo Mole? <input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO
Lâmina D'água: Normal <i>—</i> m na Chela <i>—</i> m	A vibração da Estrutura é Excessiva? <input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO
O Meio Ambiente é Agressivo? <input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO	O Regime do Rio é Torrencial? <input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO
A Seção de Vazão é Adequada? <input checked="" type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO	O Leito do Rio é Erodível? <input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO
Existe Drenagem no interior do caixão? <input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO	Histórico da Manutenção: <input type="checkbox"/> Boa <input type="checkbox"/> Regular <input checked="" type="checkbox"/> Ruim

ROTAS ALTERNATIVAS: EXISTEM NÃO EXISTEM Acréscimo de Distância: *9970* km

Descrição do Itinerário: *Redeovia GO-210 com ligação com a GO-4027 GO-511.*

INSPEÇÃO ROTINEIRA (PARÂMETROS):

Melhor Época para Vistorias: *Mês de Abril à Setembro*

Periodicidade: Normal (2 anos) Reduzida (1 ano) Dilatada (4 anos) Especial (Consultor)

Especial (L ≥ 200m) Especial (Equipamento) Parcial

Acesso: Direto / Binóculo: Vãos *4* Equipamento Especial: Vãos *—*

Interior de Viga Celular: Acessível Não Acessível

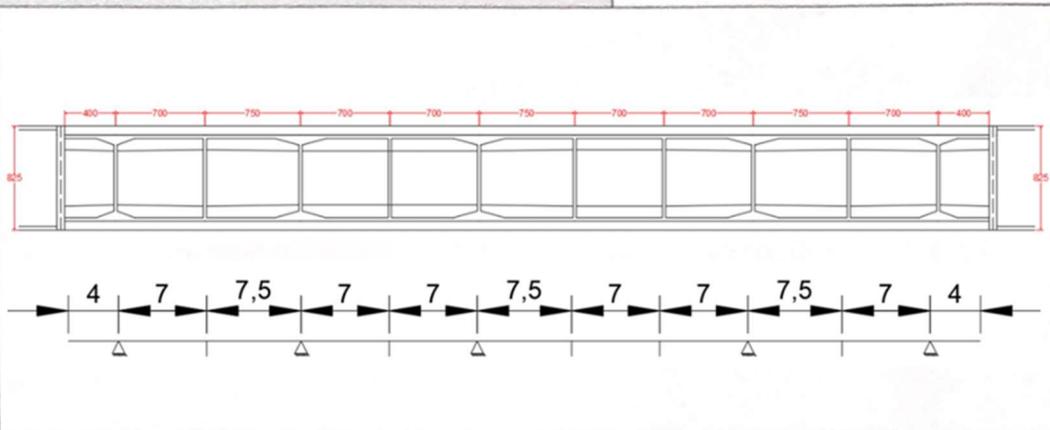
Comentários: *Nesta ponte não são realizadas inspeções rotineiras.*

Anexo A (continuação)

