



Caio Neto Penna

Gabriel Vieira Santos

**Revisão bibliográfica a respeito do gerenciamento de
obra de artes especiais da malha rodoviária federal
brasileira sob administração pública**

Trabalho de Conclusão de Curso

Trabalho apresentado como requisito parcial à conclusão do curso de Engenharia Civil na Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

Orientador: Elisa Dominguez Sotelino
Coorientador: Cássio Marques Rodrigues Gaspar

Rio de Janeiro
Dezembro de 2021



Agradecimentos

Aos orientadores Elisa Sotelino e Cássio Gaspar, pelo suporte, compreensão, inspiração, críticas construtivas e encorajamento para realizar o desenvolvimento da pesquisa.

Ao Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Puc-Rio pelo excelente quadro de profissionais e pela infraestrutura adequada ao desenvolvimento de toda nossa capacitação como engenheiros civis.

Eu, Caio Penna, agradeço especialmente aos meus pais Alcimar Ferreira Penna e Teresinha Magda Neto Penna, à professora Elisa Sotelino por sua contribuição na minha formação pessoal e profissional ao longo dos três anos em que tive a honra de fazer parte dos seus grupos de pesquisa. Gostaria de agradecer também ao Gabriel Vieira, Rodrigo Vianna, Leonardo Dalzini e Santiago Arias pelos anos de amizade e companhia na graduação. Por fim, agradeço infinitamente ao meu Deus por todas as oportunidades ao longo da minha vida e por ter colocado essas pessoas maravilhosas na minha vida, que com certeza se tornaram especiais.

Eu, Gabriel Vieira, agradeço especialmente aos meus pais Gilberto Alves e Maria Vieira pelo amor, dedicação, valores, orientação e educação exemplar. Vocês são minhas maiores referências. Também agradeço à professora Elisa Sotelino e os amigos dos grupos de pesquisa, pela oportunidade de crescimento, melhor compreensão do método de construção científica, trabalhos inspiradores e suporte contínuo. Por último, agradeço aos amigos Caio Penna, Rodrigo Vianna, Guilherme Sant' Anna, Joshua Emmanuel e Arthur Lopes, pelos momentos inesquecíveis ao longo de toda essa etapa.



Resumo

A malha rodoviária federal brasileira é uma engrenagem imprescindível para o funcionamento e desenvolvimento do Brasil, país cuja base da economia são os *commodities*. Desta forma, a alocação dos limitados recursos direcionados às ações de expansão, manutenção e recuperação das pontes (componentes da malha) sob administração pública devem ser otimizados. Através de uma revisão bibliográfica, o presente trabalho busca apresentar uma breve contextualização do cenário atual das pontes da malha rodoviária federal brasileira, a importância da manutenção de pontes de concreto armado, elucidar quais os alicerces para um eficiente sistema de gestão de Obras de Arte Especiais (OAE's) e sintetizar o funcionamento do Sistema de Gestão de Obras de Artes Especiais (SGO) do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT.). Adicionalmente, metodologias alternativas e exemplos de sucesso de outros sistemas de gerenciamento foram avaliados em busca do estabelecimento de métricas de comparação qualitativas.

Palavras-chave: malha rodoviária federal brasileira; gerenciamento de pontes; sistemas de gestão de pontes; gestão de pontes no Brasil.



Abstract

The Brazilian federal highway network is crucial for the operation and development of Brazil, a country whose economy is based on *commodities*. Thus, the allocation of limited resources directed to the actions of expansion, maintenance, and recovery of bridges (components of the highway network) under public administration should be optimized. Through a literature review, the present work seeks to present a brief contextualization of the current condition of the bridges of the Brazilian federal highway network, elucidate the foundations for an efficient bridge management program, and synthesize how the Brazilian's national department of infrastructure bridge management system (SGO) functions. Additionally, alternative methodologies and successful examples from other countries' bridge management systems were evaluated aiming at the establishment of qualitative comparison metrics.

Keywords: Brazilian federal highway network; bridge management; bridge management systems; bridge management program in Brazil.



SUMÁRIO

1	Introdução.....	1
1.1	Objetivo.....	2
2	Revisão de literatura	3
2.1	Pontes da malha rodoviária federal brasileira	3
2.2	A manutenção de pontes de concreto armado no brasil.....	8
2.3	Sistemas de gestão de pontes.....	14
2.4	Gestão de obras de arte especiais no brasil	21
2.5	Metodologias alternativas	26
3	Discussão	32
4	Conclusão	35
5	Referências bibliográficas.....	36



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição do índice de condição gerais levantados a partir dos inventários individuais das pontes. (OLIVEIRA, et al., 2019).....	1
Figura 2 - Taxa de incidência das principais patologias (cerca de 75% dos 20389 defeitos registrados). (OLIVEIRA, et al., 2019).....	4
Figura 3 - Componentes das pontes do inventário que apresentaram a maior frequência no registro de danos. (OLIVEIRA, et al., 2019).....	4
Figura 4 - Correlação entre o IC e os elementos estruturais com maior incidência de defeitos associados.....	5
Figura 5 - Associação entre as patologias mais recorrentes e os elementos estruturais com maior registro de danos	5
Figura 6 - Aspectos da Gestão de OAEs do PROARTE.....	22
Figura 7 - (a) Mapa rodoviário do Brasil. Fonte: (INFRAESTRUTURA, MINISTÉRIO DA, 2019) .(b) Malha rodoviária federal estratégica. Fonte: (PEREIRA, et al., 2017).	24
Figura 8 - Mapa dos Polos Concentradores de Tráfego. Fonte: (PEREIRA, et al., 2017)	25
Figura 9 - Protocolo estabelecido no software STARt 2.3.4 para hierarquização dos artigos importados da base de dados do Scopus realizada.	28
Figura 10 - Relatório do software STARt 2.3.4 referente à etapa de seleção dos artigos. Essa etapa foi norteada pelos critérios de aceitação previamente estabelecidos.	



Figura 11 - Relatório do software STARt 2.3.4 referente à etapa de extração dos artigos. Essa etapa foi norteadada pelos formulários de extração previamente estabelecidos. 29

Figura 12 - Agentes atuantes na deterioração das pontes de concreto armado e catalizadores 32



ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Instruções para atribuição das notas das inspeções. Adaptado de (DNIT, 2004)	1
Tabela 2 - Algumas das características geométricas das pontes do inventário. Adaptado de (OLIVEIRA, et al., 2019).....	3
Tabela 3 - Número bruto de registros patológicos dos tabuleiros, longarinas e encontros (terceiro nesse ranking). com $IC \leq 3$. Adaptado de (OLIVEIRA, et al., 2019)	6
Tabela 4 - Ocorrência de patologias na superestrutura das pontes (VITÓRIO, 2008)	7
Tabela 5 - Distribuição do IC por carga de projeto (OLIVEIRA, et al., 2019).	8



SIGLAS

AASHTO - *American Association of State Highway and Transportation Officials*

CONCER – Companhia de Concessão Rodoviária Juiz de fora-Rio

DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem

DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

IC – Índice de condição

MRFE – Malha Rodoviária Federal Estratégica

NBR – Norma técnica brasileira

OAE - Obras de Arte Especiais

PCT – Polos Concentradores de Tráfego

PNMR - Plano Nacional de Manutenção Rodoviária

PROARTE - Programa de Manutenção e Reabilitação de Estruturas

RNA - Redes neurais artificiais

SGO - Sistema de Gestão de Obras de Arte Especiais

SGP – Sistema de Gestão de Pavimentos

TB-XX– Carga do veículo de projeto com XX toneladas

UFMG - Universidade Federal de Minas Gerais



1 Introdução

Tendo como base econômica do país os *commodities*, a malha rodoviária federal brasileira, totalizada em mais de 75.800 de quilômetros de extensão, é um lastro vital para o funcionamento e desenvolvimento do país. Os investimentos públicos para expansão, manutenção e recuperação da malha e seus componentes de infraestrutura, cujos valores ultrapassaram as cifras dos R\$ 7,5 bilhões em 2018, reiteram sua imprescindibilidade (GOV, 2019). Dentro desse contexto, a eficiência da alocação dos recursos torna-se um aspecto crucial para garantir a correta funcionalidade do sistema segundo as métricas estabelecidas pelo Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER, 1996).

Seja na transposição de obstáculos naturais ou artificiais, pontes são componentes de infraestrutura fundamentais para a manter o caráter contínuo da malha rodoviária. A análise do impacto do colapso de uma ponte para uma rodovia, objeto de estudos como em Samboni et al. (2020), enfatiza a essencialidade de um programa de manutenção eficiente para essas OAEs. Pode-se concluir, portanto, que criar mecanismos que otimizem a vida útil de pontes é uma das metas primordiais para um alinhamento entre as práticas base da engenharia atual: segurança, preservação do meio ambiente e eficiência de custos.

Segundo Oliveira et al. (2018), no último inventário de pontes levantado pelo DNIT em 2017 foi informado que o Brasil possui cerca de 4.725 pontes sob administração pública federal, das quais 2.007 (cerca de 42%) precisam de serviços de manutenção. Levando esse fato em consideração em conjunto com o orçamento anual limitado para manutenção de pontes, é necessário planejar anualmente as pontes que passarão por algum tipo de intervenção, de maneira a evitar manutenções tardias, consequentemente



economizando custos operacionais para a manutenção, custo com material excessivo e evitando procedimentos mais onerosos para o reparo das estruturas.

Tendo em vista a importância das pontes para a malha rodoviária, o DNIT criou uma ramificação dentro do Plano Nacional de Manutenção Rodoviária (PNMR) com o módulo do SGO. Em conjunto, foi criado o Programa de Manutenção e Reabilitação de Estruturas (PROARTE), responsável pela gestão de serviços de manutenção e de reabilitação em Obras de Arte Especiais que integram a malha rodoviária federal em todo território nacional.

1.1 Objetivo

O presente trabalho tem por objetivo apresentar uma revisão bibliográfica a respeito da condição das pontes da malha rodoviária federal brasileira sob administração do DNIT (âmbito público), com ênfase nas etapas de gestão e manutenção. Para isso, um amplo levantamento foi realizado para, além de avaliar criticamente esses aspectos, verificar alternativas que otimizem todo esse processo. Desta maneira, metodologias alternativas e exemplos de sistemas bem-sucedidos em outros países (como o *Pontis Bridge Management System* – Estados Unidos) foram tomadas como as principais métricas de comparação.



