



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

JOÃO LUIZ FRANCA RIBEIRO

**PRIORIZAÇÃO DE PONTES RODOVIÁRIAS CANDIDATAS ÀS AÇÕES DE
CONSERVAÇÃO A PARTIR DE ANÁLISE MULTICRITÉRIO**

JOÃO PESSOA

2021

JOÃO LUIZ FRANCA RIBEIRO

**PRIORIZAÇÃO DE PONTES RODOVIÁRIAS CANDIDATAS ÀS AÇÕES DE
CONSERVAÇÃO A PARTIR DE ANÁLISE MULTICRITÉRIO**

Área: Gerência de Obras de Arte Especiais

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à coordenação do curso de graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), campus I, como pré-requisito para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Almeida de Melo

JOÃO PESSOA

2021

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

R484p Ribeiro, Joao Luiz Franca.

Priorização de pontes rodoviárias candidatas às ações de conservação a partir de análise multicritério / Joao Luiz Franca Ribeiro. - João Pessoa, 2021.
128 f. : il.

Orientação: Ricardo Almeida de Melo.
TCC (Graduação) - UFPB/CT.

1. Obras de Arte Especiais. 2. Manutenção. 3. Priorização. 4. Multicritério. I. Melo, Ricardo Almeida de. II. Título.

UFPB/BSCT

CDU 624 (043.2)

FOLHA DE APROVAÇÃO

JOÃO LUIZ FRANCA RIBEIRO

PRIORIZAÇÃO DE PONTES RODOVIÁRIAS CANDIDATAS ÀS AÇÕES DE CONSERVAÇÃO A PARTIR DE ANÁLISE MULTICRITÉRIO

Trabalho de Conclusão de Curso em 03/12/2021 perante a seguinte Comissão Julgadora:



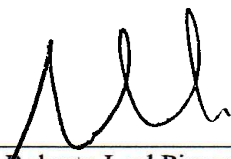
Ricardo Almeida de Melo
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADO



Carlos Antônio Taurino de Lucena
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADO



Roberto Leal Pimentel
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADO



Profª. Andrea Brasiliano Silva
Matrícula Siape: 1549557
Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer, inicialmente, a UFPB pelo acolhimento e por todos os ensinamentos e oportunidades que pude vivenciar nesses anos. Que esta instituição continue pública, gratuita e de qualidade e que sempre receba todas as condições necessárias para o seu crescimento.

Aos meus pais, irmãos e familiares por todo o apoio e amor que tornam qualquer caminhada mais fácil e prazerosa. Aos meus amigos incríveis que trago desde a infância.

Aos professores com os quais tive o prazer de conviver e aprender durante todos esses anos. Agradecimentos especiais ao meu orientador de iniciação científica e TCC Ricardo Melo e aos meus orientadores de dois anos de extensão Nilton Pereira, Clóvis Dias e Isabelle Yrusca.

Aos professores Carlos Antônio Taurino e Roberto Pimentel pela disponibilidade para avaliar este trabalho.

Ao LAPAV pelo apoio durante a iniciação científica e durante o desenvolvimento deste trabalho. Agradecimento especial aos pesquisadores Máisa Silva e Pedro Henrique pelas discussões e ensinamentos compartilhados nesse período.

Ao DNIT pelo apoio através do fornecimento dos dados gerenciais do Sistema de Gerenciamento de Obras de Arte Especiais.

E, por fim, as grandes amizades que pude construir durante esses anos de convivência na UFPB e com as quais pude compartilhar a caminhada.

Aos meus pais, irmãos, familiares e amigos.

A minha avó Zeta.

RESUMO

O envelhecimento das Obras de Arte Especiais (OAEs), a deterioração dos materiais constituintes e as modificações dos padrões do tráfego rodoviário tem imposto às agências de transporte inúmeros desafios relacionados à conservação dessas estruturas. As limitações orçamentárias cada vez mais severas tornam necessário a gestão racional desses ativos, sobretudo, nas tomadas de decisão quanto a priorização dos investimentos em manutenção e reabilitação. Assim, o objetivo do presente trabalho foi propor um processo de priorização de pontes rodoviárias paraibanas sob administração do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) visando as atividades de manutenção e reabilitação através de análise multicritério. O método de apoio a tomada de decisão multicritério utilizado foi o *Analytical Hierarchy Process* (AHP). Os critérios de priorização utilizados foram segurança estrutural, funcionalidade e importância da ponte para rede e os subcritérios foram Nota Técnica, trem tipo, condições da drenagem, condições das superfícies da plataforma, condições dos itens de segurança, largura, idade, volume médio diário anual, extensão do desvio, comprimento e classe da rodovia. As importâncias relativas dos critérios e subcritérios foram obtidas por meio de consulta a 12 especialistas, conforme o método AHP aplicado. O processo de priorização envolveu 192 pontes rodoviárias cadastradas no Sistema de Gerenciamento de Obras de Arte Especiais (SGO) do DNIT, sendo as pontes avaliadas a partir dos dados gerenciais repassados pelo próprio órgão. O critério que recebeu maior importância foi a segurança estrutural, seguido da importância da ponte para rede e, por fim, a funcionalidade. Dentre os subcritérios, destacaram-se a Nota Técnica, o trem tipo e o volume médio diário anual. A lista final de prioridade foi obtida pela combinação das importâncias dos critérios e subcritérios e do desempenho de cada ponte nos parâmetros analisados.

Palavras chave: Obras de Arte Especiais. Manutenção. Priorização. Multicritério

ABSTRACT

The bridges aging, the deterioration of the constituent materials and the changes in road traffic patterns have imposed on transport agencies numerous challenges related to the conservation of these structures. The increasingly severe budgetary constraints make it necessary to manage these assets rationally, especially in decision-making regarding the prioritization of investments in maintenance and rehabilitation. Thus, the objective of the present study was to propose a process of prioritization of Paraíba road bridges under the administration of the National Department of Transport Infrastructure (DNIT) aiming at maintenance and rehabilitation activities through multicriteria analysis. The method used to support multi-criteria decision-making was the Analytical Hierarchy Process (AHP). The prioritization criteria used were structural safety, functionality and importance of the bridge for the network and the subcriteria were Technical Note, project load, drainage conditions, conditions of the platform surfaces, conditions of safety features, width, age, average annual daily traffic, detour length, length and highway class. The relative amounts of the criteria and sub-criteria were obtained by consulting 12 specialists, according to the AHP method applied. The prioritization process involved 192 road bridges registered in the DNIT Bridge Management System (SGO), and the bridges were evaluated from the management data passed by the DNIT. The criterion that received the most importance was the security structure, followed by the importance of the bridge to network and the functionality. Among the sub-criteria, the Technical Note, the Project load and the average annual daily traffic stood out. The final priority list was obtained by combining the importance of the criteria and sub-criteria and the performance of each bridge in the analyzed parameters.

Keywords: Bridges. Maintenance. Priorization. Multi-criteria.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Malha Rodoviária Federal	21
Figura 2 – Elementos constituintes das pontes	25
Figura 3 – Colapsos devido a ação de enchente e erosão em Pernambuco	28
Figura 4 – Causas de colapsos de 256 pontes ao redor do mundo entre 1830 e 2010..	28
Figura 5 – Lei de Sitter	31
Figura 6 - Colapso da Silver Bridge	44
Figura 7 – Marcos históricos referentes à gestão de pontes no Brasil	48
Figura 8 – Estruturação do SGO.....	49
Figura 9 – Publicações envolvendo MCDM na gestão de infraestruturas.....	59
Figura 10 – Distribuição de publicações por método MCDM.....	59
Figura 11 – Estrutura Hierárquica do AHP	61
Figura 12 – Matriz de decisão.....	61
Figura 13 – Fluxograma das etapas metodológicas	65
Figura 14 – Distribuição das pontes rodoviárias do SGO/DNIT na Paraíba	66
Figura 15 – MRFE - Paraíba.....	79
Figura 16 – Fluxograma de aplicação do AHP	80
Figura 17 – Estrutura Hierárquica	80
Figura 18 - Ponte sobre o Riacho do Espinheiro	85
Figura 19 – Danos nas longarinas e transversinas	86
Figura 20 - Danos no guarda corpo	86
Figura 21 – Média dos pesos dos critérios.....	89
Figura 22 - Média dos pesos dos subcritérios do critério Segurança Estrutural.....	90
Figura 23 - Média dos pesos dos subcritérios do critério Funcionalidade.....	92
Figura 24- Média dos pesos dos subcritérios do critério Importância para Rede.....	93
Figura 25 - Pesos finais de cada subcritério	94
Figura 26 - Mapa de prioridades de manutenção de pontes	100

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Custos diretos e indiretos envolvidos na gerência de pontes.....	36
Tabela 2 – Classificações das pontes segundo a FHWA	46
Tabela 3 – Fatores do Índice de Suficiência	47
Tabela 4 – Escala de comparação paritária de Saaty	62
Tabela 5 – Índice Randômico – RI	63
Tabela 6 – Quantidade de pontes por rodovia na Paraíba.....	66
Tabela 7 – Atributos do banco de dados.....	67
Tabela 8 – Grupo de critérios	68
Tabela 9 – Avaliação do subcritério Trem Tipo de Projeto.....	71
Tabela 10 - Avaliação do subcritério Drenagem	72
Tabela 11 - Avaliação do subcritério Superfícies da Plataforma.....	73
Tabela 12 – Avaliação do largura	73
Tabela 13 – Avaliação do subcritério Itens de Segurança	74
Tabela 14 – Avaliação do subcritério Idade	75
Tabela 15 – Avaliação do subcritério VMDa	76
Tabela 16 – Avaliação do subcritério Extensão do desvio	77
Tabela 17 – Avaliação do subcritério Comprimento	77
Tabela 18 – Avaliação do subcritério Classe da rodovia.....	78
Tabela 19 – Matriz de comparação de critérios.....	87
Tabela 20 – Matriz de comparação de critérios normalizada	88
Tabela 21 – Vetor de prioridade	88
Tabela 22 – Pesos dos critérios para cada decisor	88
Tabela 23 – Pesos dos subcritérios do critério Segurança Estrutural	90
Tabela 24 – Pesos dos subcritérios do critério Funcionalidade	91
Tabela 25 – Pesos dos subcritérios do critério Importância para Rede	92
Tabela 26 – Pesos finais dos subcritérios	94
Tabela 27 – Ranking de prioridades de pontes visando ações de manutenção.....	96
Tabela 28 – Comparação entre os rankings AHP e DNIT.....	97
Tabela 29 – Resultado da Análise de Cluster	99
Tabela 30 - Características gerais dos agrupamentos	99