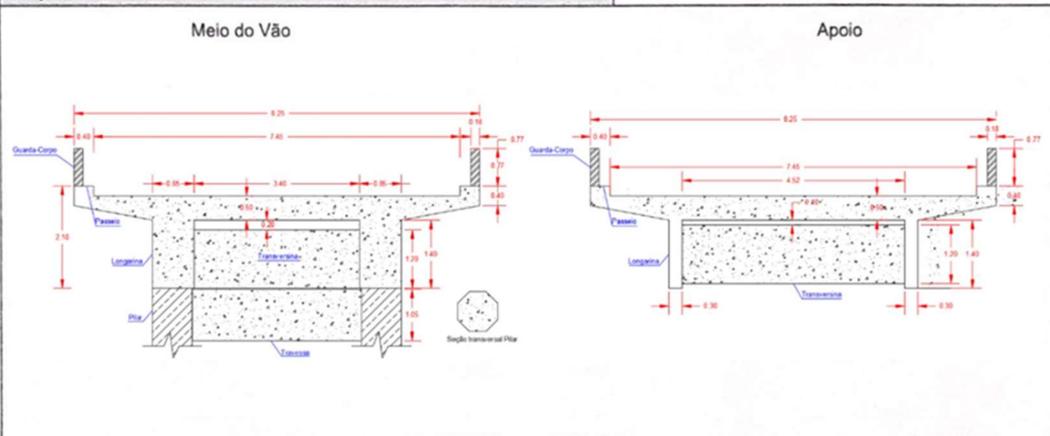
Ficha de inspeção cadastral expedita

5 ESTRUTURA / ESQUEMAS

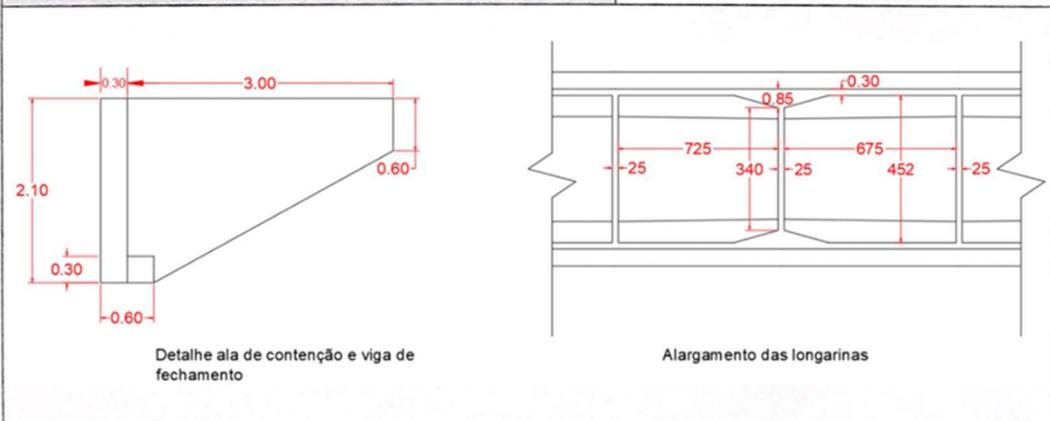
ESQUEMA LONGITUDINAL



SEÇÃO TRANSVERSAL



DETALHES ADICIONAIS



Anexo A (continuação)

Ficha de inspeção cadastral expedida

TABELA 1.A - TIPOS DE ESTRUTURAS	
1	Viga de Concreto Armado
2	Viga de Concreto Protendido
3	Viga e Laje Metálicas
4	Mista (Viga Metal e Laje Concreto)
5	Arco Inferior de Concreto Armado
6	Arco Inferior de Concreto Protendido
7	Arco Inferior Metálico
8	Arco Superior de Concreto Armado
9	Arco Superior de Concreto Protendido
10	Arco Superior metálico
11	Arco de Alvenaria de Pedra
12	Treliça Metálica
13	Laje de Concreto Armado
14	Laje de Concreto Protendido
15	Madeira
16	Estaiada com Vigamento Metálico
17	Estaiada com Vigamento C. Protendido
18	Pênsil
99	Não Informado

TABELA 1.B - SISTEMAS CONSTRUTIVOS	
1	Moldado no Local
2	Pré-moldado de Concreto Armado
3	Pré-moldado Protendido (Pós-tensão)
4	Pré-moldado Protendido (Pré-tensão)
5	Balanços Progressivos c/ Continuidade
6	Balanços Progressivos c/ Articulações
7	Aduelas Pré-moldadas
8	Viga Calha Pré-moldada (Sist. Protótipo)
9	Ponte Empurrada
10	Estaiado em avanços progressivos
11	Não Informado

TABELA 1.C - NATUREZA DA TRANSPosição	
1	Ponte
2	Pontilhão
3	Viaduto de Transposição de Rodovia
4	Viaduto sobre Ferrovia
5	Viaduto sobre Rodovia / Rua
6	Viaduto em Encosta
7	Passagem Inferior
8	Passarela de Pedestre
9	Não Informada

TABELA 2 - MATERIAIS			
LAJE, VIGAS PRINC. e PILARES		FUNDAÇÃO	
CÓDIGO	DESCRIÇÃO	CÓDIGO	DESCRIÇÃO
CA	Concreto Armado	CA	Concreto
CP	Concreto Protendido	EMS	Estaca Moldada "IN SITU"
AC	Aço	EPC	Estaca Pré-moldada
MD	Madeira	EPM	Estaca de Perfil Metálico
PD	Pedra Argamassada	ETM	Estaca Tubular Metálica
		EM	Estaca de Madeira
		IG	Ignorada