2 Revisão de literatura

2.1 Pontes da malha rodoviária federal brasileira

Ter o conhecimento da condição atual das pontes da malha rodoviária do país é fundamental para as etapas subsequentes de planejamento e gerenciamento. Por essa razão, o DNIT estabeleceu o mais amplo banco de dados federal dentro do módulo do SGO. Este banco de dados se baseou na organização de inventários individuais de vistorias realizadas *in loco* para cada uma das pontes segundo os critérios preconizados pela IPR- 709/2004: Manual de inspeção de pontes rodoviárias (DNIT, 2004) e pela norma DNIT 010/2004 – PRO: Inspeções em pontes e viadutos de concreto armado e protendido – Procedimento (DNIT, 2004) (destacada pela amostragem significativa de pontes de concreto nas rodovias do país, conforme será apresentado ainda nessa sessão). Desta forma, as pontes são avaliadas utilizando uma abordagem discreta para os intervalos entre as vistorias (a cada ano para a condição de inspeção mais usual) e índices de condição (IC) atribuídos a cada um dos aspectos funcionais, de durabilidade e operacionais (notas de 1 a 5 e grau de severidade em escala decrescente) avaliados de acordo com o anexo C do manual de inspeção de pontes rodoviárias (DNIT, 2004). Desta forma, uma inspeção visual é realizada *in loco* seguindo os critérios apresentados na Tabela 1 -.



Tabela 1 - Instruções para atribuição das notas das inspeções.

Adaptado de (DNIT, 2004)

Notas	Dano 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	Obras sem problemas.
4	Há alguns danos, mas não há sinais de que estejam gerando insuficiência estrutural.	Nada a fazer, apenas serviços de manutenção.	Boa	Obras 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	Obras potencialmente problemática. Recomenda-se acompanhar a evolução dos problemas através das inspeções rotineiras, para detectar, em tempo hábil, um eventual agravamento da
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 são recomendáveis para monitorar os
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,



As principais características do citado banco de dados do DNIT foram sintetizadas através de um detalhado levantamento do inventário de 2017 realizado por pesquisadores brasileiros da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) (OLIVEIRA, et al., 2019). Nesse inventário, um total de 4.725 pontes foram registradas, totalizando 65,53 km de extensão o que representa cerca de 80% das pontes da malha rodoviária federal brasileira. Pontes com registro de idade representam apenas 1.032 (21,8% da amostragem total) sendo, dentre as registradas, cerca de 25,7% pontes construídas anteriormente à 1960 e 51,5% construídas entre 1960 e 1975. A distribuição do IC dessas pontes segue as proporções apresentadas na Figura 1 -. Esse índice indica que uma parcela significativa das pontes está concentrada em um ponto de atenção (IC = 3), ou seja, um ponto de inflexão que as delimita entre boas e más condições de conservação.

LEVANTAMENTO GERAL DO ÍNDICE DE CONDIÇÃO

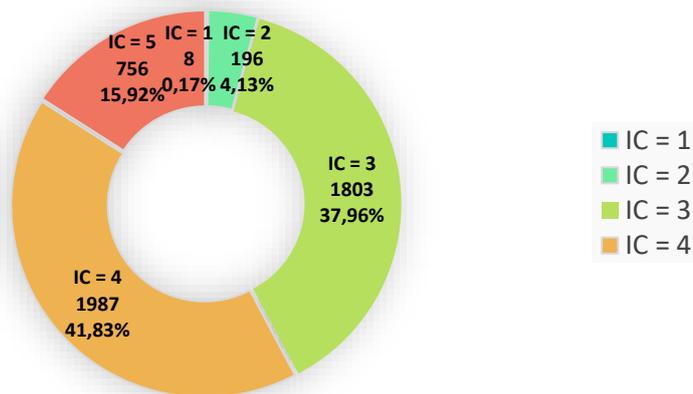


Figura 1 - Distribuição do índice de condição gerais levantados a partir dos inventários individuais das pontes. As notas seguem os critérios de avaliação apresentados na

Tabela 1 -

Adaptado de (OLIVEIRA, et al., 2019)



Dentro do aspecto da concepção estrutural, 99,2% foram detectadas como pontes de concreto armado. Os principais sistemas estruturais registrados foram 58,5% de pontes em viga, 16,4% de pontes em laje, 13,2% de pontes protendidas e 11,9% em outros sistemas construtivos. Está é uma forte corroboração do motivo pelo qual os agentes patológicos que envolvem os processos de degradação do concreto, os mecanismos de prevenção e manutenção e todos os demais tópicos relacionados recebem uma demasiada ênfase nas pesquisas e projetos de desenvolvimento do setor em todo o território nacional.

Do ponto de vista geométrico, a Tabela 2 -2 apresenta algumas características sobre os componentes típicos e das condições de transposição das pontes do inventário. Entre esses valores, é notória a desconformidade de parte significativa das pontes no que tange às recomendações normativas em vigor quanto ao tamanho mínimo dos acostamentos (que deveriam ser iguais ou maiores do que 2,5 m) ou a ausência deles, largura das faixas de rolamentos (que deveriam ser iguais ou maiores a 3,6 m), defensas fora das condições de operação exigidas, presença de aparelho de apoios (em apenas 53% de pontes do total onde a verificação era acessível) e drenagem insuficiente (em muitos casos devido à obstrução dos buzinetes, calhas e demais componentes de drenagem).



Tabela 2 - Algumas das características geométricas das pontes do inventário.

Adaptado de (OLIVEIRA, et al., 2019)

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS	
Sem acostamento:	60,0%
Acostamento < 2,5m:	28,0%
Duas faixas de tráfego:	93,0%
Largura da faixa < 3,6m:	35,0%
Defensas obsoletas:	42,0%
Presença de apoios de neoprene:	67,0%
Drenagem insuficiente	14,4%
Pontes sobre rios:	80,2%
Pontes sobre estradas:	15,9%
Pontes sobre ferrovias	3,2%
Sobre superfícies planas:	80,0%

Quanto aos defeitos, um total de 20.389 foram registrados. Destes, é majoritário o percentual de defeitos associados à corrosão das barras e à degradação do concreto (66%) frente aos 9,4% de defeitos associados à expansão das juntas, o segundo mais observado. Os gráficos a seguir apresentam a síntese de alguns valores de referência das patologias mais recorrentes (Figura 2 -), dos componentes das pontes do inventário mais danificados (Figura 3 -), da correlação entre os elementos estruturais e o IC (Figura 4 -) e as patologias associadas aos elementos estruturais com maior registro de danos (Figura 5 -).



TAXA DE INCIDÊNCIA DAS PRINCIPAIS PATOLOGIAS

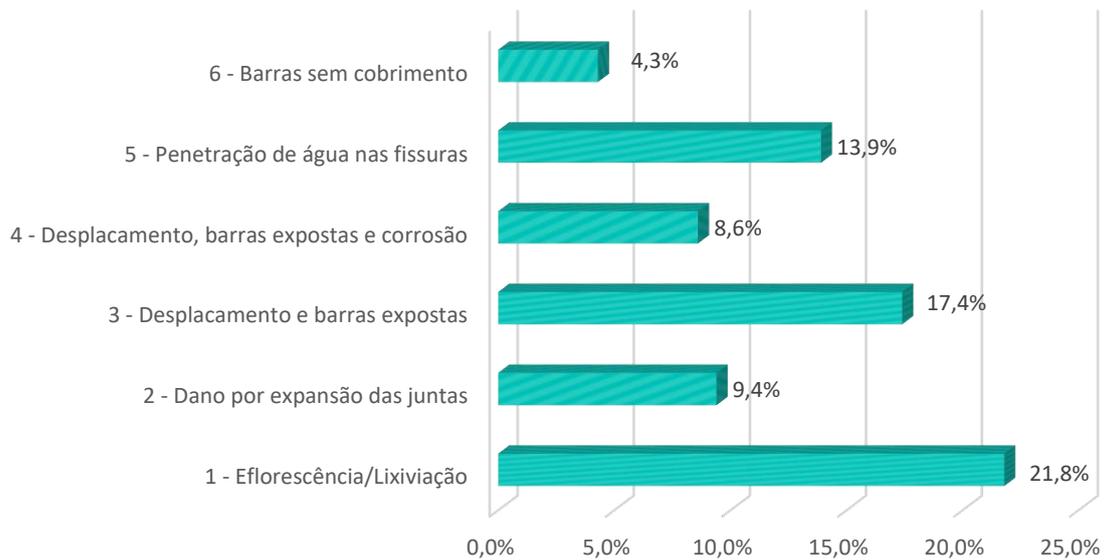


Figura 2 - Taxa de incidência das principais patologias (cerca de 75% dos 20389 defeitos registrados).

Adaptado de (OLIVEIRA, et al., 2019)

COMPONENTES COM MAIOR RECORRÊNCIA DE DANOS



Figura 3 - Componentes das pontes do inventário que apresentaram a maior frequência no registro de danos.

Adaptado de (OLIVEIRA, et al., 2019)



ÍNDICE DE CONDIÇÃO POR ELEMENTO ESTRUTURAL

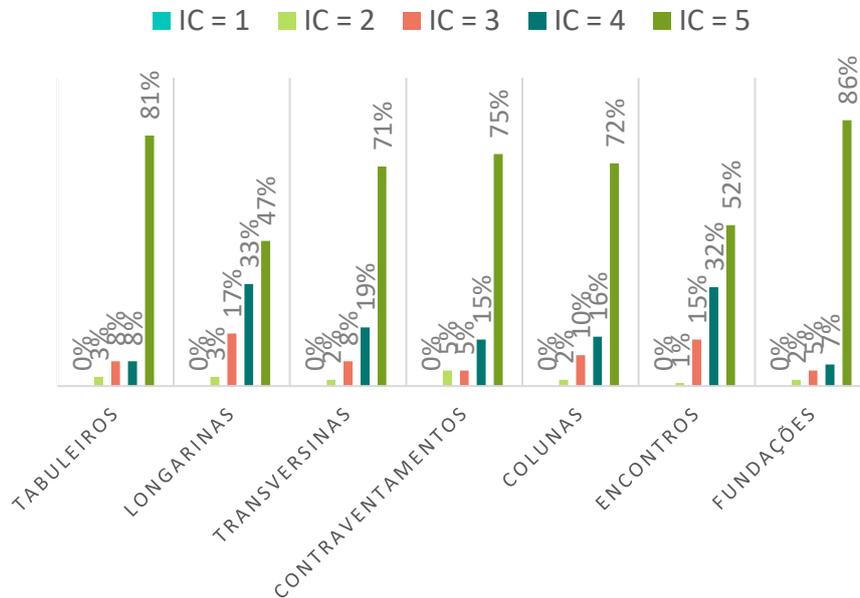


Figura 4 - Correlação entre o IC e os elementos estruturais com maior incidência de defeitos associados.