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação (1) – Razão de custo-benefício.....	38
Equação (2) – Índice de Suficiência	46
Equação (3) – Índice Integrado de Ponte.....	56
Equação (4) – Importância da ponte para rede	56
Equação (5) – Índice de Eficiência Geral	56
Equação (6) – Vetor de prioridade pela Média Geométrica	62
Equação (7) – Método do autovalor associado	63
Equação (8) – Índice de consistência.....	63
Equação (9) – Razão de consistência.....	63
Equação (10) – Agregação Individual de Prioridades	64
Equação (11) – Prioridades Finais	82
Equação (12) – Normalização das escalas de avaliação	82

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AHP - *Analytical Hierarchy Process*

AIJ - Agregação Individual de Julgamentos

AIP - Agregação Individual de Prioridades

ASCE - *American Society of Civil Engineers*

B/C - *Benefit-Cost Ratio*

BCA - *Benefit-Cost Analysis*

BCI - *Bridge Condition Index*

BIRM - *Bridge Inspector's Reference Manual*

BMS - *Bridge Management System*

BRIME - *Bridge Management in Europe*

CNT - Confederação Nacional dos Transportes

CP - *Compromise programming*

DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem

DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

ELECTRE - *Elimination Et Choix Tradusant la Réalité*

FHWA - *Federal Highway Administration*

FO - *Functionally Obsolete*

IBI - *Integrated Bridge Index*

ICC - Índice de Capacidade de Carga

JICA - *Japan International Cooperation Agency*

LCC - *Life Cycle Cost*

MAUT - *Multi-Attribute Utility Theory*

MCDM - *Multi-Criteria Decision Making*

MRFE - Malha Rodoviária Federal Estratégica

NBI - *National Bridge Inventory*

NBIS - *National Bridge Inspection Standards*

NCHRP - *National Cooperative Highway Research Program*

OAEs - Obras de Arte Especiais

OCDE - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico

PIB - Produto Interno Bruto

PROARTE - Programa Nacional de Manutenção de Obras de Artes Especiais

PROMETHEE - *Preference Ranking Organization Method of Enrichment Evaluation*

RINTER - Rede de Integração Nacional

SAW - *Simple Additive Weighting*

SD - *Structurally Deficient*

SFV - Sistema Federal de Viação

SGO - Sistema de Gerenciamento de Obras de Arte Especiais

SGP - Sistemas de Gerência de Pontes

SNV - Sistema Nacional de Viação

SR - *Sufficiency Rating*

TOPSIS - *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*

TRB - *Transportation Research Board*

VIKOR - *VlseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje*

VMDa - Volume Médio Diário Anual

WPM - *Weighted product model*

WSM - *Weighted Sum Model*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	JUSTIFICATIVA	17
1.2	OBJETIVO GERAL	18
1.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
1.4	ESTUTURA DO TRABALHO	18
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
2.1	INFRAESTRUTURA RODOVIÁRIA NACIONAL.....	20
2.1.1	Subsistema Rodoviário Federal	20
2.1.2	Realidade financeira atual da gestão rodoviária.....	22
2.2	ASPECTOS GERAIS DAS OBRAS DE ARTE ESPECIAIS	23
2.2.1	Conceituação.....	23
2.2.2	Elementos constituintes e classificação das pontes.....	24
2.2.3	Deterioração das pontes.....	26
2.2.4	Meios de diagnóstico	28
2.2.5	Ações de intervenção nas pontes	30
2.3	SISTEMAS DE GERENCIAMENTO DE PONTES	31
2.3.1	Conceituação.....	32
2.3.2	Estrutura de um SGP.....	33
2.3.2.1	BANCO DE DADOS.....	34
2.3.2.2	ANÁLISE DE DADOS.....	35
2.3.2.3	TOMADA DE DECISÃO.....	37
2.3.3	Indicadores de desempenho de pontes	39
2.3.3.1	ÍNDICE DE CONDIÇÃO DE PONTES	40
2.3.4	Gestão de Pontes nos Estados Unidos.....	42
2.3.4.1	CONDIÇÃO ATUAL DO ESTOQUE DE PONTES.....	43
2.3.4.2	BREVE HISTÓRICO	43

2.3.4.3	AVALIAÇÃO DAS PONTES.....	45
2.3.4.4	ÍNDICE DE SUFICIÊNCIA.....	46
2.3.5	Gestão de Pontes no Brasil	47
2.3.5.1	BREVE HISTÓRICO	47
2.3.5.2	NORMA DNIT 010/2004-PRO	49
2.3.5.3	NBR 9452/2019	51
2.3.5.4	CONSIDERAÇÕES ACERCA DAS NORMAS BRASILEIRAS ...	52
2.3.6	Priorização de pontes visando ações de manutenção.....	54
2.3.6.1	CRITÉRIOS DE PRIORIZAÇÃO	54
2.3.6.2	TÉCNICAS DE PRIORIZAÇÃO	55
2.4	PROCESSO DECISÓRIO	57
2.4.1	Métodos de Tomada de Decisão Multicritério	58
2.4.2	Método Analytic Hierarchy Process (AHP).....	59
3	MÉTODO DE TRABALHO	65
3.1	DEFINIÇÃO DAS PONTES ENVOLVIDAS NO TRABALHO.....	65
3.2	ORGANIZAÇÃO DOS DADOS GERENCIAIS DAS PONTES.....	67
3.3	DEFINIÇÃO DOS CRITÉRIOS DE PRIORIZAÇÃO	67
3.3.1	Segurança Estrutural.....	70
3.3.1.1	NOTA TÉCNICA DNIT.....	70
3.3.1.2	TREM TIPO DE PROJETO	70
3.3.2	Funcionalidade	71
3.3.2.1	CONDIÇÃO DA DRENAGEM	71
3.3.2.2	CONDIÇÕES DA SUPERFÍCIE DA PLATAFORMA.....	72
3.3.2.3	GEOMETRIA	73
3.3.2.4	CONDIÇÃO DOS ITENS DE SEGURANÇA	74
3.3.2.5	IDADE DA PONTE.....	74
3.3.3	Importância da Ponte para Rede.....	75

3.3.3.1	VOLUME MÉDIO DIÁRIO (VMDa).....	75
3.3.3.2	EXTENSÃO DO DESVIO	76
3.3.3.3	COMPRIMENTO	77
3.3.3.4	CLASSE DA RODOVIA.....	78
3.4	APLICAÇÃO DO MÉTODO AHP.....	79
3.4.1	Estrutura hierárquica	80
3.4.2	Escolhas do decisores	81
3.4.3	Elaboração e aplicação do questionário	81
3.4.4	Vetores de Prioridade	81
3.4.5	Agregação Individual de Prioridades (AIP)	82
3.5	LISTA DE PRIORIDADE DE PONTES VISANDO MANUTENÇÃO.....	83
3.6	ANÁLISE DOS RESULTADOS	83
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	85
4.1	AVALIAÇÃO DAS PONTE RODOVIÁRIAS	85
4.2	APLICAÇÃO DO MÉTODO AHP.....	87
4.2.1	Pesos dos critérios e subcritérios	87
4.2.2	Lista de prioridades globais	95
4.3	ANÁLISE DO RANKING FINAL DE PRIORIDADES.....	96
4.3.1	Comparação entre a metodologia aplicada e a do DNIT.....	96
4.3.2	Agrupamento das pontes em níveis de prioridade	98
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	102
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	104
	APÊNDICES	114
	ANEXOS.....	120

1 INTRODUÇÃO

O modal rodoviário apresenta importância marcante para as nações uma vez que é responsável por uma parcela considerável das movimentações de mercadorias e pessoas, exercendo papel direto no desenvolvimento econômico dos países. Nesse contexto, as demandas por melhoria da rede rodoviária são cada vez maiores. Acrescenta-se que o bom desempenho da rede está intrinsecamente relacionada às condições das Obras de Arte Especiais (OAEs) visto que essas estruturas são consideradas pontos vulneráveis e o colapso desses ativos pode comprometer todo o funcionamento do sistema.

Nesse sentido, conservação das OAEs tem se tornado um elemento central no planejamento de transportes em diversos países do mundo. O envelhecimento desses ativos e o aumento do volume e da carga de tráfego impõem o aumento da vulnerabilidade dessas infraestruturas com relação à deterioração, à diminuição da segurança dos usuários e do nível de serviço. Por outro lado, as limitações orçamentárias existentes exigem, cada vez mais, um processo racional que considere fatores diversos na análise e forneça bases científicas às tomadas de decisão.

WOODWARD et al. (2001) estimam que as OAEs representam cerca de 2% do comprimento total das rodovias dos países, porém representam cerca 30% dos recursos investidos. Percebe-se que as atividades que envolvem o ciclo de vida dessas estruturas exigem grandes investimentos públicos que nem sempre apresentam-se em quantidade suficiente. Assim, tornam-se necessários os procedimentos gerenciais apropriados que garantam que as atividades de manutenção sejam realizadas no momento adequado, a custos otimizados e com o mínimo de interrupções de tráfego possível (WOODWARD et al., 2001).

Para STOCHINO et al. (2018), esses procedimentos gerenciais racionalizados conformam um Sistema de Gerenciamento de Obras de Artes Especiais (*Bridge Management System – BMS*), isto é, um conjunto de ações de inspeção, investigação, manutenção e reparo de um grupo de OAEs organizadas de acordo com prioridades e geridas a partir do suporte de banco de dados. Ainda segundo os autores, os principais objetivos das estratégias de manutenção das redes de infraestrutura são prover segurança aos cidadãos e eficiência aos sistemas de transportes.

VALENZUELA et al. (2010) argumentam que os sistemas de gerenciamento de OAEs são capazes de gerar priorização para alocação de investimentos de manutenção. Nesse sentido, a priorização, ao selecionar as estruturas que mais urgentemente necessitam de manutenção, possibilita a aplicação dos recursos públicos de forma mais eficiente. Para WOODWARD, et

al. (2001) as ações de manutenção não podem ser pensadas de maneira individualizada, ao contrário, devem envolver uma série de parâmetros ou critérios de priorização relacionados a utilização da OAE, tais como, a posição da OAE na rede, fatores sociais e políticos.

SASMAL et al. (2007) ressaltam que, no contexto da gerência de OAEs, faz-se necessário métodos e ferramentas que permitam a priorização dessas estruturas para realização de ações de manutenção. Tais métodos e ferramentas são diversos e, segundo RASHID et al. (2016) vão desde decisões subjetivas tomadas por gestores das redes até complexas técnicas de otimização. Os aspectos variados envolvidos na gestão desses ativos de infraestrutura fazem com que, segundo CONTRERAS NIETO (2019), o problema decisório torna-se de caráter multicritério, sendo denominado de Tomada de Decisão Multicritério. Nesses casos, os tomadores de decisão avaliam as diferentes alternativas a serem escolhidas sob múltiplos aspectos ou critérios, influenciando diretamente no processo de priorização.