TABELA 3 - SEÇÃO TIPO					
VIGAS PRINCIPAIS		PILARES		FUNDAÇÕES	
CÓD.	DESCRIÇÃO	CÓD.	DESCRIÇÃO	CÓD.	DESCRIÇÃO
2T	2 Vigas "T"	1TP	Único Tipo Parede ou Encontro	DI	Direta
3T	3 Vigas "T"	1SV	Único Seção Vazada	BE	Bloco de Estacas
4T	4 ou mais Vigas "T"	1VT	Único Vazado com Travessa	BT	Bloco de Tubulões
2I	2 Vigas "I"	2CI	2 Colunas Isoladas	TC	Tubulões Contraventados
3I	3 Vigas "I"	2CC	2 Colunas Contraventadas	EE	Estaca Escavada
4I	4 ou mais Vigas "I"	2CT	2 Colunas com Travessas	IG	Ignorada
VC	Viga Caixa	3CI	3 ou mais Colunas Isoladas		
LM	Laje Maciça	3CC	3 ou mais Colunas Contraventadas		
VI	Vigas Invertidas	3CT	3 ou mais Colunas com Travessas		
VL	Vigas Calhas	TE	Tipo Especial		
TE	Tipo Especial				

Anexo B (normativo)

Ficha de inspeção rotineira expedida

OAE: Código: _____ Nome: Ponte sobre o rio, Município Corumbá, BR - / _____ / _____ km: _____ UNIT: _____ RES: _____
 Data: 04/04/2011 Inspeção: DNIT / Residência: Outra Entidade: ICC, Universidade UNA Catalão

COMENTÁRIOS GERAIS

- a) Condições de Estabilidade: Boa Sofrível Precária Condições de Conservação: Boa Regular Sofrível Ruim
 b) Nível de Vibração do Tabuleiro: Normal Intenso Exagerado
 c) Inspeção Especializada (Realizada por Engenheiro de Estruturas). Necessária? SIM NÃO Urgente? SIM NÃO
 Já houve alguma anteriormente? SIM NÃO

NOTA TÉCNICA
1

OBSERVAÇÕES ADICIONAIS: Aplicada a metodologia GDE com o uso de uma tabela otimizada, onde analisou-se as dimensões para de até como também as dimensões presentes nos elementos de cada família.

	Nota Técnica:	Local	Quantidade (Opcional)
1. LAJE	<u>3</u>		
Buraco (abertura)	<input type="checkbox"/> Existe		
Armadura Exposta	<input type="checkbox"/> Muito Oxidada		
Concreto Desagregado	<input type="checkbox"/> Muita Intensidade		
Fissuras	<input checked="" type="checkbox"/> Forte Infiltração	<u>de dentro toda a laje</u>	
Marcas de Infiltração	<input checked="" type="checkbox"/> Forte	<u>de dentro de toda laje</u>	
Aspecto de Concreto	<input type="checkbox"/> Má Qualidade		
Cobrimento	<input type="checkbox"/> Ausente / Pouco		

	Nota Técnica:	Local	Quantidade (Opcional)
2. VIGAMENTO PRINCIPAL	<u>3</u>		
Fissuras Finas	<input checked="" type="checkbox"/> Algumas	<u>Cobrimento</u>	<u>2 nos locais de vigamento</u>
Trincas (fissuras w>0,3mm)	<input type="checkbox"/> Algumas		
Armadura Principal	<input checked="" type="checkbox"/> Exposta	<u>Do lado inferior da viga</u>	<u>4</u>
Desagreg. de Concreto	<input checked="" type="checkbox"/> Muito Intenso	<u>Do lado inferior da viga</u>	
Dente Gerber	<input type="checkbox"/> Quebrado/Desplacado		
Deformação (Flecha)	<input type="checkbox"/> Exagerada		
Aspectos do Concreto	<input type="checkbox"/> Má Qualidade		
Cobrimento	<input type="checkbox"/> Ausente / Pouco		

Anexo C (normativo)

Instruções para atribuição de notas de avaliação

(Para a avaliação de elementos de pontes com função estrutural, conforme o Sistema SGO v3 para gerenciamento de pontes no DNIT)

Será atribuída a cada elemento componente da ponte uma nota de avaliação, variável de 1 a 5, a qual refletirá a maior ou a menor gravidade dos problemas existentes no elemento. O quadro a seguir correlaciona essa nota com a categoria dos problemas detectados no elemento.

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.