Adaptado de (OLIVEIRA, et al., 2019)

ELEMENTOS ESTRUTURAIS MAIS DANIFICADOS

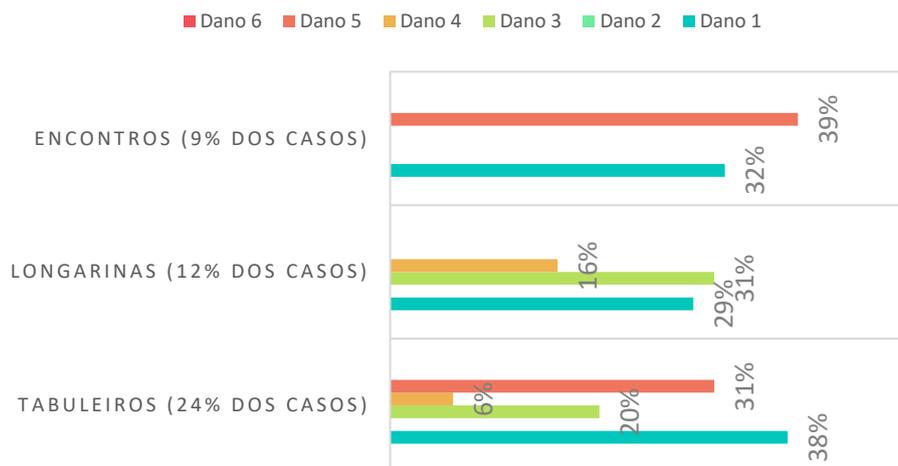


Figura 5 - Associação entre as patologias mais recorrentes e os elementos estruturais com maior registro de danos. A definição dos danos 1 ao 6 está apresentada na Figura 2 -.

Adaptado de (OLIVEIRA, et al., 2019)



Com base nesses levantamentos fica evidente que os danos relacionados aos demais elementos da infra, meso e superestrutura têm, somados, incidência equiparável em ordem de grandeza aos tabuleiros de concreto individualmente (vide figuras 3, 4 e 5). Contudo, quando se associam os tabuleiros de concreto com o IC, constata-se que uma elevada concentração desses elementos é categorizada com os índices que indicam um bom desempenho (IC = 4 e 5). Tendo como ponto focal de comparação os números brutos, porém, têm-se uma situação diferente. A Tabela 3 -apresenta um breve resumo de tais números levando em conta os elementos estruturais com maior ocorrência de 4983 registros de danos e quantos deles estão associados a IC iguais ou abaixo de 3.

Tabela 3 - Número bruto de registros patológicos dos tabuleiros, longarinas e encontros (terceiro nesse ranking). com $IC \leq 3$.

Adaptado de (OLIVEIRA, et al., 2019)

Elemento estrutural	Número total de dados registrados	% de registros com $IC \leq 3$	Números bruto de registros com $IC \leq 3$
Tabuleiros	4983	11%	548
Longarinas	2376	20%	475
Encontros	1804	16%	289

Logo, considerando os danos categorizados na zona de atenção ou abaixo dela ($IC \leq 3$), conclui-se que, do ponto de vista dos números brutos, as longarinas e os tabuleiros têm influências próximas para os IC gerais das pontes, ou seja, podem ser uma provável justificativa para a execução de uma rotina de manutenção. Uma ênfase para os tabuleiros e as longarinas também pode ser apontada quando se leva em consideração que os danos relacionados ao deslocamento do concreto e à exposição e corrosão das barras são mais acentuados nessas duas categorias e que estas são patologias com grande influência para a degradação de estruturas de concreto armado.



Corroborando com Oliveira et al (2019), Vitório (2008) avaliou o grau de risco estrutural de 40 pontes de concreto armado da malha rodoviária federal brasileira. O autor propôs a sua metodologia de análise considerando as variedades, intensidades e gravidades dos danos observados nos elementos estruturais, considerando ainda a importância do tipo do elemento estrutural para a estabilidade da obra.

Verificando a Tabela 4 -, cuja amostragem é consideravelmente inferior à do inventário apresentado em Oliveira et al (2019), é possível perceber que grande parte das pontes analisadas apresentaram danos relacionados à corrosão das armaduras de aço e degradação das longarinas (vigas principais), transversinas e tabuleiros. Em conformidade com as pontes do banco de dados analisado anteriormente, as pontes deste trabalho também foram construídas entre 1950 e 1970 e apresentaram incidência de patologias da mesma natureza.

Tabela 4 - Ocorrência de patologias na superestrutura das pontes (VITÓRIO, 2008)

Tipo de dano	Quantidade de Obras	%
Deslocamento do concreto - vigas principais	31	77,5
Deslocamento do concreto - lajes do tabuleiro	35	87,5
Deslocamento do concreto - transversinas	25	62,5
Fissuras - vigas principais	21	52,5
Fissuras - lajes do tabuleiro	15	37,5
Fissuras - transversinas	10	25,0
Oxidação de armaduras - vigas principais	31	77,5
Oxidação de armaduras - lajes do tabuleiro	25	62,5
Carbonatação	25	62,5

Contudo, ao fim, a ausência da análise dos aspectos mais subjetivos relacionados à funcionalidade de aparelhos secundários (guarda-corpos, buzinotes, pavimentos, aparelhos de apoio, dimensões das faixas de rolamento etc.) tornam inconclusivas mais conjecturas acerca da importância dos aspectos estruturais e os danos mais recorrentes (aqui enfatizados na questão da durabilidade).



Ainda em Oliveira et al (2019), uma estimativa razoável de 2.149 pontes (45% do total) com incidência de cargas elevadas, um aspecto que pode influenciar na durabilidade da estrutura em função da defasagem em relação às cargas de projeto (em vários casos inferiores ao TB-45, carga do veículo de projeto com 45 toneladas, da norma NBR 7188:2013 - Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas), também é um aspecto a ser destacado. Principalmente, quando se leva em consideração que cerca de 75% das pontes com idade conhecida foram construídas até 1975 e que a norma em vigor para a consideração das cargas móveis em projetos de pontes utilizada na época era a NB-6/1960, a qual previa uma sobrecarga máxima TB-36 (carga do veículo de projeto com 36 toneladas), é justificável a maior incidência de pontes com $IC \leq 3$ para as que possuem tal sobrecarga de projeto (Tabela 5).

CARGA	IC				
	1	2	3	4	5
TB-24	2%	10%	42%	38%	8%
TB-36	1%	4%	44%	43%	8%
TB-45	0%	2%	24%	47%	27%

Tabela 5 - Distribuição do IC por carga de projeto (OLIVEIRA, et al., 2019)

Ainda neste levantamento outras correlações foram apresentadas para avaliar a influência de outros fatores (como a localização geográfica e o clima) para IC das pontes. Porém, como foge do escopo deste tópico inicial, essas verificações podem ser conferidas no trabalho de referência (OLIVEIRA, et al., 2019).

2.2 A manutenção de pontes de concreto armado no Brasil

A manutenção das construções é um tema de grande relevância para a sociedade. Isso porque as construções degradam ao longo dos anos devido à exposição a intempéries,



solicitações de uso e a degradação natural dos materiais. Dessa forma, para que elas possam atender os seus respectivos propósitos de maneira segura, faz-se necessário o emprego de recursos para adequada manutenção.

No entanto, de acordo com Vitório (2008), no Brasil tem-se a cultura de construir e não realizar adequada gestão das construções. Investe-se tempo, energia e recursos na execução de obras, mas não é dada a devida importância em mantê-las em estado adequado de funcionamento. As principais consequências a longo prazo são a exposição da população ao risco de acidente e o elevado custo de manutenção.

Relacionado às pontes em específico, a falta de normas e estratégias eficientes voltadas para a conservação destas estruturas é um grande problema, justamente pela exposição de usuários a riscos de vida, interferência na cadeia produtiva do país e elevados custos de manutenção à longo prazo (VITÓRIO, 2008).

Quanto à manutenção e conservação de pontes, no Brasil, estes serviços são realizados quando a obra está próxima de atingir o estado limite de utilização ou quando acontece o colapso (VITÓRIO, 2008). Ainda, como observado por Vitório (2008) e Pacheco et. al. (2016), o tema “conservação de pontes” ganha evidência quando há a ocorrência de acidentes, como foi o caso do colapso da ponte dos Remédios sobre o rio Tietê, em 1997, que desde a sua construção, em 1968, nunca passou por serviços de manutenção.

Como mencionado anteriormente, em um trabalho conduzido por Vitório (2008), foram inspecionadas 40 pontes de concreto armado da malha rodoviária brasileira e calculado o risco estrutural delas. Os resultados indicaram que apenas uma ponte encontra-se em risco estrutural de colapso baixo (2,5%) e que 19 pontes (47,5%) se



encontram em situação de risco alto e crítico. Vale ressaltar que, segundo o autor, nenhuma destas pontes passou por qualquer tipo de manutenção ao longo da sua vida útil.

Ainda, como mostra a Tabela 4 -, grande parte das pontes apresentam patologias relacionadas à corrosão das barras de aço e à degradação do concreto. Estas patologias são decorrentes do envelhecimento da estrutura. Dessa forma, fica evidente que o avançado estado de degradação estrutural de grande parte dessas pontes é consequência da ausência de manutenção ao longo das décadas.

Em outro trabalho, Berenguer et. al. (2016) realizaram uma inspeção na ponte do Janga, em Recife/PE. Eles retratam também a ausência dos serviços de manutenção nesta estrutura ao longo de sua vida útil. Vale ressaltar que as patologias encontradas são relacionadas à corrosão das barras de aço da estrutura e à degradação do concreto, semelhantemente às 40 pontes de concreto armado mencionadas anteriormente. Logo, esta é mais uma provável conexão entre o estado das pontes de concreto armado da malha rodoviária brasileira e a ausência de serviços de manutenção nestas pontes.

