

**Universidade Federal de Ouro Preto**

Escola de Minas

Programa de Pós-Graduação em Construção Metálica  
Mestrado Profissional em Construção Metálica (MECOM)

---

Dissertação

---

# **Proposta de manual de inspeção de pontes metálicas ferroviárias**

*William Dener Assis Fonseca*

Ouro Preto  
2018



**UFOP**



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
Universidade Federal de Ouro Preto  
Escola de Minas – Departamento de Engenharia Civil  
Programa de Pós-Graduação em Construção Metálica  
Mestrado Profissional em Construção Metálica – MECOM

---



## **PROPOSTA DE MANUAL DE INSPEÇÃO DE PONTES METÁLICAS FERROVIÁRIAS**

Ouro Preto  
2018



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
Universidade Federal de Ouro Preto  
Escola de Minas – Departamento de Engenharia Civil  
Programa de Pós-Graduação em Construção Metálica  
Mestrado Profissional em Construção Metálica – MECOM

---



William Dener Assis Fonseca

## **PROPOSTA DE MANUAL DE INSPEÇÃO DE PONTES METÁLICAS FERROVIÁRIAS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Construção Metálica do Departamento de Engenharia Civil da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Construção Metálica.

Orientador: Prof. Flávio Teixeira de Souza, D.Sc.  
Coorientador: Prof. Geraldo Donizetti de Paula, D.Sc.

Ouro Preto  
2018

F676p

Fonseca, William Dener Assis.

Proposta de manual de inspeção de pontes metálicas ferroviárias  
[manuscrito] / William Dener Assis Fonseca. - 2019.  
52f.:

Orientador: Prof. Dr. Flávio Teixeira de Souza.

Coorientador: Prof. Dr. Geraldo Donizetti de Paula.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia Civil. Programa de Pós-Graduação em Engenharia das Construções.

Área de Concentração: Construção Metálica.

1. Inspeção. 2. Pontes. 3. Metálicas. 4. Ferroviária. I. Souza, Flávio Teixeira de. II. Paula, Geraldo Donizetti de. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU: 624.014

Catálogo: [www.sisbin.ufop.br](http://www.sisbin.ufop.br)



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
Universidade Federal de Ouro Preto  
Escola de Minas – Departamento de Engenharia Civil  
Programa de Pós-Graduação em Construção Metálica  
Mestrado Profissional em Construção Metálica – MECOM



## PROPOSTA DE MANUAL DE INSPEÇÃO DE PONTES METÁLICAS FERROVIÁRIAS

**AUTOR: WILLIAM DENER ASSIS FONSECA**

Esta dissertação foi apresentada em sessão pública e aprovada em quatorze de dezembro de 2018, pela Comissão Examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Flávio Teixeira de Souza, D. Sc. – IFMG (Presidente)

Prof. Geraldo Donizetti de Paula, D. Sc. – UFOP (Presidente)

Prof. Jaime Florencio Martins, D. Sc. – UFOP

Prof. Mário Luís Cabello Russo, D. Sc. – IFMG

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à Deus por me dar força nos momentos que mais precisei.

Aos meus pais e irmãs pelo incentivo e compreensão que me deram ao longo da elaboração desta dissertação.

Ao Prof. Flávio Teixeira de Souza pelo empenho e cuidado com que orientou este trabalho e pela dedicação demonstrada a cada momento, que foram fundamentais ao desenvolvimento desta dissertação.

Ao Prof. Geraldo Donizetti de Paula pelos direcionamentos e contribuições.

À Prof. Arlene Sarmanho por ter contribuído fortemente em minha formação.

À VLI/FCA, pelo incentivo ao desenvolvimento pessoal e profissional acreditando na formação profissional.

Ao Jean Espíndola, Cleriston Santos e Wesley Brito, por possibilitarem essa oportunidade singular de fazer o mestrado.

Aos amigos e colegas que me ajudaram direta ou indiretamente, dentre eles um em especial, Gabriel Signorelli, pelas longas conversas sobre gestão de pontes.

Por fim, quero agradecer profundamente a minha esposa Pollyanna, pelo apoio e compreensão, essenciais à finalização deste trabalho e por me proporcionar a alegria de ser pai.

## **RESUMO**

O sistema ferroviário brasileiro possui um grande número de obras de arte especiais, das quais muitas delas são pontes em estruturas metálicas. Muitas destas foram construídas a cerca de um século, tendo passado por diversos tipos de manutenção neste período. Esse parque de ativos representa um patrimônio de bilhões de reais que necessita ser muito bem gerenciado. O alicerce de um bom sistema de gerenciamento de pontes é uma boa metodologia de inspeção das mesmas. Atualmente a NBR 9452 passou por revisão, representando um grande avanço na forma de gerir as pontes de concreto, entretanto, não há nenhuma norma ou manual no Brasil sobre inspeção de pontes metálicas, sendo necessário recorrer a manuais estrangeiros de inspeção de pontes metálicas ou adaptar a norma de inspeção de pontes de concreto. Este trabalho pretende propor e aplicar uma ficha de inspeção de pontes metálicas ferroviárias. Para tanto, realizou-se uma revisão da literatura nacional e internacional sobre o assunto, contemplando os principais tipos de inspeção e a nomenclatura dos elementos das pontes. Por fim, serão apresentadas, como estudo de caso, uma inspeção utilizando uma ficha de inspeção baseada na NBR 9452 e uma ficha de inspeção proposta pelo autor, e serão analisadas as particularidades de cada uma.

Palavras chave: Inspeção, Pontes, Metálicas, Ferroviária.

## **ABSTRACT**

The Brazilian railway system has a great number of special works of art including some steel bridges. Many of them were built around a century ago and several types of maintenance services were done during this time. This set of assets is worth billions of reais and needs to be very well managed. The basis for an effective bridge management system is a reliable inspection methodology. The current NBR 9452 technical standard revision shows great progress in the way concrete bridges are run, however, there are no specifications or manuals about the inspection of steel bridges in Brazil. Thus, it is necessary to resort to foreign steel bridge inspection manuals or to adapt the inspection standard for concrete bridges. This work aims to propose and apply an inspection report sheet for railway steel bridges. To accomplish that, a revision of both national and international literature on the subject was made, covering the main types of inspection and the bridge elements nomenclature. Finally, a case study will be shown where an inspection report sheet based on the NBR 9452 technical standard was used as well as another sheet proposed by the author, each of them analyzed according to their own special features.

Keywords: Inspection, Bridges, Steel, Railway.



## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1 JUSTIFICATIVA.....	3
1.2 OBJETIVOS.....	3
1.3 METODOLOGIA.....	3
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>5</b>
2.1 TIPOS DE INSPEÇÃO.....	5
<b>2.1.1 Inspeção cadastral</b> .....	5
<b>2.1.2 Inspeção rotineira</b> .....	5
<b>2.1.3 Inspeção especial</b> .....	5
<b>2.1.4 Inspeção extraordinária</b> .....	6
2.2 CONVENÇÃO DA NOMENCLATURA PARA VISTORIA DE OAE.....	6
<b>2.2.1 Objetivo da nomenclatura</b> .....	6
<b>2.2.2 Critérios geral de numeração</b> .....	7
<b>2.2.3 Encontros</b> .....	7
<b>2.2.4 Apoios</b> .....	8
<b>2.2.5 Superestrutura</b> .....	8
2.2.5.1 Ponte de alma cheia com estrado superior.....	8
2.2.5.2 Ponte de alma cheia com estrado inferior.....	9
2.2.5.3 Treliças.....	10
<b>2.2.6 Tipos de elementos</b> .....	12
<b>3. PLANILHAS DESENVOLVIDAS</b> .....	<b>13</b>
3.1. PREENCHIMENTO DAS PLANILHAS DE INSPEÇÃO.....	17
<b>3.1.1 Planilha baseada na NBR 9452</b> .....	17
<b>3.1.2 Planilha sugerida pelo autor</b> .....	17
3.1.2.1 Corrosão.....	17
3.1.2.2 Ligação.....	21
3.1.2.3 Trincas.....	26
3.1.2.4 Outro.....	31
3.2 CLASSIFICAÇÃO DA OAE.....	32
<b>4. ESTUDO DE CASO</b> .....	<b>33</b>
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>41</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O sistema ferroviário brasileiro possui cerca de 28.116 quilômetros concessionados com inúmeras obras de arte especiais, doravante representadas pela sigla OAE, em diversos níveis de degradação. Segundo Almeida (1990) *apud* Afonso (2007), existem aproximadamente 6.500 pontes metálicas na malha ferroviária brasileira. A Tabela 1 apresenta as malhas ferroviárias concessionadas e seus detalhes.

Tabela 1 - Concessões Ferroviárias

Malhas Regionais	Data do Leilão	Concessionárias	Início da Operação	Extensão (Km)
Oeste	05.03.96	Ferrovias Novoeeste S.A.	01.07.96	1.621
Centro-Leste	14.06.96	Ferrovias Centro-Atlântica S.A.	01.09.96	7.080
Sudeste	20.09.96	MRS Logística S.A.	01.12.96	1.674
Tereza Cristina	26.11.96	Ferrovias Tereza Cristina S.A.	01.02.97	164
Sul	13.12.96	ALL-América Latina Logística do Brasil S.A	01.03.97	6.586
Nordeste	18.07.97	Companhia Ferroviária do Nordeste	01.01.98	4.238
Paulista	10.11.98	Ferrovias Bandeirantes S.A.	01.01.99	4.236
	27.06.97	Estrada de Ferro Carajás	01.07.97	892
	27.06.97	Estrada de Ferro Vitória a Minas	01.07.97	905
	03.10.07	Ferrovias Norte Sul S.A.		720
<b>Total</b>				<b>28.116</b>

Fonte: Adaptado de [www.antt.gov.br/ferrovias/Concessoes\\_Ferrovias.html](http://www.antt.gov.br/ferrovias/Concessoes_Ferrovias.html)

Muitas destas OAE são da época da implantação das ferrovias no Brasil, ou seja, foram construídas entre o final do século XIX e início do século XX. Segundo Almeida (1990) *apud* Afonso (2015), de 1850 até a década de 50, as pontes foram predominantemente importadas da Bélgica, Alemanha, Inglaterra, França e Estados Unidos, e muitas destas estão operacionais até a atualidade.

Como o sistema ferroviário brasileiro tem mais de um século e passou por décadas sem investimentos, muitos trechos apresentam características de pouca eficiência operacional, pouco interesse comercial e consequente déficit financeiro.

A idade avançada e a escassez de recursos estão entre os principais fatores que dificultam a manutenção e a conservação das ferrovias brasileiras e de suas OAE. Outro fator que influi na conservação inadequada das OAE brasileiras é a ineficiência dos sistemas de gestão dessas obras. Esses sistemas apresentam deficiências que não permitem que os processos de inspeção, manutenção, recuperação e reconstrução dessas estruturas sejam gerenciados adequadamente,

não havendo, inclusive, uma otimização da aplicação dos recursos financeiros disponíveis.