É justamente no contexto da priorização de OAEs, mais especificamente de pontes rodoviárias, que o presente trabalho pretende debruçar-se.

1.1 JUSTIFICATIVA

A gestão das Obras de Arte Especiais (OAEs), especialmente das pontes rodoviárias, vem se tornando um desafio complexo para diversos países do mundo. Com o passar dos anos, essas estruturas veem sofrendo com o envelhecimento, a deterioração natural dos materiais, a mudança dos padrões de tráfego e a ação do vento e das forças hidráulicas (VALENZUELA, 2010). Por outro lado, as agências gestoras enfrentam restrições cada vez mais severas com relação à disponibilidade de recursos para manutenção. Um exemplo marcante desse quadro é a iminente insolvência do fundo norte-americano de financiamento das operações rodoviárias (*Highway Trust Fund*), relatado no último relatório da *American Society of Civil Engineers* (ASCE) (ASCE, 2021).

No contexto brasileiro, as restrições orçamentárias também são realidade uma vez que se notou uma queda do financiamento do setor rodoviário nos últimos anos (36% entre 2016 e 2019) (CNT, 2019). Somam-se, ainda, aos problemas na gestão de OAEs as dificuldades relacionadas à tomada de decisão quanto a geração de prioridades de manutenção encontradas nas metodologias nacionais de inspeção e avaliação, apontadas por autores como VERLY (2015) e MACHADO (2018). Nesse sentido, cresce a importância da proposição de ferramentas cujo objetivo seja racionalizar a tomada de decisão no âmbito gerencial e que sejam capazes de prestar suporte aos gestores da rede, baseando as decisões em critérios científicos e, portanto,

com menor grau de subjetividade. Por fim, ressalta-se a necessidade de ampliar a cultura gerencial dos ativos de infraestrutura no país, ainda em um nível defasado quando comparado aos países mais desenvolvidos.

1.2 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral do presente trabalho foi propor um processo de priorização de pontes da malha rodoviária da Paraíba sob administração do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes visando as atividades de manutenção e reabilitação através de análise multicritério.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos do presente trabalho são:

- 1) Selecionar, por meio de revisão de literatura, critérios de priorização de pontes visando manutenção;
- 2) Obter uma lista de prioridade de manutenção e reabilitação de pontes sob administração do DNIT na malha rodoviária da Paraíba, a partir do método multicritério *Analytic Hierarchy Process* (AHP);
- 3) Realizar uma comparação entre a metodologia aplicada e a metodologia adotada pelo DNIT.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente Trabalho de Conclusão de Curso está estruturado em 5 capítulos. No primeiro capítulo, é realizada a introdução ao tema, a justificativa do desenvolvimento deste trabalho e os objetivos a serem alcançados.

No capítulo 2 é apresentada a fundamentação teórica necessária ao desenvolvimento do trabalho, abordando os aspectos gerais acerca das Obras de Arte Especiais (OAEs) e das pontes rodoviárias, a deterioração dessas estruturas, os conceitos relacionados aos sistemas gestão de pontes, a realidade atual da gestão de OAEs no Brasil e nos Estados Unidos. São apresentados também os conceitos de priorização de pontes visando manutenção e as metodologias de auxílio multicritério à decisão e sua utilização na gestão de pontes rodoviárias.

No capítulo 3, são apresentados os procedimentos metodológicos implementados para a obtenção dos resultados, detalhando as etapas a serem seguidas bem como as considerações realizadas.

No capítulo 4, são expostos os resultados alcançados e a discussão. Discutem-se os resultados da aplicação da metodologia de auxílio à decisão multicritério, compara-se a lista de prioridades obtida pela metodologia aplicada e a lista obtida com a metodologia tradicional do DNIT e apresenta-se um mapa gerencial das pontes rodoviárias paraibanas evidenciando as prioridades de manutenção.

No capítulo 5, por fim, são apresentadas as considerações finais e as sugestões para trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 INFRAESTRUTURA RODOVIÁRIA NACIONAL

A Lei Nº 12.379/2011 definiu o Sistema Nacional de Viação (SNV), sendo constituída pela infraestrutura física e operacional dos vários modos de transporte de pessoas e bens administrados pelos diversos entes da Federação. As jurisdições acerca do SNV são distribuídas nos âmbitos federal (Sistema Federal de Viação), estadual e Distrito Federal e municipal.

O Sistema Federal de Viação (SFV), por sua vez, é composto pelos subsistemas Rodoviário Federal, Ferroviário Federal, Aquaviário Federal e Aeroviário Federal. Segundo a Lei Nº 12.379/2011, são objetivos do SFV assegurar a unidade nacional e a integração regional, garantir a malha viária estratégica necessária à segurança do território nacional, promover a integração física com os sistemas viários dos países limítrofes, atender aos grandes fluxos de mercadorias em regime de eficiência por meio de corredores estratégicos de exportação e abastecimento, prover meios e facilidades para o transporte de passageiros e cargas, em âmbito interestadual e internacional.

No Brasil, a União exerce seu papel administrativo com relação ao SFV diretamente por meio de órgãos e entidades federais ou por meio de concessão, autorização, arrendamento a entidades públicas ou privadas ou parcerias público-privadas.

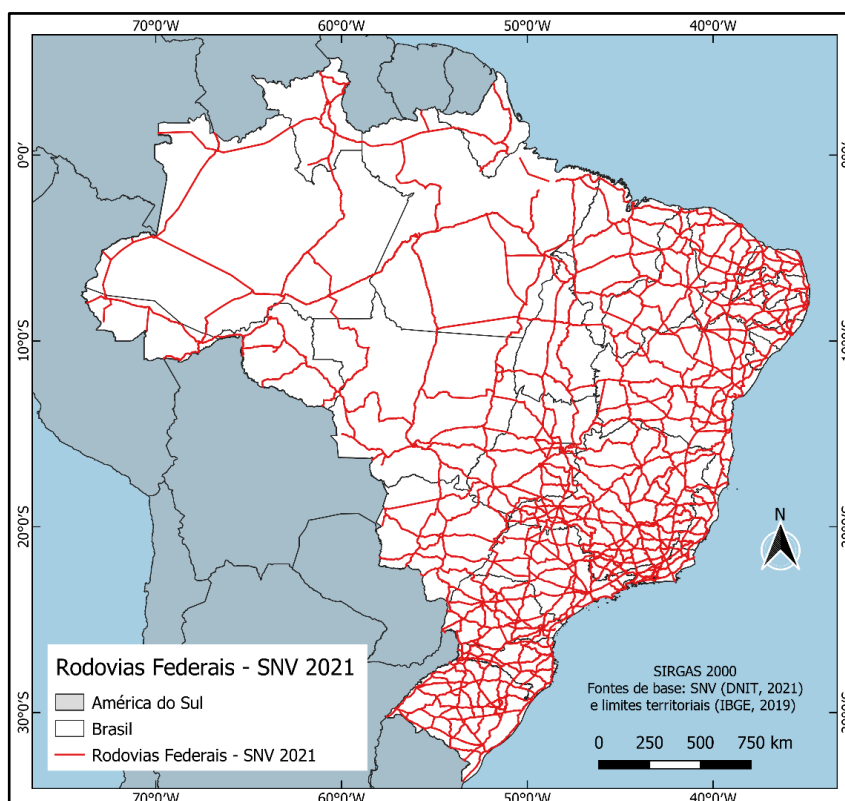
2.1.1 Subsistema Rodoviário Federal

O Subsistema Rodoviário Federal compreende todas as rodovias administradas pela União, direta ou indiretamente. Essas rodovias são classificadas de acordo com a sua orientação geográfica em radiais (partem da Capital Federal, em qualquer direção), longitudinais (sentido Norte-Sul, transversais (sentido Leste-Oeste), diagonais (sentidos Nordeste-Sudoeste ou Noroeste-Sudeste) e de ligação (ligam pontos importantes do país ou rodovias federais importantes).

O órgão da administração direta que tem como foco de ação a administração do SNV é o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT). O DNIT é uma autarquia federal vinculada ao Ministério da Infraestrutura, criada pela Lei Nº 10.233/2001. A legislação reestruturou o sistema de transportes rodoviário, aquaviário e ferroviário do Brasil, extinguindo o antigo Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER).

O DNIT atualiza anualmente a composição da malha rodoviária federal. A Figura 1 elaborada a partir do *software QGis* apresenta a última versão do SNV (202110A) com relação ao subsistema rodoviário.

Figura 1 – Malha Rodoviária Federal



Fonte: autoria própria

Segundo dados da Confederação Nacional dos Transportes (CNT), a malha pavimentada brasileira representa 12,4% do total da malha rodoviária nacional, representando 213.453 quilômetros. Da malha pavimentada total, 30,6% (65.370 quilômetros) está sob jurisdição federal. Na última década, a extensão federal pavimentada aumentou em 6,7%, saindo de 61,3 mil quilômetros em 2009 para 65,4 mil quilômetros em 2019. Realizando comparações outros países do mundo, o Brasil fica atrás de países como Rússia, Uruguai, Argentina, Canadá e Equador com relação à densidade de malha rodoviária pavimentada (CNT, 2019).

Conforme exposto pelo relatório Pesquisa CNT de rodovias 2019 (CNT, 2019), as condições de conservação das rodovias pavimentadas brasileiras não se encontram satisfatórias. O Brasil ocupa, por exemplo, a posição 116ª no *ranking* global de competitividade do Fórum Econômico Mundial com relação à variável qualidade das rodovias, ficando atrás de países vizinhos como Chile, Argentina, Uruguai e Equador.

Por outro lado, atualmente, o modal rodoviário possui uma participação majoritária na matriz de transporte nacional, acumulando o transporte de 61% da movimentação de

mercadorias e 95% da de passageiros (CNT, 2019). Nesse sentido, para CRUZ et al. (2015), o setor rodoviário possui grande importância no desempenho econômico do país uma vez que constitui um setor chave no transporte de cargas devido à ausência de outras alternativas de transporte efetivas, como as ferrovias. Segundo os autores, de 1990 a 2000, 70% das cargas transportada no país foram movimentadas nas rodovias. Tal fato contrasta com outros países como Estados Unidos, Austrália e China nos quais apenas 26%, 24% e 8% das cargas, respectivamente, foram transportadas em rodovias.

O contraste entre as condições não satisfatórias da infraestrutura rodoviária brasileira e a forte dependência econômica do país com relação a esse modal gera complicações. Como consequências dessas condições não satisfatórias, CRUZ et al. (2015) evidenciam o incremento dos custos de logística, o que gera aumento do preço final dos produtos e perda de competitividade no mercado internacional. Segundo, os autores, o custo de logística, no Brasil, situa-se entre 15% e 18% do Produto Interno Bruto (PIB), patamar que representa o dobro da média dos países da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE).