É importante mencionar que é natural que as estruturas se degradem com o tempo e apresentem patologias. No entanto, manutenções preventivas amenizam a evolução das patologias e o envelhecimento das pontes. Assim, as pontes apresentam nível adequado de serviço para servir seu propósito de vencer obstáculos.

Em uma revisão de literatura a respeito de inspeção e manutenção de pontes, Pacheco et. al. (2016) buscaram traçar uma relação entre o risco de acidentes estruturais nas pontes e o estado avançado de degradação delas. Assim sendo, eles observaram que o nível de deterioração de pontes de concreto armado foi a causa de 8,5% dos colapsos de pontes nos EUA entre 1989 e 2000. No Brasil, os seguintes autores relataram os resultados de



três estudos pontuais. O primeiro deles, (MAGALHÃES, et al., 1989), trata da inspeção de 145 pontes de concreto armado em São Paulo, das quais 22 foram classificadas como em alto risco de colapso e 84 apresentam degradação por corrosão. Já o segundo, conduzido na cidade de Porto Alegre por Laner (2001), observou-se a degradação por corrosão em 60% das 46 pontes de concreto armado analisadas. Por fim, (VITÓRIO, et al., 2013) analisaram 100 pontes de concreto armado da malha rodoviária brasileira, das quais 56 apresentaram deterioração por corrosão e 38 são classificadas como problemáticas, que segundo o DNIT (norma 010/2004 – PRO) são obras em que: “Postergar demais a recuperação da obra pode levá-la a um estado crítico, implicando também sério comprometimento da vida útil da estrutura”.

A fim de complementar a revisão de literatura, foi feita uma entrevista com o engenheiro civil Alcimar Ferreira Penna, Gerente de Engenharia da Companhia de Concessão Rodoviária Juiz de Fora-Rio (CONCER). A CONCER gerencia 180,4 km da rodovia federal BR-040 (do Rio de Janeiro à Juiz de Fora), que se estende por 1179 km do Rio de Janeiro à Brasília, o que faz dela um importante eixo de integração do centro-sudeste brasileiro. Como gerente de engenharia, uma das responsabilidades do Alcimar é planejar a alocação anual de recursos para manutenção e operação do trecho da rodovia administrado pela CONCER.

A partir desta entrevista ficou evidente que substituir uma ponte é mais caro que realizar manutenções periódicas, uma vez que a substituição demanda a demolição da estrutura antiga e a construção de uma nova. Ainda, é necessário considerar também o custo operacional de substituir uma ponte, uma vez que neste caso é necessário prover uma ponte temporária e exigir redução de velocidade no trecho da rodovia em que a obra está situada, impactando o tráfego da rodovia.



A partir do que foi apresentado nesta seção, conclui-se que as pontes de concreto armado da malha rodoviária brasileira não costumam passar por manutenções até que se atinja um momento crítico da sua vida útil. Porém, a ausência de manutenções ao longo da vida útil de uma construção não é economicamente nem ambientalmente viável (PACHECO, et al., 2016).

É fato que substituir uma ponte é mais caro que realizar manutenções periódicas, uma vez que a substituição demanda a demolição da estrutura antiga e a construção de uma nova. Ainda, é necessário considerar também o custo operacional de substituir uma ponte, uma vez que será necessário prover uma ponte temporária e exigir redução de velocidade no trecho da rodovia em que a obra ocorre, impactando o tráfego da rodovia.

Além disso, tratando-se de refazer pontes, há ainda empecilhos jurídicos. Segundo Alcimar Ferreira Penna, para aprovação de projetos de substituição de pontes é necessário auditoria fiscal externa, com o objetivo de evitar a realização de obras com motivações ilícitas.

Em relação a viabilidade ambiental, considerando o impacto ambiental da cadeia produtiva dos materiais, da construção e do transporte até o local da obra, é evidente que substituir uma ponte causa mais impactos ao meio ambiente do que serviços periódicos de manutenção. Além disso, há o impacto ambiental da demolição, visto que há a geração de uma quantidade muito grande de resíduos que não são descartados adequadamente.

Além disso, segundo o Alcimar, tratando-se de substituir pontes, há ainda empecilhos jurídicos, uma vez que para aprovação de projetos de substituição de pontes é necessário



auditoria fiscal externa, com o objetivo de evitar a realização de obras com motivações ilícitas.

Dessa forma, planejar as manutenções e inspeções é o caminho mais viável considerando os impactos na cadeia produtiva do país, no orçamento disponível para gestão das pontes e no meio ambiente (PACHECO, et al., 2016). Ainda, como observado por Vitório (2008) a realização de manutenções preventivas ao longo da vida útil das pontes minimiza as avarias nas pontes e evitam o desperdício de recursos investidos em manutenção tardia, que na maioria dos casos não resolvem o problema integralmente. Além disso, de acordo com (VITÓRIO, 2008) o caminho para a solução do problema de manutenção de pontes de concreto armado no Brasil é o planejamento de ações de manutenção com base no estado de degradação e a previsão orçamentária das intervenções. Assim, os recursos disponíveis para manutenção de pontes seriam empregados de maneira eficiente e as pontes não ofereciam riscos à população e à cadeia produtiva do país.

É possível concluir com base no exposto acima que o problema principal da degradação das estruturas é relacionado à durabilidade e não a aspectos estruturais (PACHECO, et al., 2016). Ou seja, o problema é manter as estruturas em boas condições de uso para que elas não se degradem até um nível alarmante. No momento em que a estrutura atinge o nível alarmante, em um cenário onde não há manutenção preventiva, o problema passa a ser de segurança estrutural. Nesta fase do ciclo de vida aplicam-se as manutenções corretivas, que são mais onerosas. Dessa forma, como mencionado anteriormente, é mais econômico e conveniente trabalhar com manutenções preventivas, evitando a exposição da sociedade ao risco de vida e da economia brasileira ao risco de problemas de ordem logística no setor de transportes.



O parágrafo anterior resume sucintamente o cenário da gestão de pontes no Brasil. Levando em conta que as manutenções corretivas são mais onerosas do que as preventivas, o extenso número de pontes sob administração do DNIT e o orçamento limitado para a manutenção de pontes, é possível concluir que é um contexto delicado a tomada de decisão do DNIT com relação à gestão de pontes de concreto armado.

Ciente disso, o DNIT propôs uma maneira de planejar as pontes que passarão por processo de manutenção através do sistema de gestão de obras de arte especiais (SGO) e do programa de manutenção e reabilitação de estruturas (PROARTE). No entanto, como será visto nos tópicos seguintes, o SGO apresenta funcionamento limitado em comparação aos sistemas de gestão de pontes de outros países, limitando consequentemente a eficiência do PROARTE.

2.3 Sistemas de gestão de pontes

Como mencionado neste capítulo, na seção da análise das pontes da malha rodoviária brasileira, um grupo de pesquisadores da UFMG analisou o inventário das pontes federais do Brasil sob administração do DNIT (OLIVEIRA, et al., 2019). Foi relatado pelos autores, após uma extensa investigação, que 21,8% das pontes tiveram a idade reportada. A ausência da idade foi uma característica notada também por outro autor, cujo trabalho foi calcular o risco estrutural de 40 pontes na região nordeste do país (VITÓRIO, 2008). Isso é reflexo de um problema ainda maior, que é a ausência de documentação das pontes federais.



A falta de documentação é um grande empecilho para os gestores de rodovias, como o DNIT, e para empresas de engenharia que são contratadas para elaborar projetos de reforço, alargamento de tabuleiro ou apenas manutenção de reparo.

Para o DNIT é importante a documentação para hierarquizar as pontes que serão alvo de intervenção. Em um país como o Brasil, cujo cerca de 42% das pontes precisam de algum tipo de intervenção, otimizar o capital disponível para manutenções é uma tarefa muito importante. Isso porque o recurso anual disponível é escasso, dessa forma, é preciso planejar anualmente as pontes que passarão por algum tipo de intervenção.

Já para as empresas de engenharia contratadas para realizar projetos e obras de reforço, alargamento de tabuleiro ou apenas serviços de manutenção para reparo, os documentos existentes são um importante dado de entrada para o planejamento e a execução de seus serviços. Isso porque a equipe de engenharia responsável pelo desenvolvimento de projetos precisa de informações importantes contidas nestes documentos, como a capacidade de carga da ponte, por exemplo. Se a capacidade de carga não está disponível, será necessário realizar ensaios *in loco* para determiná-la, sendo que estes ensaios são rebuscados, e conseqüentemente mais onerosos que os ensaios convencionais não destrutivos, segundo Alcimar Ferreira Penna e (ESTEVEZ, et al., 2018). Ainda, ele mencionou que os ensaios dinâmicos demandam alto custo operacional por parte da concessionária da rodovia, visto que o tráfego sobre a ponte tem que ser interrompido durante a execução desses ensaios.

Frente a este cenário desafiador, foram criados os SGO, que têm como proposta propor mecanismos de auxílio aos gestores de pontes, os responsáveis técnicos que têm que lidar com o processo de tomada de decisão. Dentro da proposta elaborada por



Astroads (2015), os dados de projeto e construção, os inventários (com o histórico de inspeções e manutenções), tráfego, custos dos serviços, aspectos hidrográficos e todos os outros fatores relevantes abastecem um banco de dados integrado. Posteriormente esse banco de dados dá início ao processo de gerenciamento ao indicar os IC's gerais e dos componentes das pontes, os custos para usuário e para administradora e ao estabelecer uma correlação destes com as ações possíveis para resolução das problemáticas (em conformidade com as normas técnicas vigentes), o orçamento disponível e a geração de modelos de deterioração. Como saídas, têm-se a geração de relatórios desempenho (estrutural, manutenção, financeiro e de inspeções) e do planejamento com base nas ações necessárias, custos e possibilidades que, por fim, oficializam cronogramas físico-financeiros e concretizam as intervenções. Um loop é estabelecido a partir disso.