Qualquer estrutura, para se manter íntegra e proporcionar aos seus usuários conforto e segurança, deve passar por inspeções e manutenções periódicas, as quais permitem que seus problemas sejam detectados logo na fase inicial e sejam tomadas medidas para que esses problemas sejam corrigidos e não evoluam. Qualquer ação de conservação e manutenção causa menos transtornos e riscos aos usuários e, sem dúvida, é financeiramente menos custosa do que os processos de recuperação e reconstrução. No entanto, os procedimentos utilizados precisam ser adequados e devidamente especificados, propiciando a permanência em serviço das estruturas. Por exemplo, uma simples pintura, quando aplicada sem tratamento prévio das manifestações patológicas existentes, não é sinônimo de conservação adequada dessas obras, e servem apenas para causar uma falsa sensação de segurança.

A inspeção é o alicerce do sistema de gerenciamento de OAE. Sendo assim, uma inspeção malfeita, ou uma metodologia inadequada, pode prejudicar todo o sistema, direcionando a utilização de recursos, que são escassos, em locais de menor criticidade, negligenciando reparos que serão mais onerosos com o decurso do tempo, podendo resultar até mesmo no colapso de estruturas.

Um bom sistema de relatórios de inspeção de pontes é essencial para documentar sua condição e proteger a segurança dos usuários e direcionar o investimento em estruturas de pontes. Por conseguinte, é essencial que os dados da inspeção da ponte sejam claros, exatos e completos, uma vez que são parte integrante do histórico da ponte durante toda sua vida útil.

É necessário criar um sistema uniforme de relatório de inspeção de ponte. Um sistema uniforme de relatórios é essencial para avaliar a condição de uma estrutura correta e eficientemente. É um auxílio valioso no estabelecimento de prioridades de manutenção, reposição e na determinação da capacidade da estrutura e do custo de manutenção das pontes ferroviárias. O sucesso de qualquer programa de inspeção de ponte depende do seu sistema de relatórios.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

No Brasil há o Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias elaborado pelo Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte (DNIT, 2004) e recentemente foi publicada a norma NBR 9452, Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto – Procedimento (ABNT, 2016). No entanto, não há nenhuma norma ou manual de inspeção de pontes metálicas ferroviárias, sendo necessário recorrer a manuais de inspeção de pontes rodoviárias, com as devidas adaptações, ou normas internacionais.

O presente trabalho pretende contribuir para preencher essa lacuna, apresentando uma proposta de manual de inspeção de pontes metálicas ferroviárias servindo de subsídio para um sistema de gestão de pontes.

## 1.2 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é apresentar uma proposta de metodologia de inspeção da superestrutura de pontes metálicas ferroviárias a dar suporte a um sistema de gerenciamento de OAE.

Como objetivos específicos desta dissertação foram enumerados:

- Elaborar revisão bibliográfica sobre inspeção de pontes, apresentando os principais tópicos de cada referência;
- Apresentar uma metodologia de inspeção de pontes metálicas, na forma de planilha, passível de ser implementada em um software;
- Inspeccionar uma ponte ferroviária utilizando a metodologia proposta como estudo de caso.

## 1.3 METODOLOGIA

Neste trabalho, foi realizado um apanhado de diversas publicações nacionais e internacionais buscando adequar os procedimentos de inspeções internacionais de inspeção de pontes metálicas ferroviárias aos procedimentos da norma de inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto (NBR 9452).

A partir desse apanhado de informações, foram criadas duas fichas de inspeção de pontes metálicas ferroviárias, uma baseada na NBR 9452 e uma sugerida pelo autor.

Finalmente, foi realizada uma inspeção em uma ponte metálica ferroviária utilizando as duas fichas de inspeção propostas.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 TIPOS DE INSPEÇÃO**

A norma NBR 9452 (ABNT, 2016) prevê quatro tipos de inspeção: inspeção cadastral, rotineira, especial e extraordinária.

#### **2.1.1 Inspeção cadastral**

A Inspeção Cadastral é a primeira inspeção da obra e deve ser efetuada imediatamente após sua conclusão ou assim que ela passar por uma intervenção que altere sensivelmente a configuração da ponte.

A Inspeção Cadastral é uma inspeção amplamente documentada, com amplo registro fotográficos e croquis, além da identificação de anomalias que comprometam as condições estruturais, funcionais e de durabilidade.

#### **2.1.2 Inspeção rotineira**

A Inspeção Rotineira é uma inspeção programada, com intervalos adequados. É destinada a coletar observações e/ou medições para identificar qualquer anomalia em desenvolvimento ou qualquer alteração em relação à Inspeção Cadastral ou à Inspeção Rotineira anterior.

As Inspeções Rotineiras são visuais, efetuadas a partir do estrado, do terreno, do nível d'água ou de plataformas e passarelas, se existentes.

As Inspeções Rotineiras ficarão registradas através do Documentário Fotográfico e do preenchimento da ficha de Inspeção Rotineira.

#### **2.1.3 Inspeção especial**

A Inspeção Especial deverá ser efetuada em intervalos de cinco a oito anos, em todas as pontes consideradas excepcionais, pelo seu porte, pelo seu sistema estrutural ou pelo seu comportamento problemático, ou sempre que julgado necessário por uma Inspeção Rotineira, em qualquer obra. A Inspeção Especial

deverá ter o mapeamento gráfico e quantitativo das anomalias com intuito de formular um diagnóstico e prognóstico da estrutura.

#### **2.1.4 Inspeção extraordinária**

A Inspeção Extraordinária é uma inspeção não programada, que deve ser efetuada quando ocorrem danos estruturais repentinos, provocados pelo homem ou pelo meio ambiente. A equipe desta Inspeção deve ter discernimento, competência e autoridade para avaliar a gravidade dos danos, limitar as cargas de tráfego, ou mesmo, interromper e restabelecer o tráfego, bem como solicitar uma Inspeção Especial.

## **2.2 CONVENÇÃO DA NOMENCLATURA PARA VISTORIA DE OAE**

### **2.2.1 Objetivo da nomenclatura**

O objetivo da convenção da nomenclatura é permitir uma comunicação precisa entre os profissionais envolvidos na gestão e manutenção de pontes, pois é importante que todos usem uma mesma terminologia e métodos uniformes para identificar e localizar os vários componentes da estrutura. É importante que, ao se discutir uma patologia, principalmente em eventos emergenciais, muitas vezes remotamente, por telefone, se consiga obter uma comunicação clara, sem confusão ou mal-entendidos. Ainda que as pontes possuam tamanhos diferentes, as pontes de mesmo material de construção e do mesmo tipo básico podem compartilhar a mesma identificação de componentes semelhantes, independentemente do uso da ponte.

Objetivando uma maior normalidade nas inspeções das obras de arte especiais, independente do tipo de material empregado e da natureza da transposição, foi utilizada como referência básica a norma NBR 9452, Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto – Procedimento (ABNT, 2016) com algumas adaptações.

Outro propósito deste item é apresentar os tipos de pontes comumente encontradas no sistema ferroviário com desenho esquemático de forma a trazer mais clareza.

### **2.2.2 Critérios geral de numeração**

A numeração dos elementos das obras de arte especiais deve obedecer aos seguintes critérios básicos:

O observador deve se posicionar de costas para a menor quilometragem;

Na direção longitudinal à pista, a numeração deve ser crescente a partir da menor quilometragem para a de maior quilometragem;

Na direção transversal, a identificação deve ser crescente da esquerda para a direita;

Como a norma NBR 9452 (ABNT, 2016) foi omissa quanto a numeração dos contraventamentos, sugere-se para os elementos horizontais cruzados, como contraventamentos em X, que o elemento seja numerado a partir do primeiro nó na direção longitudinal da esquerda para a direita e posteriormente na direção transversal. No caso de elementos verticais cruzados, o elemento deve ser numerado de cima para baixo a partir do primeiro nó da esquerda para a direita.

### **2.2.3 Encontros**

Os encontros devem ser numerados a partir do encontro de menor quilometragem, onde ele deve ser denominado com “encontro 01”.

Os muros do encontro ou muros de ala, devem ser numerados da seguinte maneira:

- a) “Muro de ala 01” (lado esquerdo) e “muro de ala 02” (lado direito), ambos do “encontro 01”;
- b) “Muro de ala 03” (lado esquerdo) e “muro de ala 04” (lado direito), ambos do “encontro 04”.



#### **2.2.4 Apoios**

Os pilares devem ser numerados a partir da linha de apoio em posição de menor quilometragem, crescente da esquerda para a direita, de maneira contínua até o último pilar, mesmo que haja mudança da linha de apoio;

As vigas de travamento entre pilares, e outros elementos, devem ser numeradas de cima para baixo, de maneira contínua por linha de apoio;

As vigas-travessa devem ser numeradas a partir da primeira linha de apoio (incluindo as dos apoios), de forma contínua para a obra toda.

#### **2.2.5 Superestrutura**

Seguindo os critérios básicos, tem-se a seguinte numeração:

- a) “Laje em balanço 01” e “laje em balanço 02” (por vão);
- b) “Treliça 01” e “treliça 02” (por vão);
- c) “Viga longarina 01”, “viga longarina 02” (contínua por vão ou painel);
- d) “Painel 01”, “painel 02” (contínua por vão);
- e) “Transversina 01”, “transversina 02” (contínua por vão);
- f) “Laje superior” – sem numeração (identificação somente do vão);
- g) “Laje inferior” – sem numeração (identificação somente do vão), exceto em casos de caixões isolados.

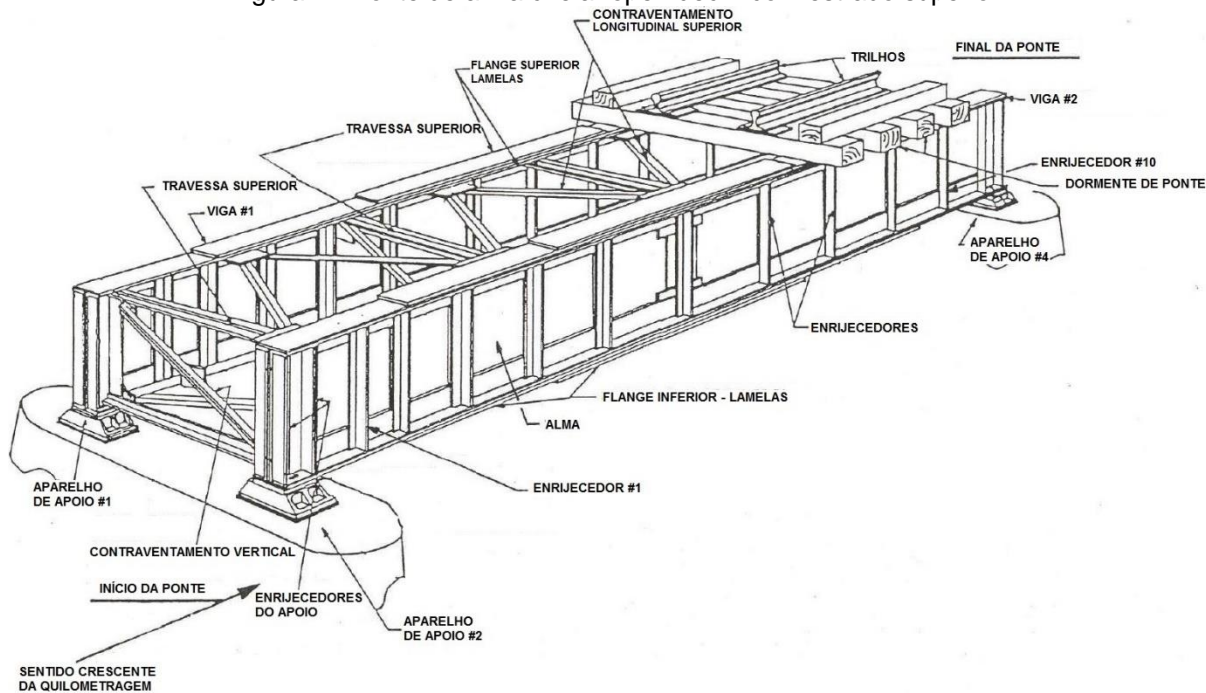
Na norma NBR 9452 (ABNT, 2016) podem ser vistos alguns exemplos da nomenclatura estabelecida para as obras de arte no eixo da rodovia, adaptados neste trabalho. Para os casos omissos na norma, foram adaptadas as nomenclaturas do Bridge Inspection Handbook (AREMA, 2008) e Manual for Railway Engineering (AREMA 2013).