2.1.2 Realidade financeira atual da gestão rodoviária

Conforme aponta os dados da Pesquisa CNT de rodovias 2019, chama a atenção a queda do investimento público em melhorias e expansão da rede rodoviária nacional entre 2016 e 2019, variando de R\$ 145.390,00 para R\$ 93.150,00 reais por quilômetro. Nas rodovias concessionadas, apesar do patamar de investimento apresentar-se bem mais elevado, também houve queda: de R\$ 387.050,00 em 2016 para R\$ 299.440,00 reais por quilômetro em 2019 (CNT, 2019).

Especificamente, observa-se que, no contexto mais severo da recessão econômica vivenciada nos anos de 2014 a 2016, o governo federal focou seus recursos em ações de manutenção e recuperação de rodovias, os quais geram resultados mais imediatos a partir de um montante menor investido. Essas ações, que responderam por 47,4% do investimento total federal em rodovias em 2013, passaram a responder por 64,3% em 2016 e 57,7% em 2019 (CNT, 2019).

Destaca-se, nesse cenário, a criação do Plano Nacional de Manutenção Rodoviária (PNMR) a partir da Portaria Nº 1050 de 2015, abrangendo toda a rede rodoviária sob administração do DNIT. Da mesma forma, dentro do contexto do PMNR, o DNIT apresentou em 2016 o Programa Nacional de Manutenção de Obras de Artes Especiais (PROARTE), destinado a manutenção e reabilitação de OAEs em todo o país. Até os últimos dados

divulgados em setembro de 2020, já foram investidos em manutenção de OAEs e construção de passarelas um montante de 97,6 milhões de reais.

Evidencia-se, ainda, segundo a Pesquisa CNT de rodovias 2019, que os investimentos para manutenção e expansão da malha permanecem muito aquém do necessário. A CNT estima que seja necessário um investimento de R\$ 496,1 bilhões para intervenções de construção, pavimentação, duplicação, recuperação e demais adequações na infraestrutura rodoviária nacional.

Portanto, frente às, cada vez mais crescentes, necessidades de investimento na melhoria geral da infraestrutura rodoviária nacional, motivadas, sobretudo, pelo forte papel econômico exercido por esse modal no país, ganham relevância aqueles instrumentos que possibilitam a gestão desses ativos de forma eficiente. Os instrumentos de gestão – ou sistemas de gerenciamento – permitem o acompanhamento sistemático das condições das infraestruturas bem como fornecem parâmetros para correta tomada de decisão e alocação de recursos.

2.2 ASPECTOS GERAIS DAS OBRAS DE ARTE ESPECIAIS

2.2.1 Conceituação

Inseridas na rede rodoviária, as Obras de Artes Especiais (OAEs) constituem elementos formados por uma pista para passagem de cargas móveis e um vão livre que permite a transposição de obstáculos. Estão inclusos nesse grupo de estruturas as pontes, os viadutos, passarelas e pontilhões (ABNT, 2016).

Dentre as OAEs citadas, destacam-se as pontes devido ao seu elevado nível de complexidade estrutural. As pontes podem ser definidas como estruturas cuja função é possibilitar a transposição de obstáculos à continuidade do leito normal de uma via, sendo esses obstáculos cursos d'água, lagos, braços de mar, vales, ferrovias e outras rodovias (ABNT, 2019). PFEIL (1979) acrescenta que, quando uma ponte transpõe vales, outras vias ou obstáculos não constituídos por água, é referida como viaduto. Caso uma ponte apresente um vão livre menor do que seis metros, é definida como um pontilhão (DNIT, 2004b).

Ainda, a Norma 010/2004-Pro (DNIT, 2004b) define ponte como um a estrutura construída sobre uma depressão ou uma obstrução que sustenta uma pista para passagem de veículos e outras cargas móveis, e que tem um vão livre de mais de seis metros, incluindo a esta definição os viadutos, passagens superiores e inferiores.

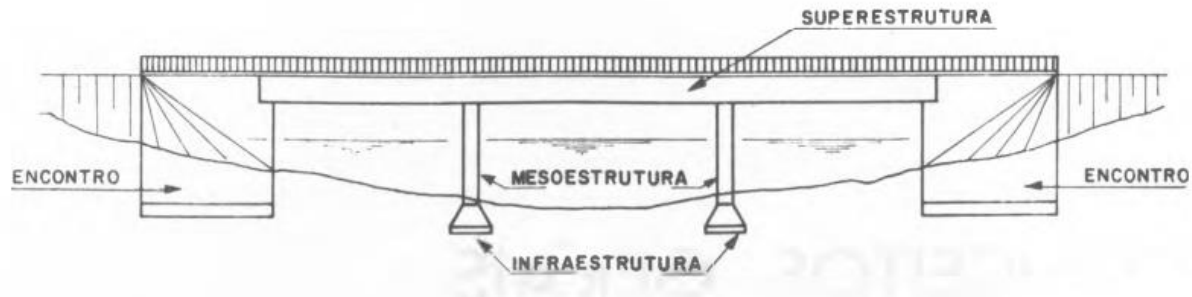
O *National Bridge Inspection Standards* (NBIS), marco institucional inicial da gestão de pontes dos Estados Unidos, define ponte (*bridge*) como uma estrutura constituída de suportes erguidos sobre uma depressão ou obstrução, como corpos d'água, rodovia ou ferrovia, possuindo uma via ou passagem para transportar o tráfego ou outras cargas móveis e tendo um vão medido ao longo do centro da estrada de mais de 20 pés, isto é, aproximadamente seis metros (FHWA, 2012). A definição da normativa DNIT segue, portanto, aquela apresentada pelas normas norte-americanas.

2.2.2 Elementos constituintes e classificação das pontes

O Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias do Departamento Nacional de Infraestrutura (DNIT) elenca os principais elementos componentes das pontes, isto é, o Estrado, a Superestrutura e a Infraestrutura (DNIT, 2004a). O Estrado tem por função receber diretamente o carregamento móvel e permanente, transferindo-os às estruturas subjacentes. É composto pelas lajes e por algum sistema estrutural secundário. A Superestrutura engloba os elementos componentes que fornecem suporte ao Estrado, transmitindo as cargas advindas deste aos apoios. É composta pelas vigas, arcos e estaios, a depender da tipologia estrutural da ponte em questão. Por fim, a Infraestrutura tem a função de fornecer o apoio necessário a Superestrutura e transmitir as cargas às fundações, sejam elas diretas ou profundas. É composta pelos encontros e pilares.

É comum a utilização de outra nomenclatura acerca dos componentes constituintes das pontes, assim como aquela apresentada por PFEIL (1979), a qual divide os componentes em Infraestrutura, Mesoestrutura e Superestrutura. O primeiro grupo é formado pelas sapatas, estacas, tubulões, blocos de fundação e demais elementos integrantes das fundações, possuindo a função de transmitir as cargas da Mesoestrutura ao solo. O segundo grupo é formado pelos pilares cuja função é transmitir as cargas advindas da Superestrutura e das demais forças solicitantes (pressões de vento e de água) à Infraestrutura. O último grupo é formado pelas lajes, vigas principais e secundárias, sendo a função fornecer o apoio ao estrado. O autor ainda afirma que os encontros podem ser classificados como Mesoestrutura ou Infraestrutura, possuindo como principal função combater os empuxos de terra dos aterros de acesso. A Figura 2 ilustra essa terminologia.

Figura 2 – Elementos constituintes das pontes



Fonte: PFEIL (1979)

VITÓRIO (2002) apresenta os demais elementos constituintes dos componentes principais. Segundo o autor, fazem parte da Superestrutura, para além das lajes e vigamentos, os passeios de pedestre, guarda corpos, barreiras, cortinas e alas, lajes de transição, juntas de dilatação, sistema de drenagem e a pista de rolamento. Já da Mesoestrutura, fazem parte também os aparelhos de apoio.

EL DEBS e TAKEYA (2007) também apresentam uma nomenclatura, evidenciando os componentes Superestrutura (formado pelo sistema estrutural principal e o tabuleiro), Aparelhos de Apoio (elemento de transição entre a Superestrutura e a Infraestrutura) e Infraestrutura (formado pelas fundações e suportes, sendo estes formados pelos pilares e encontros). Os autores também apresentam a classificação dessas estruturas de acordo com uma série de fatores. Aqui serão colocadas as classificações principais, ou seja, com relação ao:

- 1) Material da superestrutura: as pontes podem ser de madeira, alvenaria, concreto simples, concreto armado, concreto protendido, de aço e mistas;
- 2) Natureza do tráfego: pontes rodoviárias, ferroviárias, passarelas, aeroviárias, aquedutos, mistas;
- 3) Desenvolvimento planimétrico: pontes retas (ortogonais e esconsas) e pontes curvas;
- 4) Sistema estrutural: pontes em viga, em pórtico, em arco, pontes pênséis e estaiadas;
- 5) Seção transversal: pontes em laje (maciça ou vazada) e pontes em viga (seção T ou seção celular);
- 6) Processo de execução: pontes em concreto moldado no local, com elementos pré-moldados, balanços sucessivos, deslocamentos progressivos.

Apesar de apresentarem, via de regra, uma elevada durabilidade, as pontes não possuem uma vida útil infinita e, portanto, estão sujeitas aos processos de deterioração, sobretudo quando expostas a condições totalmente adversas. Assim como qualquer outra edificação, as pontes iniciam o processo de deterioração no momento em que é posta em funcionamento e a duração de sua vida útil dependerá de uma série de fatores, como as condições de uso e a realização de

ações de conservação (VITÓRIO, 2002). Nesse sentido, o adequado gerenciamento dessas estruturas deve partir do correto entendimento dos mecanismos de deterioração, dos meios de diagnóstico e das ações de engenharia que visam prolongar a vida útil.

2.2.3 Deterioração das pontes

O processo de deterioração de uma ponte pode ser entendido como o declínio da sua condição devido às alterações físicas e químicas de seus elementos constituintes (OLIVEIRA, 2019). As pontes se deterioram a partir de mecanismos diversos, sendo os principais o envelhecimento, ação de agentes agressivos, erros de execução, erros de dimensionamento de estruturas, má qualidade dos materiais, cargas móveis crescentes e projetos defasados com relação aos padrões atuais, acidentes por grandes impactos (DNIT, 2010; SILVA, 2016). A NBR 9452 (ABNT, 2019) define vida útil como o tempo estimado em que uma estrutura deverá cumprir suas funções em serviço. Assim, a deterioração, ao afetar a durabilidade das pontes, atuam de maneira a reduzir a sua vida útil.