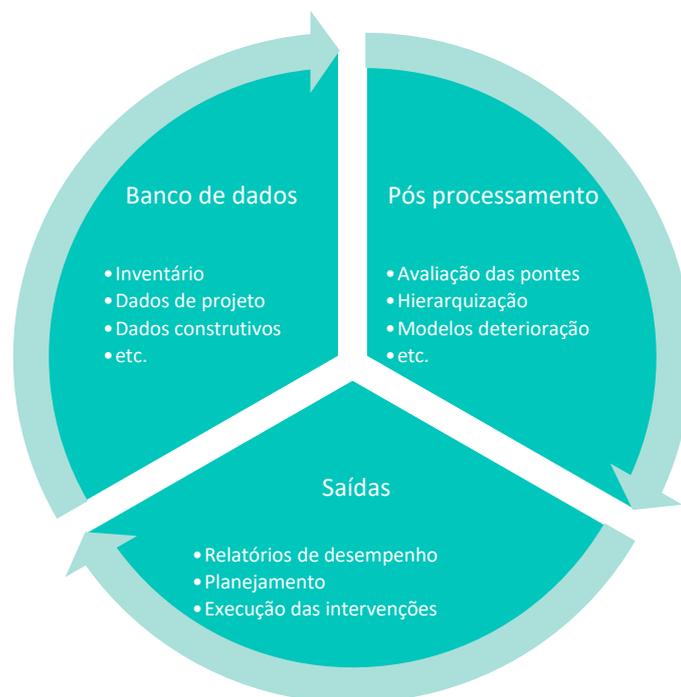


Figura 6 - Fluxograma representativo de um SGO

Adaptado de (ASTROADS, 2015)



Tendo isso em vista, é possível concluir que o funcionamento de um SGO exige um banco de dados com inspeções periódicas e ferramentas de pós-processamento desses dados para que o gestor tenha a maior riqueza de informações no traçado da estratégia de gestão de OAE. As duas etapas que precedem à intervenção humana são, portanto, imprescindíveis para a otimização do ciclo de vida das pontes sob a alçada de um determinado gestor.

Os bancos de dados são abastecidos de acordo com o fluxograma do SGO em questão. No SGO americano chamado *Pontis*, propriedade da *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) o banco de dados é abastecido pelos inspetores após uma campanha de inspeção (THOMPSON, et al., 1998). Com o pós-processamento, os dados são apresentados de maneira compreensível a um grande público, mostrando a longo prazo, de maneira simples, o impacto da gestão de pontes (THOMPSON, et al., 1998). BRIDGIT (EUA), FinnRABMS (Finlândia), KUBA (Suíça), DANBRO (Dinamarca) e GOA (Portugal) são exemplos de outros sistemas de gestão de pontes que partem desta mesma abordagem metodológica (SOBREIRO, 2011).

Vale ressaltar que antes dos cálculos da fase de pós-processamento, existe uma fase preparatória do banco de dados (OLIVEIRA, et al., 2019) (MOSCOSO, 2017). Por exemplo, bueiros e canais são categorizados como obras de arte especiais, porém não são tipos de estrutura analisadas por um SGO. Logo, é necessário filtrar os dados que serão analisados (MOSCOSO, 2017) pois, em função dos dados em branco, existem pontes que não dispõem de todas as informações necessárias (MOSCOSO, 2017).

Para que um SGO seja eficiente, como o *Pontis*, é necessário um banco de dados conciso e consistente. Para isso, é preciso abastecê-lo continuamente com informações



provenientes das inspeções, como a nota de avaliação dos inspetores (no Brasil, por exemplo, varia de 1 a 5, sendo 1 a pior condição e 5 a melhor) e a data da inspeção. Assim, será possível a aplicação de métodos de previsão da condição futura de deterioração da ponte (SOBREIRO, 2011).

De acordo com a o manual de avaliação de pontes da AASHTO (*Manual for bridge evaluation*) (AASHTO, 2013) para o desenvolvimento de um modelo de deterioração é preciso no mínimo de três campanhas de inspeção com índice de condição atribuído. No entanto, como indicado pela literatura, o banco de dados do sistema de gestão de pontes do DNIT não é alimentado o suficiente para a criação e aplicação de modelos de degradação, já que o referido banco de dados é abastecido com apenas um ciclo de inspeções (OLIVEIRA, et al., 2019).

Em relação ao abastecimento do banco de dados do SGO do DNIT, embora ele contenha pelo menos um ciclo de inspeções para determinadas pontes, o padrão normativo de abastecimento desde banco de dados é o de alimentá-lo apenas com inspeções cadastrais (DNIT, 2004). De acordo com a norma do DNIT para inspeção e manutenção de pontes de concreto armado e protendido (DNIT 010/2004 – PRO): “[...] os resultados da Inspeção Cadastral serão registrados em fichas específicas, padronizadas, para inclusão no SGO; [...]”. Ainda, sobre inspeções cadastrais a norma DNIT 010/2004 – PRO rege o seguinte: “[...] A Inspeção Cadastral é a primeira inspeção que se realiza em uma ponte e, preferencialmente ou mesmo, obrigatoriamente, logo após sua construção, quando ainda se encontram disponíveis os elementos de projeto e os relatórios da fiscalização ou supervisão, que devem conter todos os informes construtivos. [...]”.



Sob essa óptica, há uma evidência da falta de legislação e normas efetivas quanto a inspeções e manutenções de pontes. Isso porque deveria ser prevista a alimentação do banco de dados com inspeções rotineiras, além das cadastrais, e com fichas que colham as informações necessárias para criação de um banco de dados conciso e consistente. Conseqüentemente, a etapa subsequente (o pós-processamento) se torna refém das carências intrínsecas do banco de dados na elaboração de modelos de deterioração para o Brasil.

O pós-processamento dos dados envolve a utilização de ferramentas de análise gerencial, o que inclui a avaliação dos custos (construção, operação, manutenção, substituição, etc.), modelos de deterioração para previsão da vida útil e otimização para avaliação do desempenho e hierarquização de pontes considerando o impacto financeiro, o impacto para os usuários, a importância econômica de uma determinada rodovia para a região, a segurança e outros fatores (OLIVEIRA, et al., 2018).

No que tange aos modelos de deterioração, as ferramentas utilizadas frequentemente se baseiam na utilização dos dados das inspeções das pontes acessíveis. Isso ocorre em função da avaliação das influências individuais dos fatores como a posição geográfica, as patologias, o efeito da incidência de cargas elevadas, o clima, a variação da taxa de deterioração por região, tipologias construtivas e outros. Isto torna muito difícil o estabelecimento de modelos de deterioração aplicáveis de uma maneira generalista, ou seja, englobando também aspectos mais subjetivos relacionados à funcionalidade e operabilidade da ponte (como os guarda-corpos, os buzinos, as sinalizações etc.). Sendo assim, possuir acesso às linhas temporais com o registro das variações das condições das pontes é um pré-requisito para o estabelecimento de modelos de deterioração mais



generalistas. Dentro dessa abordagem para a obtenção de modelos, os mais usuais são os determinísticos, os estocásticos e os baseados inteligência artificial.

Segundo Oliveira (2018), os modelos determinísticos utilizam uma abordagem que busca tendências por meio de modelos estatísticos ou de regressão, sendo o mais usual o modelo baseado na regressão polinomial de terceira ordem. Essa regressão utiliza o histórico das pontes isoladamente para projetar o comportamento de todas as pontes e possibilita a verificação das conexões entre as taxas de deterioração e os tipos de sistemas estruturais, características do tráfego, concepções estruturais ou outros fatores internos ou externos. Os valores de retorno dos modelos determinísticos são fixos para o IC em que a ponte se encontra para o ano futuro em análise.

Os modelos estocásticos consideram a complexidade inerente do tratamento das taxas de influência de maneira individualizada e, por consequência, conjecturam modelos sob prismas probabilísticos. Astroads (2015) enfatiza que os processos mais apontados são os modelos de sobrevivência Weibull, Híbridos, Markov, Semi-Markov, Markov-Weibull e Processo Gamma . Os valores de retorno dos modelos estocásticos têm como base as probabilidades para as mudanças do IC.

Como mencionado na sessão 2.1, as inspeções de rotinas são discretas no tempo e na taxa de deterioração (IC da ponte). Em razão disto, a abordagem do problema com a maior recorrência na literatura segundo Sobreiro (2011), são um caso particular dos processos de Markov (que de forma generalista podem ser classificados em problemas discretos ou contínuos com relação ao tempo e às variáveis de entrada): as cadeias de Markov. Nessa abordagem, os modelos se baseiam em simulações da evolução dos estados de conservação das pontes (IC) para cada intervalo discreto de tempo desejado . Resulta



disto uma redução do grau de complexidade do problema e uma otimização da tratativa matemática, que expõe a probabilidade de transição entre os IC de uma determinada ponte (fluxo unidirecional no avanço da criticidade) a partir da construção de uma matriz de probabilidades. Mais detalhes desta tratativa podem ser encontrados em Sobreiro (2011).

Por último, os modelos de deterioração respaldados em inteligência artificial buscam identificar as relações entre os IC e as características geométricas, construtivas, estruturais, idade, localização, o volume de tráfego, o clima, a agressividade ambiental etc. para, por fim, prever a taxa de deterioração das pontes ao longo do tempo. Esses modelos buscam suprir as dificuldades inerentes do processo de correlação empírica, determinística ou estocástica anteriormente citados. Segundo apontado por Oliveira et al (2018), os modelos utilizados têm como fundamento as redes neurais artificiais (RNA) que se amparam da predição com base no IC passado (*Backward Prediction Model* ou BPM) ou nos históricos (*Case-based Reasoning Models* ou CBR). No que concerne aos demais detalhes dessa abordagem, o mesmo trabalho pode ser adotado como consulta inicial.