##### **2.2.5.1 Ponte de alma cheia com estrado superior**

Essas pontes consistem em elementos de aço em forma de “I” ou “H”, podendo ser de perfis laminados, soldados ou de perfis compostos. Estes perfis se apoiam diretamente sobre pilares ou encontros. Estas estruturas podem ser “open

deck”, com os dormentes apoiados diretamente nas abas superiores das vigas ou podem ser lastradas, onde uma laje de concreto, ou de chapas de aço, é apoiada sobre as vigas. As pontes lastradas possuem, ao longo da laje, em ambos os lados, guarda lastros. A Figura 1 mostra uma ponte típica alma cheia “open deck” com estrado superior indicando a nomenclatura dos elementos principais.

Figura 1 - Ponte de alma cheia “open deck” com estrado superior



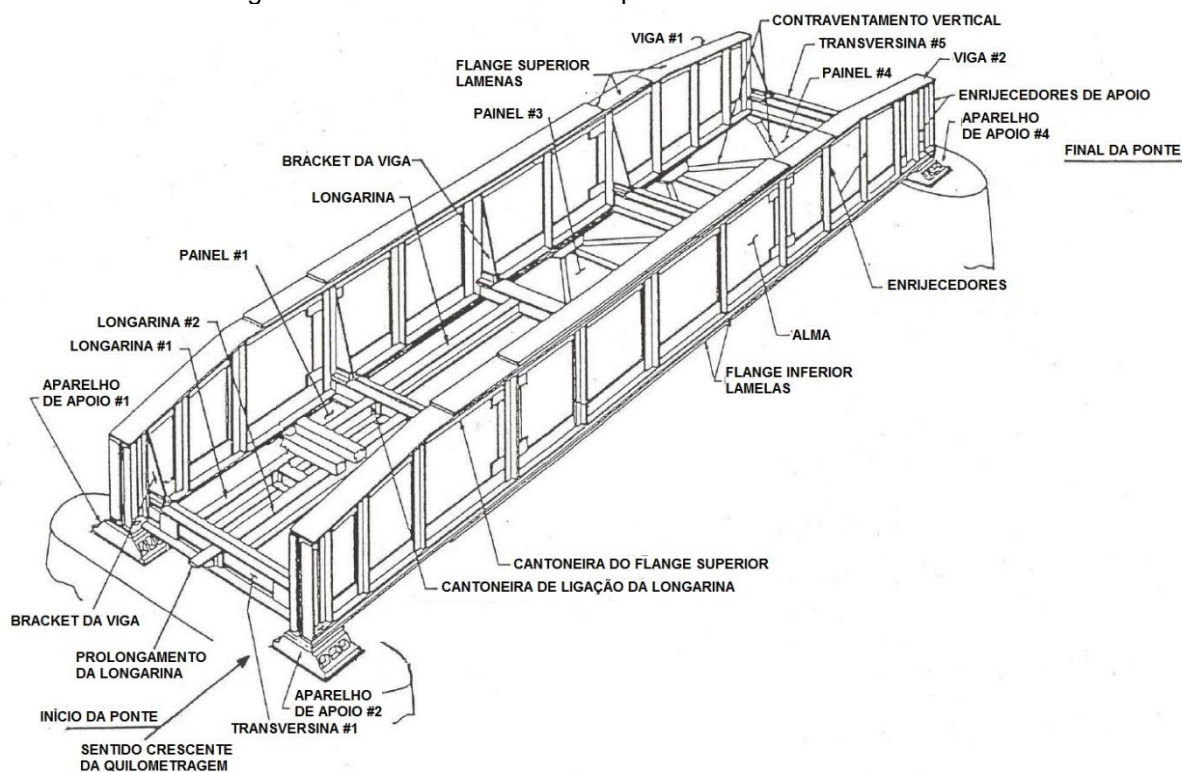
Fonte: Adaptado de AREMA (2008)

### 2.2.5.2 Ponte de alma cheia com estrado inferior

A ponte de alma cheia com estrado inferior consiste em duas ou mais vigas de perfil “I” ou “H” que podem ser de perfis compostos, laminados ou soldados. Neste caso o estrado, parte que serve de apoio imediato aos elementos com função viária, está apoiado abaixo da mesa superior das vigas. Estas estruturas podem ser “open deck”, com os dormentes apoiados diretamente nas longarinas, que estão apoiadas nas transversinas que unem as vigas que são reforçadas com brackets proporcionando maior estabilidade ao conjunto ou podem se lastradas com as lajes apoiadas diretamente nas transversinas, estas lajes podem ser em concreto ou de chapas de aço.

A Figura 2 mostra uma típica ponte de alma cheia “open deck” com estrado inferior e a nomenclatura dos seus elementos principais.

Figura 2 - Ponte de alma cheia “open deck” com estrado inferior



Fonte: Adaptado de AREMA (2008)

### 2.2.5.3 Trelças

Essas pontes utilizam trelças como estrutura principal da superestrutura. As trelças são estruturas constituídas por quadros de elementos compostos de três barras articuladas nas extremidades, onde o triângulo é o elemento fundamental no projeto de uma trelça. Devido às suas características intrínsecas, as barras da trelça estarão sempre submetidas a esforços de tração ou compressão simples.

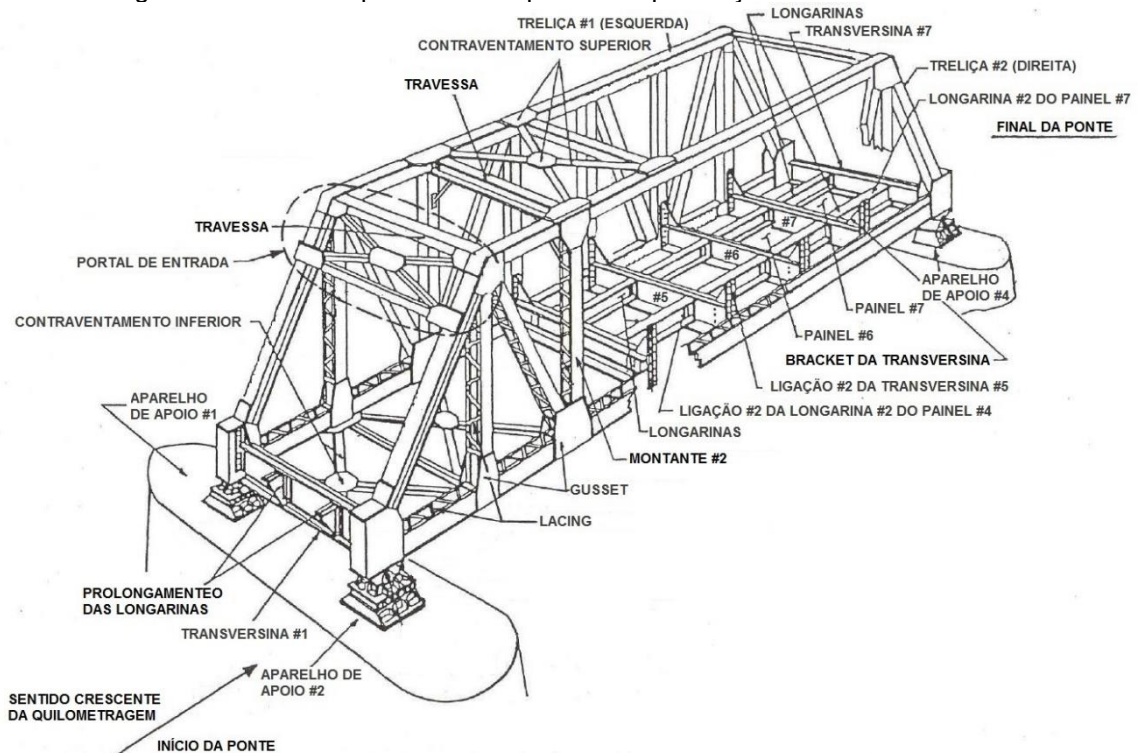
As pontes podem ser de estrado inferior, onde os trens se deslocam entre as trelças, ou de estrado superior, onde os trens se deslocam sobre as duas trelças.

Os elementos individuais da trelça podem ser barras sólidas, tubulares, seções laminadas, soldadas, seções compostas a partir de chapas e cantoneiras, ou pela combinação destes. Rebites, parafusos, soldas, pinos ou a combinação destes podem ser usados para conectar os componentes da trelça. Embora o tamanho e a

forma das treliças variem bastante, a maioria dos elementos principais são comuns a todas.

A Figura 3 ilustra o arranjo típico dos componentes e suas nomenclaturas para uma ponte do tipo treliça com estrado inferior. Referindo-se à Figura 3, os membros perimétricos de uma treliça consistem em uma corda superior, corda inferior e diagonal de entrada. Os membros interiores de uma treliça que completam a construção triangular consistem em diagonais intermediárias e montantes. Esses elementos estão conectados por chapas gusset, que formam os nós do painel da treliça. O estrado é suportado por um sistema que geralmente é composto por longarinas e transversinas, e se apoia nas cordas superiores ou inferiores. As transversinas são fixadas às treliças nas ligações dos montantes e nas diagonais de entrada. As treliças são enrijecidas por contraventamentos horizontais superiores e inferiores e por contraventamentos transversais.

Figura 3 - Detalhes típicos de uma ponte do tipo treliça de estrado inferior



Fonte: Adaptado de AREMA (2008)

### **2.2.6 Tipos de elementos**

Os elementos estruturais da OAE foram divididos em três categorias conforme sua relevância na segurança estrutural. A classificação abaixo segue recomendações da norma NBR 9452 (ABNT, 2016).

Elemento principal é aquele cujo dano pode ocasionar o colapso parcial ou total da obra;

Elemento secundário é aquele cujo dano pode ocasionar ruptura localizada;

Elemento complementar é aquele cujo dano não causa nenhum dano estrutural, apenas funcional e de durabilidade na OAE.