Nesse sentido, a durabilidade das pontes envolve uma série de fatores que perpassam desde a fase de projeto, passando pela fase de construção e alcançando a fase de manutenção ao longo da vida (DNIT, 2010). A fim de obter a durabilidade desejada, a fase de projeto das pontes deve fornecer todas as condições de segurança necessárias bem como possibilitar que a estrutura não se torne imprópria ao uso antes do término de sua vida útil. A fase de construção deve contribuir com a correta execução, materiais adequados e a técnica apurada a fim de garantir a qualidade construtiva. A fase de manutenção deve introduzir as técnicas de conservação adequadas que possibilitem à ponte alcançar a vida útil planejada, sendo a falta de manutenção uma das principais causas de redução da vida útil (DNIT, 2010).

O processo de deterioração das estruturas tem como repercussão os surgimentos das anomalias. VERLY *et al.* (2020) indicam que, na literatura, diversos termos são utilizados para se referir às anomalias: danos, falhas, defeitos e agentes. A NBR 9452 (ABNT, 2019) utiliza o termo anomalia, definindo-a como a descaracterização de um elemento constituinte de uma ponte em relação ao seu estado original. A Norma 010/2004-Pro (DNIT, 2004b) utiliza a designação defeito, definindo-o como a falta de conformidade de um elemento com seus requisitos de projeto ou condições pré-estabelecidas. Diferentes fatores que provocam a deterioração irão gerar diferentes tipologias de danos presentes na estrutura.

O Manual de Recuperação de Pontes e Viadutos Rodoviários (DNIT, 2010) classifica os fatores causadores da deterioração das pontes como sendo:

- 1) Fatores intrínsecos: relacionados à própria estrutura, sendo os principais sua idade e a qualidade dos materiais empregados;
- 2) Fatores de tráfego: resultantes da utilização da estrutura e relacionados a velocidade do tráfego, carga transportada e distância entre eixos. Há uma tendência do aumento das cargas transportadas, aumentando o desgaste do pavimento e das juntas, fadiga, fissuração e desgaste dos aparelhos de apoio;
- 3) Fatores ambientais: são aqueles de natureza climática ou atmosférica, isto é, variações de temperatura, umidade, vento, efeitos sísmicos, chuvas ácidas, águas poluídas, agentes agressivos;
- 4) Fatores resultantes do tipo e intensidade da manutenção: a manutenção inadequada ou insuficiente permite a degradação da estrutura.

Outra classificação dos fatores que afetam a durabilidade das estruturas é apresentada por SILVA (2016). Esses fatores podem ser divididos em quatro processos: os mecânicos (relacionados aos carregamentos impostos à estrutura), biológicos (ação de micro-organismos que degradam os materiais), químicos (água, dióxido de carbono, cloretos, sulfatos, álcalis) e físicos (degradação devido a variações de temperatura, umidade, ciclo gelo e degelo, ação do tráfego, ação do fogo).

VITÓRIO (2002) elenca os principais danos relacionados aos mecanismos de deterioração das pontes, destacadamente as fissuras no concreto, a carbonatação, desagregação, disgregação, segregação, perda de aderência, corrosão da armadura, ataques por sulfatos e cloretos, movimentações, calcinação, erosões e sedimentações. Tais anomalias alteram a capacidade dos elementos e materiais desempenharem suas funções, podendo surgir de maneira isolada ou simultânea (SILVA, 2016).

VITÓRIO (2007) analisou dezoito colapsos estruturais de pontes ocorridos entre 1998 e 2005 em Pernambuco. Os colapsos foram classificados em três grupos: grupo A - desabamento da estrutura da ponte; grupo B - destruição dos aterros de acessos; grupo C - graves avarias localizadas nas fundações dos encontros e dos pilares. Apesar da diversidade de causas dos acidentes, percebeu-se que em apenas uma das obras o fator determinante do colapso foi avarias localizadas na superestrutura da ponte. Segundo o autor, todas as demais obras analisadas tiveram seus processos de colapso iniciados a partir de processos erosivos nos leitos dos rios. Ainda segundo ele, a erosão dos leitos dos rios é o maior causador de problemas graves em pontes ao redor do mundo. A Figura 3 apresenta duas das pontes colapsadas analisadas pelo autor.

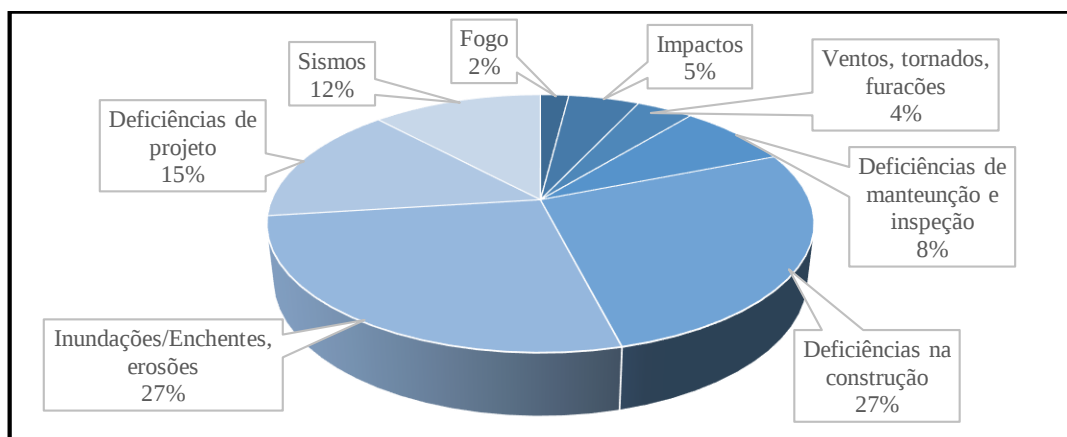
Figura 3 – Colapsos devido a ação de enchente e erosão em Pernambuco



Fonte: VITÓRIO (2007)

CAÑAMARES (2016) apresenta um estudo que analisou 256 colapsos estruturais de pontes ocorridos entre 1830 e 2010 ao redor do mundo. A análise focou em estabelecer a causa principal das falhas, conforme a Figura 4.

Figura 4 – Causas de colapsos de 256 pontes ao redor do mundo entre 1830 e 2010



Fonte: adaptado de CAÑAMARES (2016)

De acordo com a Figura 4, é possível constatar o predomínio de acidentes ocasionados devido a deficiência de execução e, corroborando com as observações de VITÓRIO (2007), situações de enchentes e demais situações envolvendo a erosão do leito dos rios. Destaca-se também como causa de colapsos as deficiências de projeto.

2.2.4 Meios de diagnóstico

HELENE (1993, apud MATJE, 2003) define diagnóstico como a identificação e descrição do mecanismo de deterioração, origens e das prováveis causas geradoras das anomalias presentes em uma estrutura. A constatação dessa anomalia pode ocorrer de maneira direta e evidente, como também pode demandar investigações mais detalhadas a partir de uma avaliação produzida por um especialista.

VITÓRIO (2002) realiza uma analogia entre um defeito estrutural e uma enfermidade em um ser humano, isto é, em uma estrutura, a ausência de um diagnóstico que aponte o tipo de patologia, sua gravidade, o agente causador e a forma de tratamento adequado poderá levar a um quadro irreversível de “morte” (colapso ou demolição). O diagnóstico, por sua vez, depende dos sintomas apresentados pela estrutura e da habilidade do especialista em detectar o agente causador. O autor ressalta que a localização e o tipo de dano encontrado possuem grande importância na análise.

MITRE (2005) argumenta que o processo de diagnóstico acerca da situação de uma estrutura ocorre por meio da análise de informações levantadas previamente através de uma inspeção. A análise de diagnóstico permite ao profissional envolvido obter resultados a partir de critérios de julgamento, etapa denominada de avaliação. Concluída a avaliação e com base em seus resultados, é possível estimar cenários futuros acerca da condição da estrutura e das necessidades de intervenção, processo denominado de prognóstico. Nesse sentido, o autor frisa que a inspeção não é um objetivo em si, mas uma forma de obter os dados necessários sobre uma determinada estrutura.

A Norma 010/2004-PRO define inspeção de ponte como:

Atividade técnica especializada que abrange a coleta de elementos, de projeto e de construção, o exame minucioso da ponte, a elaboração de relatórios, a avaliação do estado da obra e as recomendações, que podem ser de nova vistoria, de obras de manutenção, de obras de recuperação, de reforço ou de reabilitação **(DNIT, 2004b, p. 3)**.

Dessa forma, a normativa do DNIT acaba incluindo em sua definição de inspeção todas as etapas detalhadas por MITRE (2005), ou seja, coleta de dados, diagnóstico, avaliação e prognóstico. A inspeção constitui, portanto, fator chave da gestão de pontes, uma vez que a partir dela é possível obter todas as informações necessárias que irão alimentar os bancos de dados e fornecer auxílio à tomada de decisão por parte dos gestores. Os diversos países do mundo – como Alemanha, Estados Unidos, Reino Unido, França, Dinamarca, China, entre outros – que iniciam a implantação de seus sistemas de gerenciamento de pontes definem, prontamente, os padrões de inspeção, a frequência e as formas de diagnóstico e de armazenamento das informações levantadas.

MENDES (2009), por outro lado, destaca que muitas vezes há necessidade de avaliações experimentais mais aprofundadas para diagnosticar a real e atual qualidade dos materiais e a condição da estrutura. Para isso, são empregados ensaios não destrutivos – como esclerometria,

ultrassom, raio-x, medição de potencial eletroquímico, medição de profundidade de carbonatação – e ensaios destrutivos – como a retirada de testemunhos para ensaios laboratoriais. Além dessas técnicas, podem ser medidos os deslocamentos ocasionados na estrutura por carregamentos estáticos ou dinâmicos (MENDES, 2009). Há maior preferência por ensaios não destrutivos uma vez que esses permitem avaliações dos elementos sem prejudicar a sua utilização (SILVA, 2016).

2.2.5 Ações de intervenção nas pontes

Como relatado, os meios de diagnóstico permitem o levantamento do estado de deterioração das pontes, suas causas e as eventuais necessidades de intervenção. No âmbito da gestão de pontes, essas intervenções podem ser diferenciadas em manutenção, recuperação, reforço e reabilitação (DNIT, 2010). A manutenção pode ser entendida como o conjunto de operações que visam garantir a integridade da ponte e protegê-la da deterioração. MENDES (2009) destaca que a manutenção pode ter caráter preventivo ou corretivo. A primeira constitui o conjunto de ações de baixo custo que impedem o aparecimento de maiores danos na estrutura, minimizando, no longo prazo, a necessidade de intervenções de maior custo. A segunda visa solucionar problemas mais graves que não podem mais serem resolvidos pela manutenção preventiva.