2.4 Gestão de obras de arte especiais no Brasil

A gestão das OAEs brasileiras sob administração pública federal é feita através do programa de manutenção e reabilitação de estruturas (PROARTE), que faz parte do PNMR do DNIT. O programa é responsável pela gestão dos serviços de manutenção e reabilitação das OAEs que integram a malha rodoviária federal brasileira. Segundo Hoffmann et. al. (2017), o método de classificação de estruturas para manutenção é subdividido em três instâncias, que são: gestão estratégica, funcional e operacional, como indica a Figura 7 -

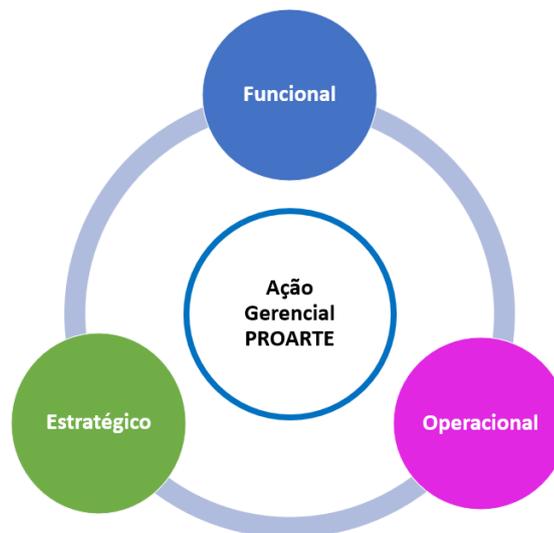


Figura 7 - Aspectos da Gestão de OAEs do PROARTE

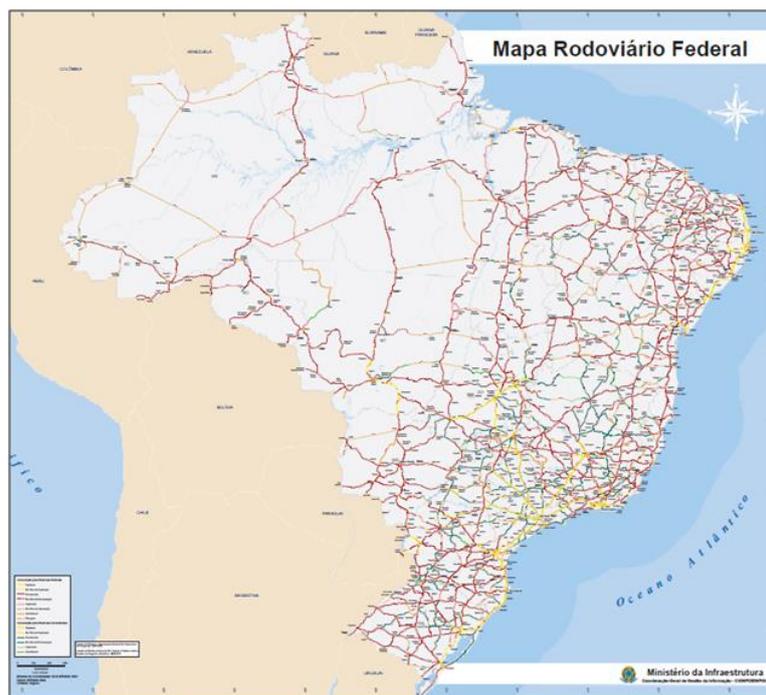
O Brasil é um país de dimensões continentais, logo a sua malha rodoviária segue as mesmas proporções. Ainda, o transporte rodoviário é o principal modal brasileiro, sendo utilizado fortemente para transporte de bens e pessoas. Dadas as proporções e a importância das rodovias brasileiras e frente ao cenário político-econômico dos dias atuais, gerir a malha rodoviária brasileira é um desafio complexo (PEREIRA, et al., 2017).

Dessa forma, os investimentos públicos precisam ser cada vez mais efetivos, visto que com uma intervenção precoce a vida útil restante dos materiais é desperdiçada e uma intervenção tardia acarreta reparos mais onerosos (PEREIRA, et al., 2017). Sob essa óptica, o DNIT desenvolveu uma metodologia de planejamento estratégico baseado em dois pilares, que são eles a malha rodoviária federal estratégica (MRFE) e polos concentradores de tráfego (PCT) (PEREIRA, et al., 2017).

A MRFE, segundo Pereira et. al. (2017,) é definida como o “[...] conjunto de rodovias federais consideradas essenciais para assegurar o atendimento às principais demandas de



circulação de bens e passageiros com o objetivo de integrar os grandes eixos nacionais estruturantes no modal rodoviário. [...]”. As rodovias que a compõem atendem aos seguintes requisitos: “promover a integração regional, interestadual e internacional; ligar capitais de Estados entre si ou ao Distrito Federal; atender a fluxos de transporte de grande relevância econômica; prover ligações indispensáveis à segurança nacional.”. Ainda, os autores ressaltam que dos 52.000 km de rodovias pavimentadas sob administração do DNIT, 76% constituem a malha rodoviária federal estratégica. Portanto, conclui-se que grande parte malha rodoviária brasileira faz parte da MRFE, como ilustra a Figura 8. Logo, foi necessário estabelecer mais um método de priorização, chamado polos concentradores de tráfego (PCT) (PEREIRA, et al., 2017).



(a)



(b)

Figura 8 - (a) Mapa rodoviário do Brasil. Fonte: (INFRAESTRUTURA, MINISTÉRIO DA, 2019) .(b) Malha rodoviária federal estratégica. Fonte: (PEREIRA, et al., 2017).

De acordo com Pereira et. al. (2017), o método dos polos concentradores de tráfego é uma maneira de hierarquizar rodovias em função do volume de tráfego, com o objetivo de determinar aquelas de maior relevância para o modal rodoviário no Brasil. Esta medida está alinhada com o objetivo de priorização de OAEs, ou seja, alocar os investimentos disponíveis de maneira eficiente a longo prazo em vista dos baixos recursos disponíveis (PEREIRA, et al., 2017).

Resumidamente, o PCT é fruto de uma análise sob critérios pré-determinados da sobreposição de mapas de área de influência de elementos de interesse (PEREIRA, et al., 2017). Estes elementos são: “Rodovias concedidas, principais portos, capitais, números



de leitos de hospedagem, produto interno bruto industrial, pecuária e produção agrícola”.

O PCT, mapa resultante do processo mencionado acima, está ilustrado na Figura 9 -.

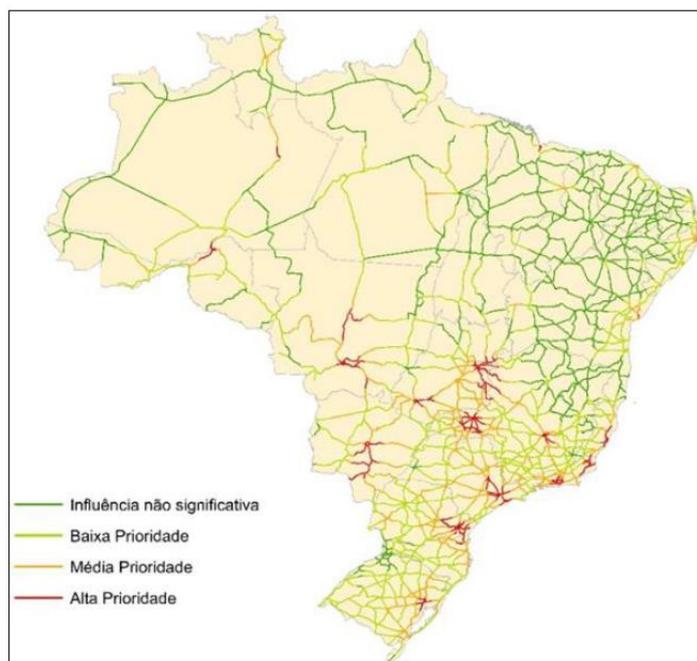


Figura 9 - Mapa dos Polos Concentradores de Tráfego. Fonte: (PEREIRA, et al., 2017)

Como mencionado anteriormente, há duas áreas de priorização de pontes do PROARTE em concomitância com a instância da gestão estratégica: a funcional e a operacional. Segundo Hoffmann et. al. (2017), o setor funcional é relacionado ao aspecto da condição de uso das pontes, dessa forma, para avaliá-la, são consultados dois bancos de dados do DNIT, o sistema de gestão de obras de arte especiais (SGO) e o sistema de gestão de pavimentos (SGP), para obter a nota de avaliação da estrutura (IC proveniente das inspeções) e volume médio diário de tráfego sobre a ponte, respectivamente. Já a esfera operacional considera a relevância da ponte para o funcionamento da rodovia. Esta análise é feita com base uma relação entre o tráfego sobre a ponte em si e o tráfego nas rodovias adjacentes à ponte (HOFFMANN, et al., 2017). Ou seja, quanto maior esta



relação, maior o impacto do funcionamento da ponte na malha rodoviária em que ela está inserida.

Assim, é possível observar que o DNIT procura priorizar pontes para manutenção de maneira estratégica, considerando a influência das pontes e trechos da rodovia no escoamento de produtos, segurança nacional e mobilidade da população, de maneira a alocar os recursos de maneira eficiente, como mencionado anteriormente.

2.5 Metodologias alternativas

Paralelamente à diretriz adotada pelo PROARTE, outras metodologias de priorização propõem-se a manter um nível satisfatório da performance das pontes de uma determinada malha rodoviária. A partir de uma revisão bibliográfica realizada com o software STARt 2.3.4 (State of the Art through Systematic Review) do Laboratório de Pesquisa em Engenharia de Software (LaPES) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), 1359 resultados foram encontrados para as buscas realizadas com:

“*Concrete Bridge Management* (Gerenciamento de pontes de concreto)” ou “*Reinforced concrete bridge repair* (Reparo de pontes de concreto armado)” ou “*Reinforced concrete bridge maintenance* (Manutenção de pontes de concreto armado)”.

Os critérios para a hierarquização interna dos artigos no software seguiram o protocolo apresentado pela Figura 10 -.



Protocol

Objective:* ?
 From the background around the maintenance of reinforced concrete bridges, this bibliographic review seeks to filter which practices are adaptable to the Brazilian reality.

* This field must be filled in

Main question:* ?
 What are the maintenance of reinforced concrete bridges?

Population: Concrete bridges.

Intervention: Management.

Control: Search from scopus: "Concrete Bridge Management".

Results: Maintenance techniques.

Application: Civil engineers, managers, society.

* This field must be filled in

Add Secondary Question

Keywords and Synonyms* ?

Keywords: Add Remove
 Concrete bridge
 Maintenance
 Decision making
 Repair
 Reinforced concrete bridges Up Down

* This field must be filled in

Sources Selection Criteria Definition* ?

Criterion: Add Remove
 Select articles about the main issue and export in BibTex format. Edit Up Down

Studies Languages: ?

English.

Sources Search Methods: ?

Search in the scopus database with the topics "Concrete Bridge Management", "Reinforced concrete bridge repair" e "Reinforced concrete bridge maintenance" and manually search for articles or books of good potential. The results are exported to the StArt tool and selected according to established inclusion and exclusion criteria.

Source list* ?