### **3. PLANILHAS DESENVOLVIDAS**

Neste capítulo serão apresentadas duas fichas de inspeção rotineira, uma baseada na norma NBR 9452 (ABNT, 2016) e outra sugerida pelo autor.

A ficha baseada na norma utilizou como modelo a Tabela B.1 – Modelo de ficha de inspeção rotineira, onde alguns elementos foram alterados para que a ficha representasse melhor uma ponte ferroviária, e foram acrescentados campos para classificar cada elemento segundo o critério estrutural, funcional e de durabilidade.

A planilha sugerida pelo autor também teve a NBR 9452 como referência, porém, buscando maior detalhamento das anomalias e dos elementos, já na inspeção rotineira. Com isso, foram criados campos para classificar algumas anomalias mais encontradas na superestrutura através de notas, segundo a condição de cada elemento. Na planilha foram listados os elementos segundo o sistema estrutural da ponte, com uma subdivisão dos elementos em principal, secundário e complementar, que, segundo Poças (2009) “permite a definição de ações de conservação específicas, que incidam sobre as anomalias identificadas e sobre as suas causas em cada tipo de elemento”.

A planilha de inspeção baseada na NBR 9452 está demonstrada na Figura 4 e a planilha sugerida pelo autor está apresentada na Figura 5.

Figura 4 - Ficha de inspeção baseada na NBR 9452

<b>FICHA DE INSPEÇÃO ROTINEIRA</b>			
Data:	<input style="width: 90%;" type="text"/>	Responsável pela OAE:	<input style="width: 90%;" type="text"/>
Responsável (Inspetores):	<input style="width: 95%;" type="text"/>		
<b>PARTE I - Informações gerais</b>			
<b>A - Identificação e Localização</b>			
Corredor:	<input style="width: 90%;" type="text"/>	SB:	<input style="width: 90%;" type="text"/>
km:	<input style="width: 90%;" type="text"/>	Identificação:	<input style="width: 90%;" type="text"/>
<b>B - Histórico de Inspeções</b>			
Inicial:	<input style="width: 90%;" type="text"/>	Útima rotineira:	<input style="width: 90%;" type="text"/>
Especial:	<input style="width: 95%;" type="text"/>		
<b>C - Descrição das intervenções executadas ou em andamento</b>			
Reparos:	<input style="width: 98%;" type="text"/>		
Reforços:	<input style="width: 98%;" type="text"/>		
<b>PARTE II - Registro e classificação de manifestações patológicas</b>			
<b>A - Elementos estruturais</b>			
	Estrutural	Funcional	Durabilidade
Superestrutura:	<input style="width: 80%;" type="text"/>	<input style="width: 80%;" type="text"/>	<input style="width: 80%;" type="text"/>
Observações:	<input style="width: 98%;" type="text"/>		
Mesoestrutura:	<input style="width: 80%;" type="text"/>	<input style="width: 80%;" type="text"/>	<input style="width: 80%;" type="text"/>
Observações:	<input style="width: 98%;" type="text"/>		
Infraestrutura:	<input style="width: 80%;" type="text"/>	<input style="width: 80%;" type="text"/>	<input style="width: 80%;" type="text"/>
Observações:	<input style="width: 98%;" type="text"/>		
Aparelhos de apoio:	<input style="width: 80%;" type="text"/>	<input style="width: 80%;" type="text"/>	<input style="width: 80%;" type="text"/>
Observações:	<input style="width: 98%;" type="text"/>		
Juntas de dilatação:	<input style="width: 80%;" type="text"/>	<input style="width: 80%;" type="text"/>	<input style="width: 80%;" type="text"/>
Observações:	<input style="width: 98%;" type="text"/>		
Encontros:	<input style="width: 80%;" type="text"/>	<input style="width: 80%;" type="text"/>	<input style="width: 80%;" type="text"/>
Observações:	<input style="width: 98%;" type="text"/>		
Outros elementos:	<input style="width: 80%;" type="text"/>	<input style="width: 80%;" type="text"/>	<input style="width: 80%;" type="text"/>
Observações:	<input style="width: 98%;" type="text"/>		

Figura 4 - Continuação

B - Elementos da plataforma ou funcionais	Estrutural	Funcional	Durabilidade
Superestrutura ferroviária:	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Observações:	<input style="width: 100%; height: 30px;" type="text"/>		
Passarela e refúgio:	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Observações:	<input style="width: 100%; height: 30px;" type="text"/>		
Drenagem:	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Observações:	<input style="width: 100%; height: 30px;" type="text"/>		
Guarda-corpo	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Observações:	<input style="width: 100%; height: 30px;" type="text"/>		
<b>C - Outros elementos</b>			
Taludes:	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Observações:	<input style="width: 100%; height: 30px;" type="text"/>		
Drenagem:	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Observações:	<input style="width: 100%; height: 30px;" type="text"/>		
Sinalização:	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Observações:	<input style="width: 100%; height: 30px;" type="text"/>		
Gabaritos:	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Observações:	<input style="width: 100%; height: 30px;" type="text"/>		
Proteção de pilares:	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Observações:	<input style="width: 100%; height: 30px;" type="text"/>		
<b>D - Informações complementares</b>			
<input style="width: 100%; height: 40px;" type="text"/>			
<b>E - Recomendações de terapia</b>			
<input style="width: 100%; height: 40px;" type="text"/>			
<b>PARTE III – Classificação da OAE</b>			
Estrutural:	<input type="text"/>	Funcional:	<input type="text"/>
Durabilidade:	<input type="text"/>		
<b>Justificativas</b>			
<input style="width: 100%; height: 60px;" type="text"/>			



Figura 5 - Ficha de inspeção proposta

<b>FICHA DE INSPEÇÃO ROTINEIRA</b>			Identificação:			
Corredor:	Supervisão:	SB:	Última inspeção rotineira			
km:	Resp. pela OAE:	Responsável (Inspeção):			Data:	
	<b>Caracterização</b>	<b>Estrutural</b>			<b>Durabilidade</b>	
	<b>Elemento principal</b>					
	<b>Elemento secundário</b>					
	<b>Elemento complementar</b>					
<b>1 SUPERESTRUTURA</b>						
<b>1.1 Metálicas</b>						
<b>1.1.1 Treliça</b>						
	<b>Caracterização</b>	<b>Estrutural</b>				<b>Durabilidade</b>
	<b>Anomalia</b>	<b>Corrosão</b>	<b>Ligações</b>	<b>Trincas</b>	<b>Outras</b>	<b>Corrosão</b>
1.1.1.1	Corda Superior					
1.1.1.2	Corda Inferior					
1.1.1.3	Transversina					
1.1.1.4	Longarina					
1.1.1.5	Montante					
1.1.1.6	Diagonal					
1.1.1.7	Tabuleiro Metálico					
1.1.1.8	Contraventamento Horizontal Superior					
1.1.1.9	Contraventamento Horizontal Inferior					
1.1.1.10	Contraventamento Horizontal das longarinas					
1.1.1.11	Contraventamento Vertical					
1.1.1.12	Portal de entrada					
1.1.1.13	Passarela					
1.1.1.14	Guarda corpo					
<b>1.1.2 Alma Cheia/Viga Caixa</b>						
	<b>Caracterização</b>	<b>Estrutural</b>				<b>Durabilidade</b>
	<b>Anomalia</b>	<b>Corrosão</b>	<b>Ligações</b>	<b>Trincas</b>	<b>Outro</b>	<b>Corrosão</b>
1.1.2.1	Viga principal					
1.1.2.2	Longarina					
1.1.2.3	Transversina					
1.1.2.4	Tabuleiro Metálico					
1.1.2.5	Contraventamento Horizontal Superior					
1.1.2.6	Contraventamento Horizontal Intermediário					
1.1.2.7	Contraventamento Horizontal Inferior					
1.1.2.8	Contraventamento Vertical					
1.1.2.9	Passarela					
1.1.2.10	Guarda corpo					
<b>Item</b>	<b>Observações</b>					
	.....					
	.....					
	.....					
	.....					
	.....					
	.....					
	.....					
	.....					
	.....					
	.....					

### 3.1. PREENCHIMENTO DAS PLANILHAS DE INSPEÇÃO

#### 3.1.1 Planilha baseada na NBR 9452

Esta planilha, por ser muito semelhante ficha de inspeção rotineira apresentada pela norma NBR 9452 (ABNT, 2016), deve ser preenchida conforme recomendações da própria norma.

#### 3.1.2 Planilha sugerida pelo autor

Como na planilha de inspeção baseada na norma NBR 9452, há um cabeçalho básico de identificação da localização da ponte, das datas das inspeções, do responsável pela ponte e pela inspeção.

Em seguida, deve-se determinar a condição dos elementos da superestrutura da OAE, segundo os danos causados pela corrosão, em ligações e pelas trincas. Estes três tipos de anomalias ainda são caracterizados sob o aspecto estrutural e, a corrosão, também sob o aspecto de durabilidade.

Com o objetivo de munir o gestor de pontes de mais informações a respeito da classificação da ponte, os elementos foram divididos em principal, secundário e complementar, diferenciados pelas cores das células, conforme identificado na própria planilha.

##### 3.1.2.1 Corrosão

A corrosão é a deterioração do aço por ação química ou eletroquímica do meio ambiente aliada ou não a esforços mecânicos (Gentil, 2003). A corrosão provoca a perda de seção efetiva das peças metálicas aumentando a tensão e podendo causar o colapso da estrutura. A velocidade que uma peça metálica vai perder seção depende de vários fatores, como o tipo de aço, proteção superficial, região, tensão, presença de materiais estranhos, poluentes, temperatura, umidade, entre outros fatores.

A classificação da OAE sob o aspecto da corrosão segundo os parâmetros estrutural e de durabilidade se dá conforme Quadro 1, que contém as notas de classificação que devem ser atribuídas à anomalia corrosão na planilha proposta.

Quadro 1 - Classificação da OAE sob o aspecto da corrosão segundo os parâmetros estrutural e de durabilidade.

Corrosão			
Nota de classificação	Condição	Caracterização estrutural	Caracterização de durabilidade
5	Excelente	A estrutura não apresenta defeitos.	A OAE apresenta-se em perfeitas condições, devendo ser prevista manutenção de rotina.
4	Boa	Superfície do aço com pouca oxidação ao longo de sua superfície. A estrutura apresenta danos pequenos e em áreas, sem comprometer a segurança estrutural.	A OAE apresenta pequenas e poucas anomalias, que comprometem sua vida útil, em região de baixa agressividade ambiental.
3	Regular	Superfície com início de oxidação e da qual a tinta começou a desprender. Há perda de seção de até 5% sem comprometimento da estabilidade da obra.	A OAE apresenta pequenas e poucas anomalias, que comprometem sua vida útil, em região de moderada a alta agressividade ambiental ou a OAE apresenta moderadas a muitas anomalias, que comprometem sua vida útil, em região de baixa agressividade ambiental.
2	Ruim	Superfície de aço onde toda proteção da superfície foi eliminada e na qual se observa uma corrosão uniforme generalizada. Corrosão caracterizada pela formação de placas planas de óxido de ferro (carepas) que se desprendem da área sob corrosão com perda de seção de 5% a 10% em elementos principais.	A OAE apresenta anomalias moderadas a abundantes, que comprometam sua vida útil, em região de alta agressividade ambiental.
1	Crítica	Superfície do aço onde se observa uma corrosão atmosférica severa e generalizada, apresentando pits e alvéolos. Corrosão caracterizada pela formação intensa de placas, associada à formação de grumos a partir de várias placas sobrepostas de óxido de ferro com perda de seção acima de 10% em elementos principais.	A OAE encontra-se em elevado grau de deterioração, apontando problema já de risco estrutural e/ou funcional.