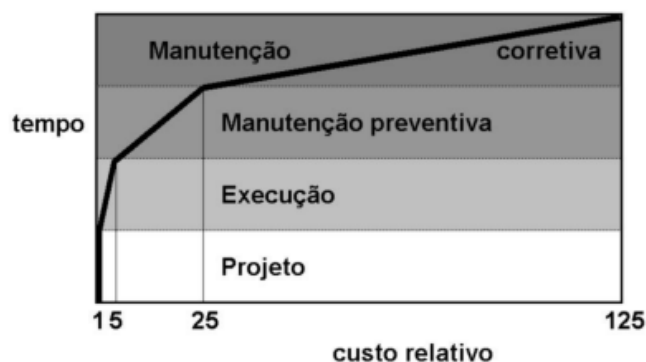
A recuperação pode ser entendida como o conjunto de atividades que eliminam defeitos e reduzem a velocidade de degradação da ponte, atuando no aumento da vida útil. O reforço visa acrescer ou substituir materiais estruturais para devolver à ponte condições parecidas ou melhores do que as iniciais com relação a sua capacidade de carga. A reabilitação, por sua vez, está relacionada às atividades que, além de recuperarem e reforçarem a ponte, introduzem modificações que aumentam o conforto e segurança dos usuários (adequações de largura, passeios laterais, barreiras, defensas) (DNIT, 2004b).

Quando uma ponte alcança o fim de sua vida útil ou um estado elevado de deterioração ou de obsolescência de seus padrões de projeto (carga de projeto, largura, gabaritos) nos quais os custos de recuperação, reforço ou reabilitação são demasiadamente altos, justifica-se a substituição da ponte, sendo esta a última forma de intervenção. As ferramentas de gestão devem tentar evitar ao máximo que as pontes alcancem este estágio de sua vida uma vez que os custos de substituição são bastante elevados (FHWA, 2012).

Nesse sentido, MENDES (2009) caracteriza a manutenção como a maneira mais econômica de estender a vida útil de uma ponte, planejando ações de engenharia a partir das

inspeções. As medidas de intervenção que são tomadas nas fases iniciais, incluindo aquelas medidas tomadas ainda na fase de projeto, são mais convenientes, seguras e menos custosas do que aquelas tomadas em fases mais avançadas da vida da ponte (MATJE, 2003). Uma maneira matemática de demonstrar essas constatações é por meio da Lei de Sitter (Figura 5), segundo a qual os custos de manutenção crescem em uma progressão geométrica de razão cinco com o passar do tempo e as diferentes fases de uma estrutura: projeto, construção, início da deterioração, início da propagação da deterioração e estado avançado de deterioração (MATJE, 2003; SILVA, 2016; MONTEIRO, 2017).

Figura 5 – Lei de Sitter



Fonte: NAVARRO LÓPEZ (2020)

2.3 SISTEMAS DE GERENCIAMENTO DE PONTES

As pontes são pontos críticos na infraestrutura rodoviária e o mau desempenho de qualquer uma delas tem o potencial de reduzir a capacidade operacional do sistema rodoviário do qual faz parte. Os impactos negativos econômicos e no meio ambiente podem frequentemente resultar da perda de tempo produtivo devido a atrasos e desvios no trânsito, acidentes nas zonas de trabalho ou aumento do consumo de combustível e emissões dos motores, entre outros problemas. Diversas pontes alcançam, ao longo do tempo, um estado no qual ações são necessárias para devolver às mesmas ou a alguns de seus componentes um nível satisfatório de condição e segurança (HOOKS e FRANGOPOL, 2013).

O estado atual de vulnerabilidade das pontes, segundo VALENZUELA et al. (2010), está diretamente relacionado com fatores como o crescimento do tráfego e das cargas transportadas, a variabilidade do vento, as forças sísmicas e hidráulicas e a deterioração natural dos materiais constituintes das pontes. Por isso, para os autores, há um contínuo esforço em desenvolver ferramentas que possibilitem avaliações integradas das condições das pontes e auxiliem na tomada de decisão dentro do contexto da gerência da manutenção dessas estruturas.

RASHID et al. (2016) identificou uma nova tendência emergente nas agências de transporte, isto é, devido a quase conclusão das rodovias necessárias e ao envelhecimento das pontes, o foco dos gestores mudou de uma ênfase na construção de novas infraestruturas para uma ênfase na manutenção, reparo e reabilitação das já existentes. Por outro lado, a tarefa de gerenciar tais infraestruturas tem se tornado cada vez mais desafiadora para as agências de transporte frente ao aumento das demandas, redução dos recursos financeiros e humanos, envelhecimento das estruturas e aumento da deterioração. As demandas por serviços de manutenção das diferentes infraestruturas são concorrentes entre si e os recursos disponíveis cada vez mais limitados (KABIR et al., 2014).

Frente a esse quadro que engloba estoques de pontes com elevado nível de deterioração, aumento da demanda de tráfego bem como das cargas transportadas, competição entre as diferentes infraestruturas pelos recursos de manutenção e a limitação de disponibilidade desses recursos, tornam-se primordiais aquelas ferramentas sistematizadas que permitem a tomada de decisão racional e amparada em evidências. No contexto da gerência de pontes, essas ferramentas são referidas como Sistema de Gerenciamento de Obras de Arte Especiais ou Sistemas de Gerenciamento de Pontes (SGP).

2.3.1 Conceituação

As ações que visam a conservação das pontes rodoviárias não se resumem apenas às atividades de manutenção e recuperação. Todas as iniciativas tomadas durante todo o ciclo de vida dessas estruturas e que objetivam planejar, priorizar, financiar, organizar ou adequar a operação, manutenção, reabilitação, modernização e substituição estão englobadas no escopo da gestão de pontes e, portanto, são capazes de relacionar entidades financiadoras, as necessidades sociais e as inspeções e avaliações (NAVARRO LÓPEZ, 2020).

Nesse sentido, NAVARRO LÓPEZ (2020) define um Sistema de Gerenciamento de Pontes (SGP) (*Bridge Management System – BMS*) como uma ferramenta que auxilia os responsáveis pelas estruturas atribuindo-lhes a capacidade de selecionar a atividade correta, na ponte certa, no tempo adequado e com custo justo. Na mesma direção, OLIVEIRA (2019) define Gestão de Pontes (*Bridge Management*) como a administração de um processo de manutenção e conservação de pontes cujo o objetivo é a elaboração de recomendações e ações de engenharia através da programação de inspeções e avaliações dessas pontes e do registro e manipulação dos dados gerados.

Um SGP constitui uma ferramenta de gestão essencial, possuindo como missão antecipar os impactos negativos associados às deficiências das infraestruturas e implementar medidas preventivas e corretivas. As decisões tomadas no contexto gerencial podem assumir caráter baseado tanto nas necessidades atuais de curto prazo da rede (*need-based*) bem como caráter de planejamento de investimento a longo prazo (ECHAVEGUREN e DECHENT, 2019).

Em uma perspectiva de preocupação com retorno financeiro de investimento, SALEH et al. (2013) apontam a importância dos sistemas de gerência dos elementos de uma rede viária como forma de não apenas preservar sua funcionalidade, mas também de preservar os recursos investidos nesses ativos. Nesse sentido, um Sistema de Gerenciamento de Pontes é apresentado como uma ferramenta de auxílio às agências gerenciadoras na escolha otimizada de investimentos na rede de pontes, considerando as políticas próprias de gerência das mesmas, as metas de longo prazo e as limitações de orçamento.

O importante documento denominado Gestão de Pontes na Europa (*Bridge Management in Europe - BRIME*) que objetivou propor um modelo de gestão comum para países europeus, definiu os objetivos de um Sistema de Gerenciamento de Pontes. São eles (WOODWARD et al., 2001):

- 1) Garantir a segurança dos usuários: relacionado a necessidade de manter as pontes com a devida estabilidade estrutural;
- 2) Conservar o patrimônio a longo prazo: relacionado com a necessidade de realizar as inspeções, obter avaliações acerca da condição das estruturas e programar de maneira otimizada as ações de conservação, tudo isso a um custo mínimo;
- 3) Assegurar um nível de serviço adequado: prover aos usuários um bom nível de funcionalidade das pontes, um adequado nível de conforto e de condições de fluxo.

2.3.2 Estrutura de um SGP

AMINI et al. (2016) apresentam a estrutura básica de um Sistema de Gerenciamento de Pontes, dividindo-o em três módulos: banco de dados (recebe e armazena os dados referentes à rede de pontes de forma estruturada), análise de dados (analisa quantitativamente e qualitativamente os dados para prover um diagnóstico claro da situação da rede) e tomada de decisão (planejamento das ações de manutenção, das inspeções, priorização e definição dos tipos de reparo).

Com relação à integração desses módulos entre si e às formas de manipulação das informações bem como de tomada de decisão, VALENZUELA et al. (2010) identificam duas gerações de SGP: uma geração antiga focada nos inventários, nas inspeções e na avaliação das pontes e sistemas mais recentes focados na teoria de sistemas, utilizando recursos matemáticos e estatísticos para criar planos de manutenção. Da mesma forma, WOODWARD et al. (2001) argumenta que, em um primeiro momento, as informações levantadas através das inspeções e avaliações eram, originalmente, manejadas de maneira manual e subjetiva. Atualmente, com a presença da informática e com o crescimento dos estoques de pontes, procedimentos baseados em sistemas automatizados e computadorizados passaram a ser utilizados.

2.3.2.1 BANCO DE DADOS

MENDES (2009) argumenta que o ponto de partida para a implementação de um sistema de gestão de pontes é a construção de um banco de dados contendo informações gerenciais diversas que vão desde dados colhidos em inspeções até informações de custos de atividades de manutenção. No âmbito da gestão da informação, o autor estabelece um banco de dados como a base sobre a qual um Sistema de Gestão de Pontes está assentado e para o manuseio do mesmo é necessário um *software* que possibilite o armazenamento correto, acesso e análise a partir de modelos matemáticos ou estatísticos, dando substância ao processo de tomada de decisão.

O banco de dados deve conter uma variedade de informações, isto é, inventários, dados de projeto, identificação, serviços de manutenção já realizados, dados de inspeção, custo de reparo, possíveis reparos, diretrizes de gerência, histórico de avaliação da condição, etc (SALEH, 2013). O tipo de informação contida nos bancos de dados irá depender da metodologia empregada no sistema de gerenciamento em questão e de suas diretrizes de coleta, geralmente, expostas em manuais, normas e guias.