Source: ACM Add Remove
 Scopus Up Down

* This field must be filled in

Study selection criteria (inclusion and exclusion) ?

Criterion: Inclusion Add Remove
 (I) Related title
 (I) Related abstract
 (I) Content consistent with the main topic.
 (E) Unrelated title
 (E) Unrelated abstract Edit Up Down

* This field must be filled in



Data Extraction Form Fields*

Text
 Pick One List
 Pick Many List

Name

_____ Add

Does the article discusses reinforced concrete bridge maintenance techniques?=[Yes (Describe which ones),No]
 Does the article addresses maintenance costs?=[Yes,No]
 Does the article address decision making?=[Yes,No]
 Is it applicable to the Brazilian reality?=[Yes,No]

Remove
Edit
Up
Down

* This field must be filled in

Figura 10 - Protocolo estabelecido no software STARt 2.3.4 para hierarquização dos artigos importados da base de dados do Scopus realizada.

Tendo como base esse protocolo, todos os artigos foram pontuados em uma escala 0 a 102 (*score* em ordem crescente automaticamente definido pelo software). Com isso, foi realizada uma filtragem inicial dos artigos considerando todos os que possuíam pontuação superiores a 12. O valor 12 foi adotado pois a inferência empírica retornou resultados minimamente correlatados. A verificação individual baseada nos critérios de seleção (correlação do título, abstract e conteúdo) retornou uma extração com 88 resultados aceitos e 256 rejeitados. Isso significa que, somados, os artigos avaliados representaram uma amostragem de 25% do total importado da base do Scopus (Figura 11 -).

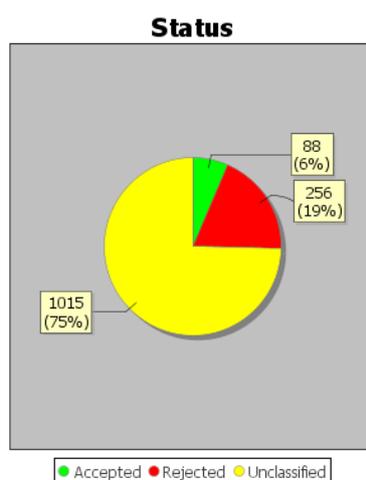


Figura 11 - Relatório do software STARt 2.3.4 referente à etapa de seleção dos artigos. Essa etapa foi norteadora pelos critérios de aceitação previamente estabelecidos.



Posteriormente ao processo de seleção, os 88 artigos foram submetidos à uma nova etapa de classificação: a prioridade de leitura. Essa hierarquização seguiu as diretrizes dos formulários de extração estabelecidos no protocolo. Com isso, questionamentos a respeito do foco e aplicabilidade à realidade brasileira foram avaliados. Os resultados das prioridades de leituras conjecturadas são apresentados na Figura 12 -.

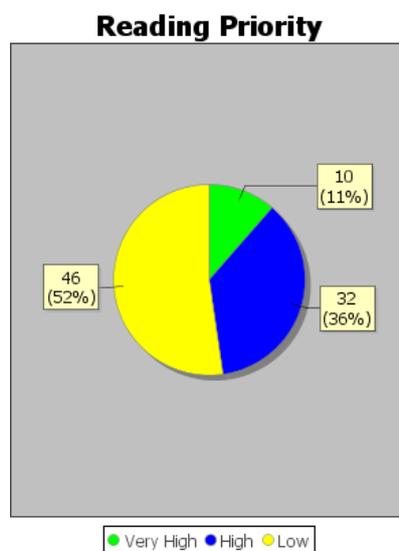


Figura 12 - Relatório do software STARt 2.3.4 referente à etapa de extração dos artigos. Essa etapa foi norteadada pelos formulários de extração previamente estabelecidos.

O resultado da filtragem final direcionou artigos com enfoque nas mais variadas propostas para a manutenção de pontes de uma malha rodoviária. Em função disto, os tópicos elencáveis dos artigos checados foram: o custo-benefício da tomada de estratégias de acordo com um limite de alocação de recursos, a avaliação do grau de deterioração das pontes, o impacto para o usuário, a influência para a funcionalidade da rede de rodovias e a previsão de melhora da performance mediante cenários de rotinas anuais. No âmbito das metodologias, as principais abordagens foram: programação dinâmica e linear aplicadas aos processos de cadeias de Markov (JIANG, et al., 1989), análise probabilística



para diferentes cenários de prevenção com base em simulações de Monte Carlo e (TUAN, et al., 2016), análise para tomada de decisões a partir das informações extraídas do monitoramento das pontes (CHEN, 2017), formulação de um sistema espacial de informação com base no método de hierarquização Bayesian para facilitar o monitoramento em larga escala de estruturas de concreto (QIN, et al., 2012), sistematização de práticas para melhorar os princípios da manutenção de pontes (YANG, et al., 2011), hierarquização de pontes via peso ponderado relacionado ao GER (grau, extensão e relevância) para um conjunto de 5 pontes (LIANG, et al., 2006), sistema interativo com atuação estratégica e de implementação (De BRITO, et al., 1997), aplicação da lógica fuzzy como mecanismo de hierarquização e seleção de reparos para pontes (LIANG, et al., 2005), cenários de rotinas de manutenção para pontes baseados em problemas de otimização via algoritmos genéticos (LIU, et al., 2005) e modelagem dos segmentos de rodovias para hierarquização via indicadores de desempenho (SAMBONI, et al., 2020).

Ponderando a adaptação das metodologias acima citadas ao cenário nacional (o que aponta para um contraponto ou complemento à diretriz do atual SGO do DNIT), destacam-se os dois últimos trabalhos pela abordagem global do impacto das pontes para o desempenho geral das rodovias (uma característica negligenciada em diversos casos e que não reflete a real conjectura da problemática).

No trabalho desenvolvido por Liu et al (2005), o artigo apresenta uma proposta direta e compreensível baseada em um problema de otimização (via algoritmo genético) para o estabelecimento de rotinas de manutenção com diferentes custos. Tais custos representam mais do que apenas a alocação de recursos já que se referem à uma análise global do ciclo de vida (impacto para o usuário, prolongamento da vida útil com base em modelos de



deterioração, probabilidade de falha de uma das pontes ou um conjunto delas, custos diretos com manutenção e o índice de performance da malha). O reflexo dessa perspectiva resulta em um problema de minimização multiobjetivo com as funções objetivos sendo o custo para o usuário, o custo de manutenção e o custo da falha das pontes. O resultado da aplicação desse algoritmo é exposto em um estudo de caso da malha rodoviária da região do Colorado, EUA. Para essa malha, diferentes cenários de manutenção foram propostos e avaliados para períodos de curto, médio e longo prazo (30 anos).

Já no trabalho desenvolvido por Samboni et al (2020), uma proposta de hierarquização de OAE's foi apresentada. Ela se baseia na utilização de indicadores de desempenho (segundo características topográficas e relações de oferta e demanda) que inferem o impacto do tempo de viagem para os pares Origem e Destino diante dos cenários de falha de pontes que interrompem links da malha rodoviária avaliada. A modelagem de uma série de BR's (sigla utilizada para as rodovias brasileiras) foi elaborada com a utilização do software TransCAD 5.0 no estudo de caso apresentado no artigo. Com o software, diferentes cenários de falha das pontes puderam ser avaliados para determinação do impacto nas rodovias adjacentes. Os resultados foram expressos a partir da hierarquização das pontes para horizontes de priorização de investimentos de médio e longo prazo.

Desta forma, ambas as tratativas metodológicas abrangem os aspectos relevantes para uma performance operacional adequada da malha rodoviária e avaliam a eficiência dessa malha mediante métricas de desempenho individualmente estabelecidas. Embora não seja aqui proposto, um complemento ou possível adaptação ao trabalho desenvolvido no atual SGO brasileiro pode surgir dessa característica.

3 Discussão

O presente trabalho teve como proposta inicial compreender o modo de deterioração de um sistema de gestão de pontes para pontes de concreto armado. Nesse escopo, houve uma busca pela identificação dos mecanismos chave e por um modelo preditivo generalizado (a partir de outros trabalhos com embasamento empírico). O objetivo desta pesquisa foi fornecer mais subsídios para ação dos gestores e, por consequência, estender o ciclo de vida dos empreendimentos envolvidos. Logo, com o foco nas patologias usuais do concreto armado, a correlação exposta na Figura 13 -foi previamente estabelecida.



Figura 13 - Agentes atuantes na deterioração das pontes de concreto armado e catalizadores.

A correlação entre os principais mecanismos de deterioração do concreto armado, fatores de influência e catalizadores surgiu da síntese dos seguintes trabalhos: Enright et al (1998), Moita (2020) e Morcous (2005) . Embasado pelos levantamentos dos números das incidências de patologias apresentadas no inventário (OLIVEIRA, et al., 2019), foram considerados os dois processos de corrosão como as duas principais vertentes para o modelo de deterioração generalizado. Conforme dissertado no tópico das pontes da malha rodoviária federal brasileira, bons prospectos para se considerar na avaliação estrutural



seriam os tabuleiros, as longarinas e os encontros. Desta forma, a sequência lógica esquematizada seria entre a utilização do modelo de deterioração generalizado e a avaliação estrutural dos elementos estruturais com maior incidência de IC críticos. O modelo generalizado teria como base modelos empíricos particulares para a ação da corrosão via íons cloreto (VU, et al., 2000), corrosão via carbonatação (ANN, et al., 2010), fadiga (SZERSZEN, et al., 2000), lixiviação, etc. Já a avaliação estrutural teria como referência as normas brasileiras em vigor (NBR 6118:2014 - Projeto de estruturas de concreto – Procedimento e NBR 7187:2003 - Projeto de pontes de concreto armado e de concreto protendido).