A avaliação do nível de corrosão é subjetiva, dependendo, entre outros fatores, da experiência do inspetor. Desta forma, é importante que os diversos níveis sejam ilustrados. A avaliação da caracterização estrutural da corrosão é mostrada da Figura 6 até a Figura 10.

- Condição excelente

Figura 6 apresenta a estrutura em condição excelente. Pode-se observar que a estrutura não apresenta defeitos oriundos de processos de corrosão.

Figura 6 - Pintura em ótimas condições



Fonte: autor

- Condição boa

A Condição boa se caracteriza pela superfície do aço com pouca oxidação ao longo de sua superfície. A estrutura apresenta danos pequenos, sem comprometer a segurança estrutural, conforme exemplificado na Figura 7.

Figura 7 - Corrosão uniforme



Fonte: autor

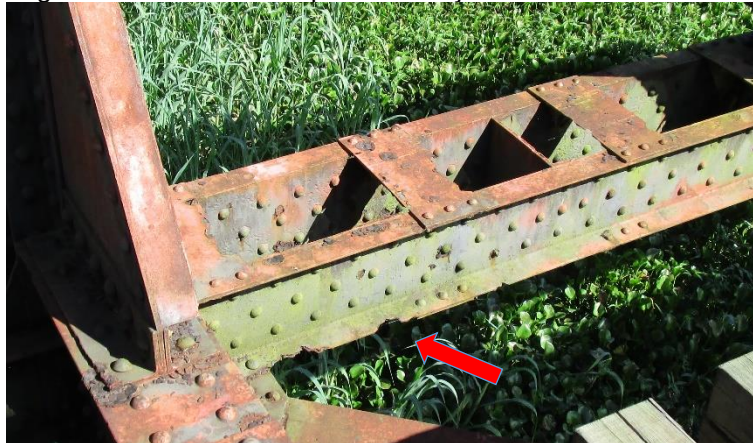
- Condição regular

Superfície com início de oxidação e da qual a tinta começou a se desprender. Há perda de seção efetiva de até 5% sem comprometimento da estabilidade da obra.

- Condição ruim

Superfície de aço onde toda proteção da superfície foi eliminada e na qual se observa uma corrosão uniforme generalizada. Há formação de placas planas de óxido de ferro (carepas) que se desprendem da área sob corrosão com perda de seção efetiva de 5% a 10% em elementos principais, conforme exemplificado na Figura 8.

Figura 8 - Corrosão com perda de seção efetiva de até 5%

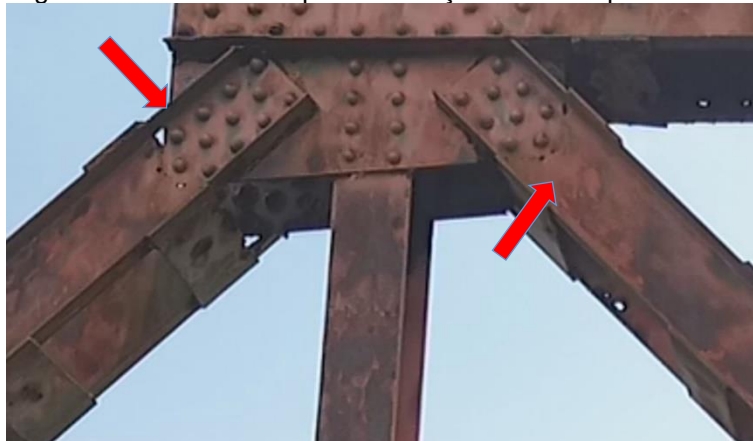


Fonte: autor

- Condição crítica

Superfície do aço onde se observa uma corrosão atmosférica severa e generalizada, apresentando pits e alvéolos. A corrosão é caracterizada pela formação intensa de placas, associada à formação de grumos a partir de várias placas sobrepostas de óxido de ferro com perda de seção efetiva acima de 10% em elementos principais, conforme exemplificado na Figura 9 e Figura 10.

Figura 9 - corrosão com perda de seção efetiva superior a 15%



Fonte: autor

Figura 10 - Corda inferior com perda de seção efetiva



Fonte: AREMA (2008)

De mesma forma, a corrosão deve ser caracterizada de acordo com as condições de durabilidade, que avalia o dano existente, conforme apresentado nas figuras 6 a 10, e consideradas as condições de agressividade ambiental, conforme apresentado no Quadro 1.

Com base na ISO 12944-2, Paints and varnishes – Corrosion protection of steel structures by protective paint systems – Part 2: Classification of environments (ISO, 2017) a região de baixa agressividade ambiental serão as áreas desérticas e atmosferas com baixo nível de poluição (principalmente áreas rurais), a região de moderada agressividade ambiental serão áreas de atmosferas urbanas com poluição moderada de SO<sub>2</sub> e a região de alta agressividade ambiental serão as áreas industriais e costeiras.

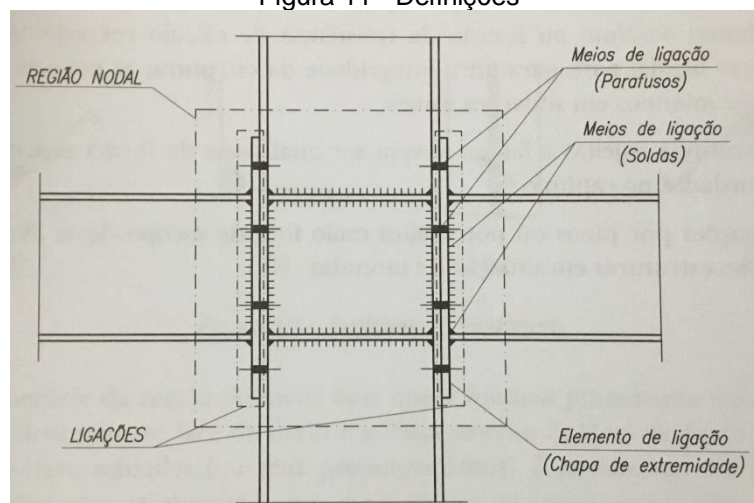
### 3.1.2.2 Ligação

Segundo Queiroz e Vilela (2012, p. 1):

Meios de ligação são parafusos, soldas, pinos e rebites.  
Elementos de ligação são chapas ou outros tipos de perfis necessários para a instalação (execução, no caso das soldas) dos meios de ligação.  
Ligação é o conjunto dos meios e elementos de ligação cuja função é unir uma barra a outra(s) barra(s) ou a um elemento de concreto ou a um dispositivo qualquer.

A exemplificação da definição está representada na Figura 11.

Figura 11 - Definições



Fonte: Queiroz e Vilela (2012)

A classificação da OAE sob o aspecto da condição da ligação segundo o parâmetro estrutural se dá conforme apresentado no Quadro 2.

Quadro 2 - Classificação da OAE sob o aspecto das ligações segundo o parâmetro estrutural.

Ligações		
Nota de classificação	Condição	Caracterização estrutural
5	Excelente	A ligação não apresenta defeitos
4	Boa	Ocorrência de sinais de movimentação ou corrosão em até 1/6 dos parafusos/rebites em ligação de elemento estrutural principal.
3	Regular	Ocorrência de deficiência na ligação que não há sinais de comprometimento da estabilidade da obra. Ocorrência de sinais de movimentação ou corrosão em mais de 1/6 dos parafusos/rebites em ligação de elemento estrutural principal.
2	Ruim	Ocorrência de danos na ligação que comprometam a segurança estrutural da OAE, sem risco iminente. Perda de até 1/6 dos parafusos/rebites em ligação de elemento estrutural principal. Ocorrência de trinca em elemento ou meio de ligação com redundância ou de elemento estrutural secundário.
1	Crítica	Ocorrência de falha grave em ligações de elementos estruturais principais com risco de colapso estrutural. Perda de mais de 1/6 dos parafusos/rebites da ligação. Ocorrência de trinca em elemento ou meio de ligação sem redundância ou de elemento estrutural principal.

As figuras 12 a 17 ilustram as diversas condições de dano das ligações.

- Condição excelente

A Figura 12 apresenta uma ligação parafusada entre uma longarina e uma transversina onde não é possível detectar danos na ligação, caracterizando a condição excelente da ligação.

Figura 12 - Ligação em boas condições



Fonte: autor

- Condição boa

A Figura 13 apresenta uma ligação entre vigas onde é possível observar a ocorrência de sinais de movimentação ou corrosão em até 1/6 dos parafusos/rebites em ligação de elemento estrutural principal, caracterizando a condição boa da ligação.

Figura 13 - Marca de movimentação em um rebite de seis da ligação



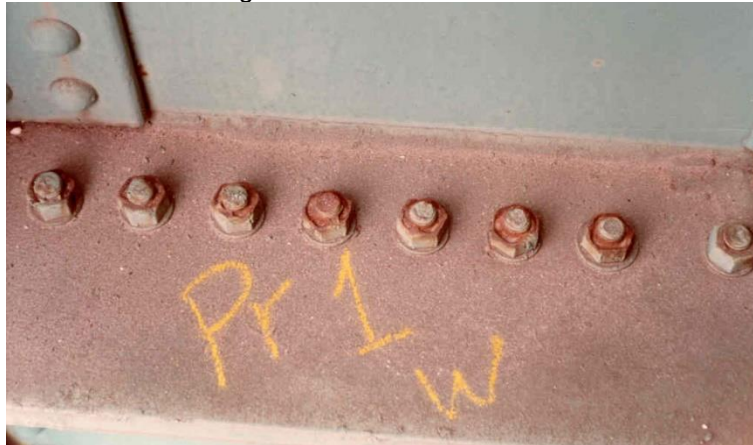
Fonte: autor



- Condição regular

A Figura 14 apresenta uma ligação com ocorrência de sinais de movimentação ou corrosão em mais de 1/6 dos parafusos/rebites em ligação de elemento estrutural principal. Este tipo de dano pode ocasionar comprometimento da estabilidade da obra.