Os tipos de dados coletados também irão variar conforme o nível de gestão implementado. Nesse sentido, segundo ALMEIDA (2013), alguns sistemas centram análise a nível de rede viária, outros em conjunto de pontes mais reduzido (parque de pontes) e outros em pontes isoladas (análise ponte a ponte). Há, ainda, aqueles que possuem como objeto os componentes e elementos de cada ponte (vigas, lajes, pilares, aparelhos de apoio, encontros, etc). Alguns sistemas privilegiam análises em diferentes níveis de abrangência simultaneamente, o que permite maior otimização dos resultados. Alerta-se que quanto maior a abrangência de um sistema, menor o grau de detalhe da análise e, portanto, mais gerais serão os dados levantados. No mesmo sentido, OLIVEIRA (2019) sinaliza que as análises a nível de

elemento, de ponte (projeto) e de rede devem interagir de forma que os primeiros níveis sirvam de base de análise aos níveis seguintes.

BAI et al. (2013) esclarece a diferença entre as abordagens a nível de ponte e a nível de rede: a primeira abordagem está relacionada a identificação da melhor estratégia de conservação de uma ponte específica em meio a diversas opções de estratégias; a segunda está relacionada a seleção de um conjunto de pontes dentro de um grande estoque de pontes frente às limitações de orçamento.

Ressalta-se, ainda, a importância do contínuo processo de realimentação do banco de dados como fator importante na constante evolução de qualidade do sistema de gerenciamento. NAVARRO LÓPEZ (2020), destaca que, para que um sistema de gerenciamento de pontes alcance seus objetivos, são necessários procedimentos sistematizados de coleta, processamento e atualização dos dados.

2.3.2.2 ANÁLISE DE DADOS

O módulo de análise de dados contém as estruturas responsáveis por processar os dados provindos do banco de dados. A maneira pela qual ocorrerá o processamento também depende do tipo de sistema que se pretende empregar. O módulo de análise de dados pode conter modelos de deterioração (responsáveis por realizar a previsão do estado de condição futuro das pontes), modelos de custo ou econômicos (responsáveis por estimar o custo do ciclo de vida de uma ponte) e também diversos tipos de indicadores de desempenho das pontes.

Os modelos de deterioração de pontes constituem processos matemáticos que a partir de um padrão de dados históricos permitem prever a condição futura de uma ponte. Do ponto de vista metodológico, esses modelos podem ser determinísticos ou estocásticos, sendo possível através de ferramentas estatísticas estabelecer as taxas de deterioração ao longo do tempo (SILVA, 2020). No Brasil, alguns modelos de deterioração já foram desenvolvidos, notadamente nos trabalhos de MOSCOSO (2013), OLIVEIRA (2019) e NAVARRO LÓPEZ (2020)

Os modelos de custo são aqueles que visam obter ou estimar todos os custos relacionados ao de ciclo de vida das pontes (*Bridge Life Cycle Cost – Bridge LCC*) e tornar esses valores monetários variáveis no tempo a partir da aplicação de ferramentas de matemática financeira. Os custos de ciclo de vida podem ser classificados em custos diretos e indiretos. Os diretos estão relacionados aos custos da fase de serviço do ciclo de vida – envolvendo inspeção, manutenção, reparação – e das fases de construção e projeto (ALMEIDA, 2013; BUKHSH, 2019).

Os custos indiretos estão ligados aos usuários das vias e ganham importância quando essas vias possuem elevados níveis de tráfego e restrições de funcionalidade severas. Esses custos advêm das obras de reparação e manutenção e podem ser estimados a partir da duração dessas intervenções e suas implicações no fluxo do tráfego. Podem ser acrescidos os custos relacionados a acidentes, bem como os custos devido a limitações funcionais impostas (como por exemplo a limitação de carga máxima ou velocidade de circulação). Existem também os custos indiretos relacionados à sociedade (sociocultural, econômico, ambiental e político). Os custos de vulnerabilidade procuram considerar a probabilidade de falha (risco) ao longo da vida útil e suas consequências. Muitos desses custos são de difícil modelagem (ALMEIDA, 2013; BUKHSH, 2019). A seguir, a Tabela 1, resume os tipos de custos.

Tabela 1 - Custos diretos e indiretos envolvidos na gerência de pontes

Entes envolvidos	Custos diretos		Custos indiretos
Administradores (agências gestoras)	Licitação:	- Estudos preliminares	Riscos
		- Projeto	
	Construção:	- Execução	
	Serviços:	- Inspeção	
		- Manutenção	
Utilizadores		- Reparação	
	Alienação:	- Demolição	
		- Substituição	
			Atrasos de tráfego (obras, acidentes, limitação de carga e velocidade)
			Riscos
Sociedade			Impacto ambiental
			Riscos

Fonte: adaptado de ALMEIDA (2013)

A ideia de desempenho, por sua vez, está ligada a capacidade de cumprir um propósito específico ou conjunto de propósitos. O desempenho de uma ponte (*Bridge Performance*) abrange como essas estruturas funcionam e se comportam sob fatores complexos e inter-relacionados aos quais estão sujeitas no dia a dia – tráfego, cargas, chuvas ou ventos fortes, etc (HOOKS e FRANGOPOL, 2013). Assim, ALMEIDA (2013) elenca três grupos principais: estado de condição, avaliação de segurança e avaliação de risco. Na avaliação de estado de condição, são consideradas as inspeções visuais realizadas e a indicação de desempenho ocorre

de maneira mais simples e a nível generalizado, geralmente através de um índice numérico (Índice de Condição). A avaliação de segurança remete a um processo de inspeção mais detalhado, complexo e custoso, com presença de procedimentos de avaliação de capacidade de carga, com presença de ensaios e que geram diagnósticos também mais detalhados. A avaliação de segurança é justificável quando a avaliação do estado de condição mostra-se insuficiente. A avaliação de risco se faz necessária quando se pretende analisar a probabilidade de falha da estrutura e suas consequências e, igualmente, depende de inspeções mais detalhadas, complexas e dispendiosas (ALMEIDA, 2013).

Existem diversas formas de medir o desempenho de uma ponte, sendo através de um índice determinado a partir de uma fórmula e dados de entrada, se a ponte atende ou não um critério definido, classificações qualitativas, utilização de dados estatísticos, etc (HOOKS e FRANGOPOL, 2013). Da mesma forma, o desempenho pode ser avaliado em diversos aspectos, isto é, desempenho estrutural, funcional, sociais, ambientais e econômicos.

2.3.2.3 TOMADA DE DECISÃO

O módulo de apoio à decisão é responsável por gerar informações úteis aos gestores para que a decisão a ser tomada seja a mais adequada possível frente às necessidades e limitações da rede de pontes. Os processos de auxílio à tomada de decisão são variados, a depender do caráter do SGP em questão, seus indicadores de desempenho empregados e formas de processamento da informação. Assim, MACHADO (2018) identifica duas formas principais de análise: uma relacionada à priorização a partir de métodos de ponderação de parâmetros envolvendo métodos numéricos, estatísticos, probabilísticos e comparativos; e outra relacionada à otimização do custo do ciclo de vida, paralelamente à imposição de restrições de desempenho mínimo às pontes.

WOODWARD et al. (2001), de forma semelhante, identifica, em relação à tomada de decisão envolvendo gestão de pontes, duas abordagens. A primeira abordagem faz referência àqueles países que não possuem um histórico de gerência de pontes e que estão iniciando as ações e estratégias de manutenção desses ativos. Nesse sentido, a priorização é baseada na relação entre índices de condição e índices estratégicos (geralmente em abordagem multicritério, envolvendo hierarquias de rodovias da rede, dificuldades de rotas alternativas, etc). É justamente nesse nível de gestão que o Brasil pode ser enquadrado, uma vez que a cultura gerencial, a coleta de dados por inspeção e as ferramentas de análise desses dados ainda não estão totalmente consolidadas. A segunda abordagem refere-se àqueles países que já possuem ações de manutenção regularmente aplicadas e a condição das pontes apresenta níveis

satisfatórios. Nesses países a tomada de decisão ocorre por meio de otimização dos recursos a serem aplicados, envolvendo análises de custo de manutenção e sociais bem como as previsões da condição futura das pontes através de modelos de deterioração. Um exemplo seria os Estados Unidos e seu *software* mais famoso de gestão de pontes denominado PONTIS.

Com relação a priorização envolvendo a primeira abordagem descrita anteriormente, destacam-se as análises multicritério. A análise multicritério possibilita conjugar diversos fatores com importâncias relativas variadas para escolher uma alternativa dentro de um grupo de alternativas possíveis. Destacam-se os métodos de ponderação, como o *Analytical Hierarchy Process* (AHP); os métodos de seleção, como a soma ou o produto ponderados, o *Elimination Et Choix Tradusant la Réalité* (ELECTRE) ou o *Preference Ranking Organization Methodology of Enrichment Evaluation* (PROMETHEE) (ALMEIDA, 2013). É justamente nessa perspectiva de gestão que o presente trabalho pretende se debruçar.

Por sua vez, a otimização consiste na minimização ou maximização de determinado parâmetro de apoio à decisão. Essa otimização pode ser realizada englobando diversos objetivos diferentes simultaneamente, sendo chamada de otimização multiobjetivo. Pode-se, por exemplo, objetivar minimizar todos os custos de ciclo de vida de uma rede de pontes, ao mesmo tempo que se busca a maximização do estado de condição das pontes. Atualmente, destacam-se como ferramentas utilizadas os algoritmos genéticos e as redes neurais (ALMEIDA, 2013). Nesse sentido, os modelos de otimização funcionam a partir dos custos estimados através dos modelos de custos a fim de determinar a estratégia ótima de ação com o menor custo possível (JEONG et al. 2018).

Dentre as metodologias de otimização, destaca-se como a mais comum e mais antiga, a Análise de Custo Benefício (*Benefit-Cost Analysis – BCA*). Essa técnica consiste em avaliar os efeitos positivos e negativos em termos monetários de cada estratégia de ação planejada a fim de obter aquela de melhor retorno. A forma mais comum de realizar essa análise é por meio da Razão de Custo Benefício (*Benefit-Cost Ratio – B/C*) (Equação 1). Projetos com B/C maior ou igual a um são considerados economicamente eficientes, ou seja, os efeitos positivos (benefícios) foram predominantes frente aos efeitos negativos (custos). Outras formas de análise são a de Valor Presente da Rede (*Net Present Value*) e Taxa de Retorno Interno (*Internal Rate of Return*) (REED e RUTHERFORD, 1997).

$$B/C = \frac{\sum_{t=1}^n B_{jt}(1-i)^{-t}}{\sum_{t=0}^n C_{jt}(1-i)^{-t}} \quad (1)$$

Em que:

B_{jt} : benefícios obtidos pelo projeto j no fim do período t;

C_{jt} : custos obtidos pelo projeto j no fim do período t ;

n : período de análise (horizonte da análise);

i : taxa de juros.