Contudo, considerando as principais deficiências dessa metodologia, toda essa abordagem foi interrompida. Quanto ao aspecto de implementação da metodologia, os fatores imprescindíveis para uma mínima razoabilidade do modelo de deterioração foram as limitações para realizar as avaliações estruturais de acordo com todas as tipologias das pontes de concreto armado (centenas de modelos numéricos seriam necessários), a ausência de informações básicas acerca das informações de projeto e construtivas (dados dos materiais, idade, carga de projeto, etc.), a impossibilidade de acesso ao histórico de manutenções e reparos das pontes e a adaptação dos modelos empíricos ao contexto brasileiros (os resultados seriam igualmente reproduzíveis?). Quanto ao aspecto prático, os principais (e mais determinantes) fatores foram a baixíssima probabilidade (IC = 1 têm incidência de apenas 0,17%) da falha estrutural de um dos elementos estruturais considerados serem a única justificativa para o estado crítico da ponte e o fato da metodologia desconsiderar a influência dos fatores funcionais e operacionais para a tomada de uma ação preventiva ou corretiva (a obstrução de buzinetes ou a ausência de sinalização podem ser as razões, por exemplo). Pôde-se concluir, portanto, que a opção



por implementar o módulo de deterioração de um SGO via manipulação do histórico de inspeções é de fato a mais apropriada – uma conclusão endossada pela replicação desse método nos principais SGO do mundo.

Sob a luz dessa constatação, o trabalho foi redirecionado para um estudo mais aprofundado das características do inventário brasileiro de pontes, da manutenção, inspeção e gestão de pontes no Brasil. As dificuldades para implementação dos métodos usuais (via processos de cadeias de Markov) ficaram evidentes pela ausência dos dados referentes ao número de ciclos mínimos recomendados e, desta forma, compreendeu-se o enfoque dado pelo módulo do SGO do DNIT (que considera apenas a inspeção cadastral). Contudo, tendo em vista essas limitadas informações, foi possível de se concluir que a atual metodologia apresenta lacunas e a hierarquização proposta pode estar sendo fortemente influenciada por uma única rotina de inspeção que não reflete a real condição para todas as pontes sob administração do órgão.

Por essa razão, metodologias alternativas foram buscadas. Conforme mencionado anteriormente, duas delas poderiam ser adaptadas ao atual SGO brasileiro: via otimização para o estabelecimento das melhores rotinas para as pontes de uma rede de rodovias (LIU, et al., 2005) ou via hierarquização das pontes utilizando indicadores de desempenho para priorização nas intervenções (SAMBONI, et al., 2020). Embora não seja escopo do presente trabalho apresentar tais adaptações, algumas considerações iniciais foram realizadas. Quanto ao trabalho desenvolvido por Liu (2005), a dificuldade inicial surge da análise de desempenho das rodovias – para o estudo de caso apresentado, uma avaliação prévia já havia sido estabelecida e todas os índices de desempenho eram dados de entrada do problema de otimização (um paralelo não correspondido para a realidade brasileira). Quanto ao trabalho desenvolvido por Samboni (2020), as primeiras



impressões deixadas que impediriam uma adaptação imediata seriam a necessidade de considerar os custos para um dado horizonte de tempo e a modelagem de todas as rodovias da malha federal nacional em software compatível.

4 Conclusão

Como sugestões para contornar as problemáticas acima evidenciadas, tornar as inspeções um protocolo obrigatório para abastecimento do atual banco de dados parece ser o caminho natural para a reprodução de ferramentas de gestão similares ao *Pontis*, que utiliza minimamente 4 ciclos de inspeções para ajuste do seu módulo de deterioração, no Brasil. Como consequência disso, todos os módulos de pós-processamento e planejamento poderiam ser mais assertivos e o orçamento mais bem direcionado. Adicionalmente, as metodologias alternativas poderiam ser implementadas com um redirecionamento de parte do investimento anual para o setor de pesquisa e desenvolvimento (P&D). Para a validação da abordagem via otimização, a utilização/adaptação das métricas para averiguação do desempenho das pontes utilizadas no PROARTE e/ou modelagem da malha em um software que forneça as informações equivalentes ao TransCAD poderiam ser soluções embrionárias para o fortalecimento do setor e enriquecimento das práticas já utilizadas pelo DNIT atualmente.



5 Referências bibliográficas

AASHTO AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORT The Manual for Bridge Evaluation. - Washington, USA : [s.n.], 2013.

ANN K. Y. [et al.] Service life prediction of a concrete bridge structure subjected to carbonation [Article] // Construction and Building Materials. - 2010.

ASTROADS Improved Bridge Deterioration Models, Predictive Tools and Costs. [Report] / AUSTRALASIAN ROAD TRANSPORT AND TRAFFIC AGENCIES. - Sydney, Austrália : [s.n.], 2015.

BERENGUER R. A. [et al.] Inspection of the pathological manifestations on Janga Bridge [Journal]. - 2016.

CHEN H.-P. Monitoring-based reliability analysis of aging concrete structures by Bayesian updating [Article] // Journal of Aerospace Engineering. - [s.l.] : American Society of Civil Engineers., 2017.

De BRITO J. [et al.] Decision making; Expert systems; Inspection; Maintenance; Repair, Bridge management systems, Concrete bridges [Article] // Engineering Structures. - [s.l.] : Elsevier Science Ltd., 1997.

DNER Manual de projeto de Obras-de-Arte-Especiais.. - Rio de Janeiro : [s.n.], 1996.

DNIT Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias.. - Rio de Janeiro : [s.n.], 2004.



DNIT NORMA DNIT 010/2004 - PRO // Inspeções em pontes e viadutos de concreto armado e protendido - Procedimento. - Rio de Janeiro : [s.n.], 2004.

ENRIGHT M. P. and FRANGOPOL D. M. Service-life prediction of deteriorating concrete bridges [Article] // Journal of Structural Engineering. - 1998.

GOV Rodovias Federais [Online] // Ministério de Infraestrutura. - Abril 29, 2019. - Novembro 04, 2021. - <https://antigo.infraestrutura.gov.br/rodovias-brasileiras.html>.

HOFFMANN I. C. S. and AFONSO W. B. Plano Nacional de Manutenção Rodoviária (PNMR) [Conference] // 1ª Semana do Planejamento DNIT. - 2017.

INFRAESTRUTURA, MINISTÉRIO DA Rodovias Federais [Online] // Ministério da Infraestrutura. - 04 29, 2019. - 11 04, 2021. - <https://antigo.infraestrutura.gov.br/rodovias-brasileiras.html>.

JIANG [et al.] Dynamic optimization model for bridge management systems [Article] // Transportation Research Record. - 1989.

LANER F. J. Manifestações patológicas nos viadutos, pontes e passarelas do município de Porto Alegre. - Porto Alegre : [s.n.], 2001.

LIANG M. [et al.] Determining the repair ranking of existing reinforced concrete bridges using generalized weighted distance method [Article] // Journal of the Chinese Institute of Engineers, Transactions of the Chinese Institute of Engineers, Series A/Chung-kuo Kung Ch'eng Hsuch K'an. - 2006.

LIANG M.-T. [et al.] Application of fuzzy optimum system hierarchy analysis selection method to determining repair order for existing reinforced concrete bridges



[Article] // Journal of the Chinese Institute of Engineers, Transactions of the Chinese Institute of Engineers, Series A/Chung-kuo Kung Ch'eng Hsuch K'an. - 2005.

LIU M. and FRANGOPOL D.M. Bridge annual maintenance prioritization under uncertainty by multiobjective combinatorial optimization [Article] // Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering.. - [s.l.] : Journal of Structural Engineering, ASCE, 2005.

MAGALHÃES C. P., FOLLONI R. and FURMAN H. Análise da Patologia das Obras de Arte do Município de São Paulo [Conference] // Simpósio Nacional de Reforços, Reparos e Proteção das Estruturas de Concreto. - São Paulo : [s.n.], 1989.

MOITA HÉLDER BRANCO Sistema para avaliação da degradação de pontes de concreto armado utilizando o Método dos Elementos Finitos e Redes Neurais Artificiais.. - Rio de Janeiro : [s.n.], 2020.

MORCOUS G. Prediction of Onset of Corrosion in Concrete Bridge Decks Using Neural Networks and Case-Based Reasoning [Article] // Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering. - 2005.

MOSCOSO Y. F. M. Modelos de Degradação para Aplicação em Sistemas de Gerenciamento de Obras de Arte Especiais - OAES. - Distrito Federal : [s.n.], 2017.

OLIVEIRA C. B. L., BITTENCOURT T. N. and GRECO M. Analysis of the Brazilian federal bridge inventory [Journal]. - Minas Gerais : IBRACON, 2019.

OLIVEIRA C. B. L., PEREIRA S. S. R. and GRECO M. Modelos de deterioração e sua importância para a gestão de pontes rodoviárias [Conference] // X Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas (XCBPE). - Rio de Janeiro : [s.n.], 2018.



PACHECO J., CARVALHO M. and HELENE P. Recommendations concerning the inspection and maintenance of bridges and viaducts [Article] // Maintenance, Monitoring, Safety, Risk and Resilience of Bridges. - 2016.

PEREIRA V. Q. [et al.] Metodologia para priorização de segmentos da malha rodoviária sob administração do DNIT [Conference] // XXXI Congresso Nacional de Pesquisa em Transportes da ANPET. - Recife : [s.n.], 2017.

QIN J. and FABER M.H. Risk Management of Large RC Structures within Spatial Information System [Article] // Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering. - 2012.

SAMBONI A. F . I. [et al.] Metodologia para hierarquização de obras de arte especiais a partir da análise de indicadores de desempenho de redes rodoviárias [Conference] // 34º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte da ANPET. - 2020.

SOBREIRO F. J. N. Modelos de Previsão de Deterioração de Pontes Existentes: Processos de Markov // Lisboa. - 2011.

SZERSZEN M. M. and NOWAK A. S. Fatigue Evaluation os Steel and Concrete Bridges. - [s.l.] : Department of Civil and Environmental Engineering, University of Michigan, 2370, 2000.

THOMPSON P. D. [et al.] The Pontis Bridge Management System [Journal]. - [s.l.] : Structural Engineering International, 1998.

TUAN H. and Li F. Probabilistic-based prediction of lifetime performance of RC bridges subject to maintenance interventions [Article] // Computers and Concrete. - 2016.



VITÓRIO J. A. P. and BARROS R. M. M. C. Análise dos danos estruturais e das condições de estabilidade de 100 pontes rodoviárias no Brasil [Journal]. - [s.l.] : Segurança, Conservação e Reabilitação de Pontes, 2013.

VITÓRIO J. A. P. Avaliação do grau de risco estrutural de pontes rodoviárias de concreto [Conference] // 50º Congresso Brasileiro do Concreto. - 2008.

YANG Y.N. and KUMARASWAMY M.M. Towards life-cycle focused infrastructure maintenance for concrete bridges [Article] // Facilities. - 2011.