Figura 14 - Porcas corroídas



Fonte: AREMA (2008)

- Condição ruim

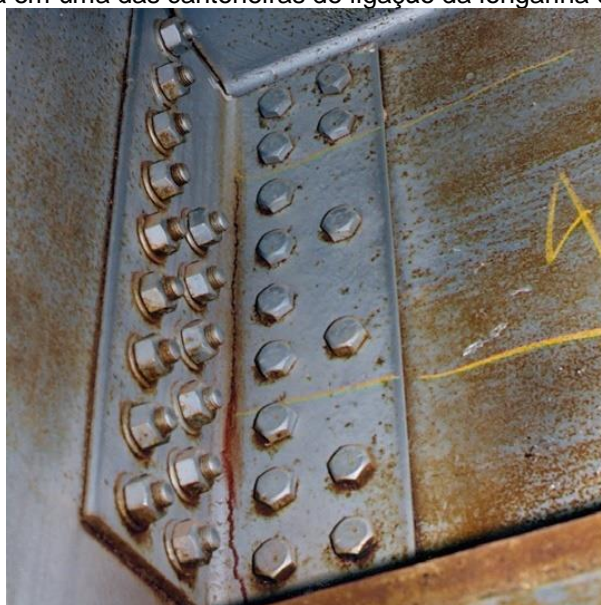
Este tipo de condição pode caracterizar-se pela ocorrência de danos na ligação que comprometam a segurança estrutural da OAE, sem risco iminente. A Figura 15 mostra a perda de até 1/6 dos parafusos/rebites em ligação de elemento estrutural principal, e as figuras 16 e 22 mostram a ocorrência de trinca em elemento ou meio de ligação com redundância ou de elemento estrutural secundário, que ilustram esta condição.

Figura 15 - Ligação com perda de 1/6 dos parafusos



Fonte: VLI (2015)

Figura 16 - Trinca em uma das cantoneiras de ligação da longarina com a transversina



Fonte: AREMA 2008

- Condição crítica

Ocorrência de falha grave em ligações de elementos estruturais principais com risco de colapso estrutural, como mostrado na Figura 17, onde há perda de mais de 1/6 dos parafusos/rebites da ligação.

Caracteriza-se também pela ocorrência de trinca em elemento ou meio de ligação sem redundância ou de elemento estrutural principal.

Figura 17 - perda de três parafusos, caracterizando a perda de mais de 1/6 dos parafusos



Fonte: VLI (2015)

### 3.1.2.3 Trincas

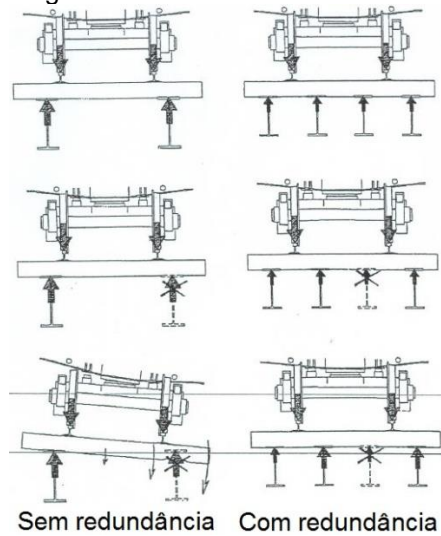
A fratura por fadiga acontece em elementos sujeitos a ciclos repetidos de tensão ou deformação. O fenômeno da fadiga é caracterizado pelo surgimento de uma trinca inicial, propagada pelas tensões cíclicas através da seção do elemento até atingir um tamanho crítico, em que o elemento fraturado pode levar a estrutura ao colapso (Pravia, 2003).

As pontes metálicas ferroviárias são extremamente suscetíveis a este fenômeno, pois a circulação de composições ferroviárias provoca esforços de magnitude variáveis em um número de ciclos da ordem dos milhões. O surgimento das trincas por fadiga pode ser facilitado por detalhes construtivos, ambiente, corrosão, solda ou composição do aço.

Sabe-se que uma vez que uma trinca é visível, normalmente 85% da energia necessária para iniciá-la foi gasta, restando apenas 15% de energia para levar a à falha do membro. (AREMA 2008)

A redundância estrutural é muito importante para aumentar o nível de segurança da estrutura, pois ela oferece caminhos alternativos para a carga caso um elemento falhe, devido ao elevado número de elementos estruturais. Uma ponte com quatro longarinas possui redundância, já uma ponte com duas longarinas não tem redundância, Figura 18.

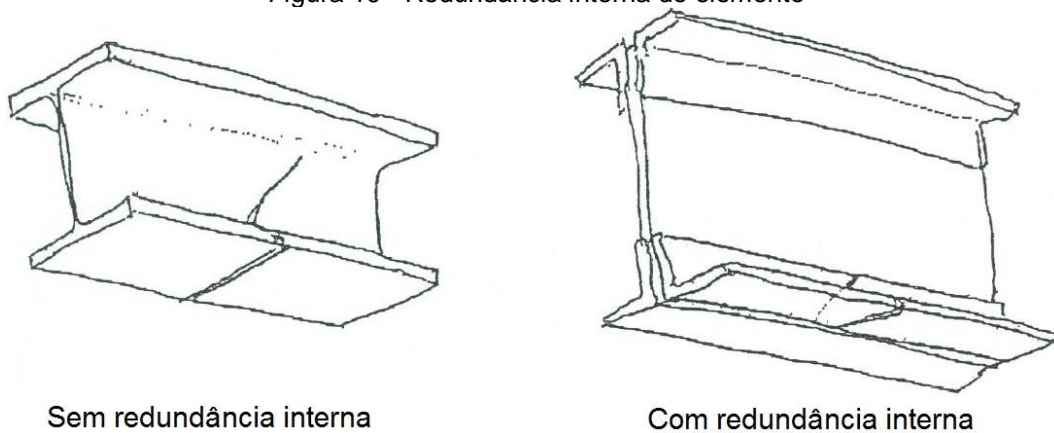
Figura 18 - Redundância estrutural



Fonte: AREMA (2008)

Também podemos ter a redundância interna do elemento quando ele é composto por vários outros componentes fixados mecanicamente, como em perfis compostos, onde múltiplos caminhos de carga podem ser formados, e a falha de uma componente não causaria a falha total do elemento. Uma longarina rebitada constituída de quatro cantoneiras e uma chapa é redundante internamente. Caso uma trinca se desenvolva em uma cantoneira, ela não irá se propagar para a alma ou para a cantoneira adjacente. Em uma longarina de perfil laminado ou soldado, uma trinca desenvolvida na aba propagará através da alma até a sua falha, como visto na Figura 19.

Figura 19 - Redundância interna do elemento



Fonte: AREMA (2008)

Na Figura 20 pode ser observado o tempo de propagação na trinca na chapa do reparo na alma da longarina. As datas estão na referencia mês-dia-ano.

Figura 20 - Avanço da trinca na alma da longarina em local reparado com chapa parafusada



Fonte: AREMA 2008

A classificação da OAE sob o aspecto das trincas segundo o parâmetro estrutural se dá conforme apresentado no Quadro 3.

Quadro 3 - Classificação da OAE sob o aspecto das trincas segundo o parâmetro estrutural

Trincas		
Nota de classificação	Condição	Caracterização estrutural
5	Excelente	Não apresenta trincas.
4	Boa	Ocorrência de trincas em fase inicial em elemento estrutural secundário com redundância.
3	Regular	Ocorrência de trincas em fase inicial em elemento estrutural secundário sem redundância. Ocorrência de trincas em fase avançada em elemento estrutural secundário com redundância.
2	Ruim	Ocorrência de trincas em fase avançada em elemento estrutural secundário sem redundância. Ocorrência de trincas em fase inicial em elemento estrutural principal com redundância.
1	Crítica	Ocorrência de trincas em elemento estrutural principal sem redundância. Ocorrência de trincas em fase avançada em elemento estrutural principal com redundância.

- Condição regular

A Figura 21 apresenta a ocorrência de trincas em fase inicial em uma ligação de um contraventamento, que é um elemento estrutural secundário sem redundância, o que caracteriza a condição regular.

Figura 21 - Trinca na ligação do contraventamento inferior



Fonte: autor

- Condição ruim

A Figura 22 mostra a ocorrência de trincas em fase inicial em elemento estrutural principal com redundância, no caso longarinas constituídas por perfis compostos. Já a Figura 23 mostra uma trinca avançada em uma transversina (elemento secundário) sem redundância. Estas situações configuram condições ruins relativamente a trincas.

Figura 22 - Trinca na alma e na mesa do longarina de perfil composto (com redundância interna)



Fonte: autor

Figura 23 - Trinca em elemento secundário sem redundância



Fonte: AREMA 2008

- Condição crítica

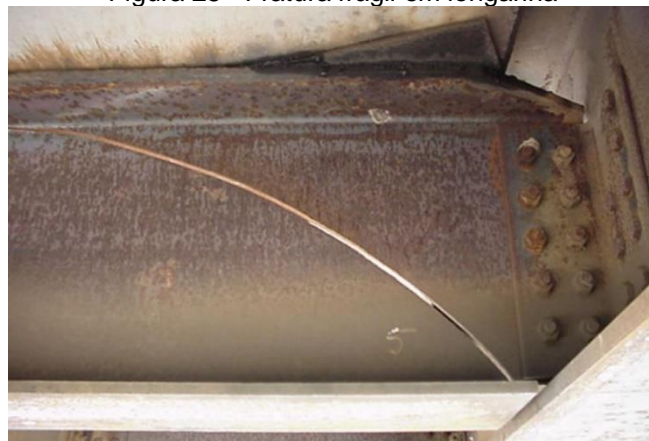
A Figura 24 e a Figura 25 apresentam ocorrências de trincas em elemento estrutural principal (longarinas) sem redundância, que configuram condições críticas da estrutura em relação à anomalia trincas.

Figura 24 - Trinca na alma da longarina de perfil laminado (sem redundância interna)



Fonte: autor

Figura 25 - Fratura frágil em longarina



Fonte: AREMA 2008

### 3.1.2.4 Outro

O campo outro ficou para o inspetor relatar anomalias diferentes aos campos existentes, como por deslocamentos excessivos causados por sobrecarga (Figura 26), deformações por impacto (Figura 27) onde se vê uma estrutura danificada por uma enchente e ruptura de elementos (Figura 28).

Figura 26 - Deslocamento excessivo do aparelho de apoio



Fonte: AREMA 2008

Figura 27 - Dano na corda inferior causado por enchente



Fonte: AREMA 2008



Figura 28 - Diagonal rompida



Fonte: autor

### 3.2 CLASSIFICAÇÃO DA OAE

Para as duas fichas de inspeção, a nota final da OAE deve ser a menor nota atribuída segundo os parâmetros avaliados. A planilha baseada na norma NBR 9452 apresenta um resumo da classificação da OAE segundo os parâmetros estrutural, funcional e de durabilidade, conforme apresentado na Figura 29.

Figura 29 - Classificação da OAE segundo a NBR 9452

PARTE III – Classificação da OAE			
Estrutural:	<input type="text"/>	Funcional:	<input type="text"/>
Durabilidade:	<input type="text"/>		

A planilha sugerida pelo autor apresenta um resumo com as classificações segundo os parâmetros estrutural e de durabilidade para três grupos principais de elementos: principal, secundário e complementar, como pode ser visto na Figura 30.

Figura 30 – Classificação da OAE sugerida

Caracterização	Estrutural	Durabilidade
Elemento principal		
Elemento secundário		
Elemento complementar		

A nota final da classificação da OAE baseia-se na pior situação detectada durante a inspeção.

#### 4. ESTUDO DE CASO

Para o estudo de caso foi selecionada uma ponte ferroviária com vão de 21 metros com o sistema estrutural do tipo treliça do tipo Warren com montantes com estrado inferior, característica bem comum para pontes deste porte do início do século 20. Este tipo de ponte foi adotado por ter um número maior de elementos estruturais em relação a uma ponte do tipo alma cheia. Através da inspeção desta ponte, busca-se apresentar o emprego das fichas de inspeção apresentadas neste trabalho e exemplificar a aplicação dos procedimentos de avaliação das anomalias e avaliar e comparar a utilização das duas fichas de inspeção.

A ponte escolhida para ser inspecionada foi a do km 257+850 na linha da FCA, no município de Andrelândia, no estado de Minas Gerais no trecho ferroviário entre as cidades Barra Mansa e Arcos, apresentada na Figura 31.

Figura 31 - Vista da ponte do km 257+850



Fonte: autor

##### 4.1. Ficha de inspeção baseada na norma NBR 9452.

A Figura 32 apresenta a ficha de inspeção baseada na norma NBR 9452 preenchida. Pode-se observar que o preenchimento indica que o principal problema desta ponte é devido à questão estrutural.

Figura 32 - Inspeção da ponte do km 257+850 com a ficha baseada na NBR 9452

<b>FICHA DE INSPEÇÃO ROTINEIRA</b>			
Data:	<input type="text" value="29/01/2018"/>	Responsável pela OAE:	<input type="text" value="FCA"/>
Responsável (Inspetores):	<input type="text" value="William Fonseca"/>		
<b>PARTE I - Informações gerais</b>			
<b>A - Identificação e Localização</b>			
Corredor:	<input type="text" value="Minas Rio"/>	SB:	<input type="text" value="ELN-ESV"/>
km:	<input type="text" value="257+900"/>	Identificação:	<input type="text"/>
<b>B - Histórico de Inspeções</b>			
Inicial:	<input type="text"/>	Útima rotineira:	<input type="text"/>
Especial:	<input type="text"/>		
<b>C - Descrição das intervenções executadas ou em andamento</b>			
Reparos:	<input type="text" value="Substituição da diagonal #1 da treliça #2; Aplicação de chapa na corda superior da treliça #2 devido a corrosão; Substituição de alguns rebites por parafusos em ligações de longarina com transversina; Pintura pontual em alguns elementos da estrutura."/>		
Reforços:	<input type="text" value="Reforço realizado em alguns elementos na treliça #2, provavelmente devido a colisão de veículo;"/>		
<b>PARTE II - Registro e classificação de manifestações patológicas</b>			
<b>A - Elementos estruturais</b>			
	<b>Estrutural</b>	<b>Funcional</b>	<b>Durabilidade</b>
Superestrutura:	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="5"/>	<input type="text" value="4"/>
Observações:	<input type="text" value="Sinais de três rebites bambos na ligação da longarina com transversina, sendo que em uma ligação de 6 rebites, dois aparentemente estão bambos; Corrosão moderada na corda inferior."/>		
Mesoestrutura:	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Observações:	<input type="text"/>		
Infraestrutura:	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Observações:	<input type="text"/>		
Aparelhos de apoio:	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Observações:	<input type="text"/>		
Juntas de dilatação:	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Observações:	<input type="text"/>		
Encontros:	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Observações:	<input type="text"/>		
Outros elementos:	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Observações:	<input type="text"/>		

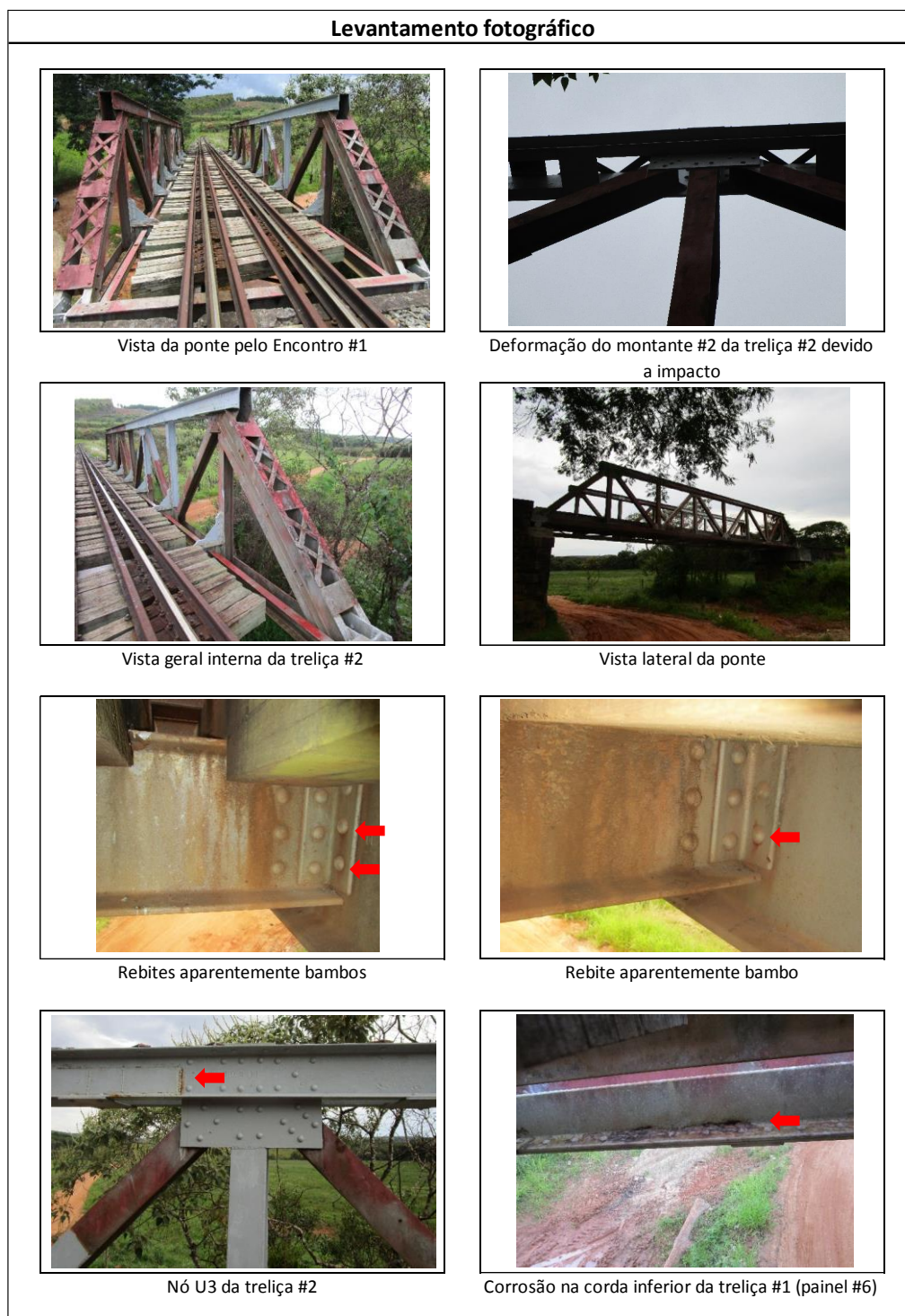
Fonte: autor

Figura 32 - Continuação

B - Elementos da plataforma ou funcionais	Estrutural	Funcional	Durabilidade
Superestrutura ferroviária:	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Observações:	<input type="text"/>		
Passarela e refúgio:	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Observações:	<input type="text"/>		
Drenagem:	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Observações:	<input type="text"/>		
Guarda-corpo	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Observações:	<input type="text"/>		
<b>C - Outros elementos</b>			
Taludes:	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Observações:	<input type="text"/>		
Drenagem:	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Observações:	<input type="text"/>		
Sinalização:	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Observações:	<input type="text"/>		
Gabaritos:	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Observações:	<input type="text"/>		
Proteção de pilares:	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Observações:	<input type="text"/>		
<b>D - Informações complementares</b>			
Deformação no montante #2 da treliça #2 devido a impacto.			
<b>E - Recomendações de terapia</b>			
Substituição de todos os rebites das ligações que apresentarem algum rebite bambo; Recuperação da área com corrosão na corda inferior com recomposição da seção perdida e pintura.			
<b>PARTE III – Classificação da OAE</b>			
Estrutural:	<input type="text" value="3"/>	Funcional:	<input type="text" value="5"/>
Durabilidade:	<input type="text" value="4"/>		
<b>Justificativas</b>			
Estrutural: A estrutura apresenta corrosão moderada na corda inferior da treliça #1 e sinais de dois rebites bambos em ligação de seis rebites (logarina com transversina).			
Durabilidade: A estrutura apresenta vários pontos de oxidação. Já é possível observar em grande parte da estrutura a camada de fundo da pintura.			

Fonte: autor

Figura 32 - Continuação



Fonte: autor

#### **4.2. Ficha de inspeção proposta.**

A Figura 33 apresenta a ficha de inspeção proposta neste trabalho preenchida. Pode-se observar que o preenchimento desta proposta abrange de forma mais detalhada os elementos da estrutura.

Pode-se observar que os itens da ficha são numerados, facilitando a identificação da anomalia em sua descrição no campo de observações e também a sua ilustração no levantamento fotográfico, o que faz com que o compartilhamento das informações obtidas no momento da inspeção sejam disponibilizados a todos os interessados no projeto de forma mais clara e objetiva.

Observa-se que o preenchimento da ficha para cada item de acordo com as condições apresentadas nos Quadros 1 a 3 facilita a padronização da inspeção, reduzindo o caráter subjetivo da mesma.





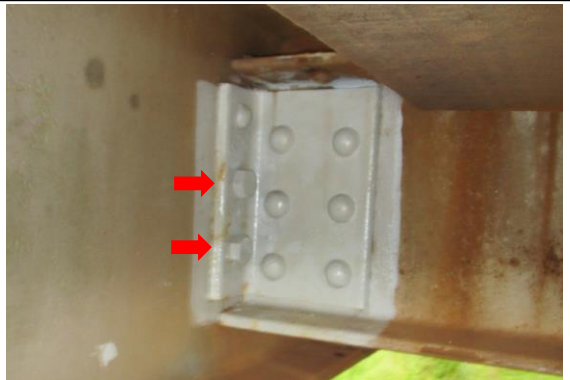

Por fim, pode-se observar que a utilização da ficha proposta leva à indicação de que a classificação da ponte se faz baseada na questão estrutural, que se impõe à questão de durabilidade, levando a uma conclusão similar à obtida com a utilização da ficha baseada na norma NBR 9452.

Figura 33 - Inspeção do km 257+850 com a ficha sugerida

FICHA DE INSPEÇÃO ROTINEIRA			Identificação:		
Corredor:	Supervisão:	SB:	Última inspeção rotineira		
Minas Rio	Lavras				
km:	Resp. pela OAE:	Responsável (Inspeção):	Data:		
257+900	FCA	William Fonseca	29/01/2018		
	<b>Caracterização</b>	<b>Estrutural</b>	<b>Durabilidade</b>		
	<b>Elemento principal</b>	<b>3</b>	<b>4</b>		
	<b>Elemento secundário</b>	<b>4</b>	<b>4</b>		
	<b>Elemento complementar</b>				
<b>1 SUPERESTRUTURA</b>					
<b>1.1 Metálicas</b>					
<b>1.1.1 Treliza</b>					
	<b>Caracterização</b>	<b>Estrutural</b>			<b>Durabilidade</b>
	<b>Anomalia</b>	<b>Corrosão</b>	<b>Ligações</b>	<b>trincas</b>	<b>Outras</b>
	<b>Corrosão</b>				<b>Corrosão</b>
1.1.1.1	Corda Superior	Boa	Boa	Excelente	
1.1.1.2	Corda Inferior	Regular	Boa	Excelente	
1.1.1.3	Transversina	Boa	Boa	Excelente	
1.1.1.4	Longarina	Boa	Regular	Excelente	
1.1.1.5	Montante	Boa	Boa	Excelente	Boa
1.1.1.6	Diagonal	Boa	Boa	Excelente	
1.1.1.7	Tabuleiro Metálico				
1.1.1.8	Contraventamento Horizontal Superior				
1.1.1.9	Contraventamento Horizontal Inferior	Boa	Boa	Excelente	
1.1.1.10	Contraventamento Horizontal das longarinas				
1.1.1.11	Contraventamento Vertical				
1.1.1.12	Portal de entrada				
1.1.1.13	Passarela				
1.1.1.14	Guarda corpo				
<b>1.1.2 Alma Cheia/Viga Caixaão</b>					
	<b>Caracterização</b>	<b>Estrutural</b>			<b>Durabilidade</b>
	<b>Anomalia</b>	<b>Corrosão</b>	<b>Ligações</b>	<b>trincas</b>	<b>Outro</b>
	<b>Corrosão</b>				<b>Corrosão</b>
1.1.2.1	Viga principal				
1.1.2.2	Longarina				
1.1.2.3	Transversina				
1.1.2.4	Tabuleiro Metálico				
1.1.2.5	Contraventamento Horizontal Superior				
1.1.2.6	Contraventamento Horizontal Intermediário				
1.1.2.7	Contraventamento Horizontal Inferior				
1.1.2.8	Contraventamento Vertical				
1.1.2.9	Passarela				
1.1.2.10	Guarda corpo				
<b>Item Observações</b>					
1.1.1.1	Aplicação de reforço na corda superior da treliza #2 devido a corrosão;				
1.1.1.2	Corrosão pontual moderada na corda inferior;				
1.1.1.4	Sinais de três rebites bambos na ligação da longarina com transversina, sendo que em uma ligação de 6 rebites, dois aparentemente estão bambos;				
1.1.1.4	Substituição de alguns rebites por parafusos em ligações de longarina com transversina;				
1.1.1.5	Reforço realizado em alguns elementos na treliza #2, provavelmente devido a colisão de veículo;				
1.1.1.5	Deformação no montante #2 da treliza #2 devido a colisão;				
1.1.1.6	Substituição da diagonal #1 da treliza #2;				
	Pintura pontual em alguns elementos da estrutura.				

Fonte: autor



Figura 33 - Continuação

Levantamento fotográfico	
<p>Vista geral</p>  <p>Vista da ponte pelo encontro #1</p>	<p>Item 1.1.1.1</p>  <p>Reforço na corda superior da treliça #2</p>
<p>Item 1.1.1.2</p>  <p>Corrosão pontual moderada na corda inferior.</p>	<p>Item 1.1.1.4</p>  <p>Sinal de movimentação de dois rebites na ligação da longarina #2 com transversina #8 no painel #7</p>
<p>Item 1.1.1.4</p>  <p>Substituição de alguns rebites por parafusos</p>	<p>Item 1.1.1.5</p>  <p>Reforços realizados na treliça #2</p>

Fonte: autor



Figura 33 - Continuação

Levantamento fotográfico	
<p>Item 1.1.1.6</p>  <p>Diagonal #1 com sinal de substituição</p>	<p>Vista geral</p>  <p>Pintura pontual de alguns elementos</p>
<p>Item 1.1.1.5</p>  <p>Deformação do montante #2 da treliça #2 devido a impacto</p>	<p>Item 1.1.1.5 e 1.1.1.6</p>  <p>Reforço em diagonais e montantes da treliça #2</p>
<p>Item 1.1.1.4</p>  <p>Rebite com sinal de movimentação na ligação da longarina #1 com a transversina #8 no painel #8</p>	<p>Item 1.1.1.9</p>  <p>Vista do contraventamento inferior</p>

Fonte: autor

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As pontes permitem transpor obstáculos naturais e artificiais permitindo a circulação de pessoas e bens fundamentais ao desenvolvimento. O Brasil possui um grande número de pontes metálicas ferroviárias que representam bilhões de reais em patrimônio. Este parque de ativos deve ser gerenciado de forma a se obter a máxima durabilidade com o menor investimento. Para se obter a máxima eficiência no processo de manutenção de uma ponte, deve-se trabalhar em todo o seu ciclo de vida, desde sua concepção. Segundo Sitter (1984), a evolução dos custos de manutenção em função da fase da vida da estrutura segue uma progressão geométrica de razão cinco, conhecida como “Lei dos 5” ou Regra de Sitter. Com isto, entende-se que se identificarmos uma patologia e conseguirmos tratá-la com manutenções preventivas, teremos uma economia significativa se compararmos o tratamento desta mesma anomalia em uma manutenção corretiva.

Tendo em vista que existem mais de seis mil pontes metálicas ferroviárias no Brasil, este trabalho buscou apresentar uma proposta de ficha de inspeção rotineira para pontes metálicas ferroviárias devido à importância da inspeção em qualquer sistema de gestão de pontes.

Os sistemas de gestão de pontes são ferramentas complexas de serem implementados, devendo ser realizado de forma sequencial e ordenada. Deve-se criar uma base de dados com o cadastramento de todas as pontes conforme recomendações do sistema de avaliação e decisão.

Ao longo deste trabalho procuraram-se metodologias de inspeção de pontes metálicas ferroviárias no Brasil e em países que possuem este processo mais desenvolvido, tentando consolidar as boas práticas adotadas na ficha proposta. Como os procedimentos de inspeção de pontes de concreto estão um pouco mais desenvolvidos, foi utilizada norma NBR 9452, que trata do assunto, como referência para elaborar uma planilha de inspeção da superestrutura de pontes metálicas ferroviárias, com o objetivo de viabilizar a criação e a implementação de um sistema de gestão de pontes, sem considerar o tipo de material empregado em sua construção. Para isto, as informações sobre as pontes, no âmbito nacional, devem estar uniformizadas para alimentar os sistemas de gestão e priorização.

Conforme mostrado no estudo de caso a classificação da ponte, utilizando os critérios da NBR 9452, foi 3 (regular) para o parâmetro estrutural, 5 (excelente) para o parâmetro funcional e 4 (boa) para o parâmetro de durabilidade.

Já para a ficha de inspeção proposta temos duas classificações, segundo os parâmetros estrutural e de durabilidade. Como há uma subdivisão dos elementos em principal, secundário e complementar, podemos ter até seis notas para cada ponte. No caso da ponte inspecionada, como não temos elementos complementares, a ponte tem apenas quatro notas, que indicaram classificação 3 (regular) para elementos principais e 4 (boa) para elementos secundários. Quanto ao parâmetro de durabilidade, classificação 4 (boa) para elementos principais e secundários.

Desta forma, observando apenas a classificação das duas planilhas podemos ressaltar que elas convergem para a mesma classificação, o que indica a viabilidade da utilização em um sistema de gestão único para pontes metálicas e de concreto. Considerando o aspecto da manutenção, a planilha sugerida fornece mais subsídios ao sistema de gestão, ajudando a estabelecer qual tipo de manutenção será necessária em determinada ponte.

São sugestões para continuidade deste trabalho:

- Desenvolvimento de planilhas de inspeção de pontes metálicas considerando a mesoestrutura e infraestrutura;
- Desenvolvimento de algoritmos para detecção e classificação de anomalias baseadas em imagens;
- Aplicação da ficha de inspeção proposta a uma rede de OAE e o posterior desenvolvimento de modelos de previsão de vida útil que permitam acompanhar a degradação dessas pontes e determinar a priorização dos serviços de manutenção das mesmas;
- Desenvolvimento de modelos de degradação de pontes visando a implementação de conceitos de durabilidade frente à influência dos fatores ambientais locais;
- Avaliação da influência do microclima de uma OAE nas manifestações e evoluções das patologias;

- Elaboração de tabelas que relacionem os tipos de anomalias e ações de reparação com seus devidos custos para todos os elementos das pontes;
- Desenvolvimento da influência da perda de resistência devido a perda de seção efetiva devido a corrosão;
- Desenvolvimento de modelos de previsão de deterioração com base nos resultados de inspeções utilizando inteligência artificial.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, R. O. **Ruptura de longarinas metálicas nas pontes da superintendência regional de Curitiba no trecho de Paranaguá-Curitiba – Um colapso devido à fadiga.** Joinville, XXXIIº Reunião dos Redidentes – RFFSA.

AFONSO, D. F. **Verificação a fadiga de pontes metálicas ferroviárias.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre, 2007.

AMERICAN RAILWAY ENGINEERING AND MAINTENANCE OF WAY ASSOCIATION. **Bridge Inspection Handbook.** United States of America, 2008.

AMERICAN RAILWAY ENGINEERING AND MAINTENANCE OF WAY ASSOCIATION. **Manual for Railway Engineering.** United States of America, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9452:** Inspeção de Pontes, viadutos e passarelas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2016.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE. **Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias.** 2. ed. Rio de Janeiro. 2004. 253p.

GENTIL, V. **Corrosão.** Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 4a ed. Rio de Janeiro, Ed. Rio de Janeiro. p.341, 2003.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 12944-2:2017:** Paints and varnishes – Corrosion protection of steel structures by protective paint systems – Part 2: Classification of environments. 2017.

SITTER, WR. **Costs for service life optimization. The “Law of fives”.** In: CEB-RILEM. Durability of concrete structures. Proceedings of the international workshop held in Copenhagen, p. 18-20, Copenhagen, 1984.

Tabela: Extensão da malha concedida nas datas de cada concessão. Disponível em: [http://www.antt.gov.br/ferrovias/Concessoes\\_Ferrovias.html](http://www.antt.gov.br/ferrovias/Concessoes_Ferrovias.html). Acesso em: 15 maio 2017.

POÇAS, R. F. G. **Gestão do ciclo de vida de pontes**. Dissertação (Mestrado Engenharia Civil) – Universidade do Minho, Portugal, 2009.

PRAVIA, Z.M.C. **Estabilidade de Estruturas de Pontes Metálicas com Fraturas**. Tese de doutorado. Universidade Federal de Rio de Janeiro, COPPE. Programa de pós-graduação de Engenharia. Rio de Janeiro, 2003.

QUEIROZ, G; VILELA, P, M, L, **Ligações, regiões nodais e fadiga de estruturas de aço**. Belo Horizonte. Código Editora. 2012. 214p.

VLI, **Inspeção interna da ponte km 877+460**, Belo Horizonte, 2015.