Dentro do contexto da tomada de decisão, estão inseridos os tipos de ações recomendadas pelos sistemas de gerência de pontes, havendo uma considerável variação nas abordagens. Existem sistemas que possuem maior grau de pormenorização das ações recomendadas e chegam a indicar atividades de manutenção a nível de elemento devidamente quantificadas. Por outro lado, os sistemas que lidam com grandes quantidades de pontes ou com análises de longo prazo costumam indicar apenas os tipos de atuação a serem realizadas (manutenção, recuperação, reabilitação, substituição), ficando a pormenorização dos serviços reservada às etapas de execução (ALMEIDA, 2013).

Por fim, AKGUL (2016), evidencia a classificação dos tipos de Sistemas de Gerenciamento de Pontes apresentado pelo *Japan International Cooperation Agency* (JICA), responsável pela gestão de pontes no Japão. Os SGP estariam divididos em quatro níveis básicos, isto é, sistemas baseados em:

- 1) Inspeções simples em que as decisões de manutenção, reparo ou substituição são tomadas a partir das opiniões de engenheiros;
- 2) Rankings de prioridade nos quais as decisões ocorrem por meio da pontuação das pontes a partir de índices que expressam quantitativamente o desempenho de cada ponte em diversas características;
- 3) Otimização a nível de ponte, nos quais uma gama de alternativas de ação de engenharia é avaliada para cada ponte a fim de obter aquelas que garantam o menor custo de ciclo de vida e a melhor relação custo-benefício;
- 4) Otimização a nível de rede, ocorrendo otimização tanto a nível de ponte como também a nível de rede.

2.3.3 Indicadores de desempenho de pontes

Um indicador de desempenho constitui uma característica de uma ponte que indica a sua condição. Pode ser expresso na forma de um parâmetro de desempenho dimensional – descreve um certo aspecto quantitativamente - ou adimensional – descreve um aspecto de forma qualitativa. Para avaliar um indicador é necessário dispor de limites de desempenho, isto é, presença ou não, nível alto ou baixo ou estado crítico ou não de um determinado problema (STRAUSS, et al., 2016).

Nesse sentido, os limites de desempenho estão relacionados às metas de desempenho, ou seja, um tipo de propriedade ou comportamento requerido a uma ponte durante sua vida útil. Diferentes tipos de meta necessitam ser alcançados pelas pontes de uma rede a partir de estratégias eficientes e eficazes de manutenção. Para verificar se uma meta está sendo atingida ou não é necessário avaliar diversos indicadores e suas influências sobre a meta a ser alcançada (STRAUSS, et al., 2016).

Os indicadores podem ser classificados de acordo com seu nível de análise (elemento, pontes e rede). A nível de elemento, o aspecto mais importante é a avaliação dos danos. Um dano pode ser analisado pelo seu estado (grau e extensão) ou pela fase de evolução em que se encontra. Um elemento também pode ser avaliado de acordo com a funcionalidade, isto é, se os danos presentes afetam ou não a função que ele desempenha na estrutura (STRAUSS, et al., 2016).

A nível de ponte os indicadores buscam avaliar o impacto dos elementos danificados na funcionalidade da estrutura como um todo a partir da consideração das relevâncias de cada um dos elementos constituintes. A relevância pode ser analisada de acordo com os seguintes aspectos: segurança estrutural, facilidade de manutenção, impactos na segurança do tráfego e na durabilidade da estrutura. Busca-se, assim, responder à pergunta: Como o colapso de um elemento particular poderia afetar cada um desses aspectos na ponte como um todo? (STRAUSS, et al., 2016).

A nível de rede, os indicadores buscam medir qual a importância da ponte para a manutenção de um adequado nível de serviço da rede rodoviária, a fim de obter uma hierarquia. As pontes mais importantes dentro da hierarquia estão associadas a maiores urgências de manutenção, uma vez que essas estruturas, ao permanecerem fora de serviço um período de tempo, causam grandes prejuízos à rede (STRAUSS, et al., 2016).

Segundo STRAUSS, et al. (2016) o indicador mais comum é o Índice de Condição (*Condition Index*, *Condition Rating*, *Bridge Health* ou *Deterioration Index*) obtido por meio de inspeção visual. Em muitos países este é o único indicador utilizado.

2.3.3.1 ÍNDICE DE CONDIÇÃO DE PONTES

Segundo STOCHINO et al. (2018), a principal meta de um SGP é obter um panorama de cada estrutura que torne possível a escolha das ações de manutenção mais adequadas ou, quando necessário, a indicação de investigações mais aprofundadas. Em diversas situações, com o objetivo de priorizar os investimentos de manutenção, as pontes são sujeitas a estratégias de classificação por meio de avaliações numéricas (*ratings*) de seu estado de condição.

Nesse sentido, cada agência de transporte e cada sistema de gerenciamento apresenta seu próprio ferramental que possibilita a avaliação da condição de seus parques de pontes. Essas ferramentas procuram se adequar às características específicas de cada país e de cada sistema, possuindo relação direta com as diferentes formas de realizar as inspeções, os tipos de informações levantadas e a maneira como se organiza os bancos de dados.

A forma mais comum de avaliar a condição é por meio do Índice de Condição de Ponte (*Bridge Condition Index – BCI*) que consiste em um índice que representa quantitativamente a deterioração geral de uma ponte ou de um elemento de uma ponte. O índice de condição, nesse sentido, constitui ferramenta capaz de avaliar a conformidade estrutural e funcional das pontes, sendo determinado a partir do estado de condição de cada elemento constituinte das estruturas. Assim, permite a identificação da estrutura mais deteriorada e aquela que mais urgentemente necessita de intervenção (CHASE et al., 2016).

Os Índice de Condição de Ponte encontrados nos diversos sistemas de gerência dos principais países do mundo podem ser classificados conforme suas características e métodos de determinação em quatro grupos distintos: método baseado em proporção (*Ratio-based*), abordagem de média ponderada, abordagem de pior condição de componente, método qualitativo (CHASE et al., 2016).

A abordagem de proporção foi desenvolvida de forma pioneira pelo Departamento de Transporte da Califórnia nos Estados Unidos e o índice gerado avalia a atual condição da ponte através da aglutinação da atual condição de todos os elementos constituintes da estrutura em comparação com a melhor condição possível que esses elementos podem apresentar (logo após a construção). A denominação do indicador californiano é Índice de Saúde de Ponte (*Bridge Health Index – BHI*). A premissa básica do método é que uma ponte possui um valor de ativo inicial que vai depreciando à medida que a ponte se deteriora (CHASE et al., 2016).

A abordagem de ponderação é o tipo mais comum e refere-se à ponderação da condição individual dos elementos constituintes, identificando o tipo, a severidade e extensão dos danos existentes, a fim de gerar uma média que representa condição da ponte como um todo. Alguns outros índices utilizam dados operacionais (por exemplo, volume de tráfego) como ponderador para prover informações acerca do nível de serviço exigido pela ponte. É possível citar diversos países que utilizam essa abordagem: Reino Unido, África do Sul, Austrália, Áustria, Eslovênia e Finlândia são exemplos (CHASE et al., 2016).

Na abordagem de pior condição, o índice de condição da ponte como um todo corresponde ao estado de condição do componente mais deteriorado da estrutura. Nesse sentido, nem todo os danos são parametrizados para o cálculo de um índice geral, sendo capturados os

danos mais críticos. O número de componentes que irão contribuir para o índice geral é diferente de um país para o outro (CHASE et al., 2016). Países como Brasil e Alemanha podem ser citados como exemplo.

A partir das informações obtidas nas inspeções visuais, os métodos qualitativos permitem uma indicação direta e descritiva da condição das estruturas sem utilizar escalas numéricas. O sistema australiano, por exemplo, avalia as pontes utilizando indicadores qualitativos (ruim, regular e bom) baseado no estado de condição e na importância (baixa, média e alta) do elemento avaliado para integridade da estrutura (CHASE et al., 2016). O Anexo

Há outros métodos de determinação do índice de condição de pontes que não podem ser classificados nas categorias já expressas anteriormente e que utilizam metodologias diversas. Um exemplo a ser citado é o Índice de Suficiência (*Sufficiency Rating – SR*), desenvolvido nos Estados Unidos e que indica a suficiência da ponte em permanecer em serviço. Esse indicador será abordado na seção 2.3.4.4. O Anexo A apresenta alguns Índices de Condição de diferentes países do mundo.

KUŠAR e ŠELIH (2014) elencam os motivos pelos quais uma metodologia clara e bem definida para avaliação da condição de pontes através de inspeções se faz necessária, isto é, servir como base na decisão envolvendo diversos aspectos, tais como o escopo e tipo de ação de reabilitação a ser empregada, o diagnóstico do *status* atual das estruturas e o uso em modelos de previsões futuras da condição das mesmas. Defendem, ainda, que apenas com boas metodologias pode-se esperar que a classificação da condição produza resultados significativos, ou seja, resultados que podem levar a decisões racionais sobre a prioridade e escopo das ações de conservação.

TAGHADDIS e MOGAMED (20), ao definirem Índice de Condição como uma importante ferramenta de auxílio à gestão de pontes, dão ênfase a limitação desse indicador, uma vez que, na maioria dos casos, são incapazes de indicar a funcionalidade da estrutura do ponto de vista do tráfego e da segurança na sua avaliação.

Nota-se, portanto, que os índices de condição de pontes, desde que estabelecidos por metodologias bem definidas e por pessoal capacitado, podem ser utilizados como ferramentas de priorização, uma vez que revelam as estruturas mais deterioradas. Por outro lado, esses indicadores de desempenho também são constantemente aliados a outros capazes de caracterizar o desempenho estrutural, funcional, estratégico e econômico-financeiro das pontes, conformando, assim, estratégias mais completas de priorização.

2.3.4 Gestão de Pontes nos Estados Unidos

Os Estados Unidos são considerados país referência na gestão de pontes, sendo o pioneiro na montagem de um banco de dados de abrangência nacional (*National Bridge Inventory – NBI*) acerca de seu estoque ainda na década de 1970. Assim, buscou-se analisar os principais conceitos de gestão de pontes nesse país bem como seus principais aspectos normativos.

2.3.4.1 CONDIÇÃO ATUAL DO ESTOQUE DE PONTES

Segundo informações do último relatório da *American Society of Civil Engineers* (ASCE), os EUA possuem 617.084 pontes. Atualmente, 42% delas possuem no mínimo 50 anos de idade e 7,5% estão classificadas como Estruturalmente Deficientes (SD) (média de idade de 69 anos). A idade média das pontes é de 44 anos e estima-se que seriam necessários 125 bilhões de dólares para realizar os reparos necessários bem como praticamente dobrar os investimentos anuais em reabilitação de estruturas (de 14 bilhões para 22,7 bilhões anuais). Como resultado, o principal fundo (*Highway Trust Fund*), que historicamente financia muitos dos projetos de rodovias e pontes do país, está à beira da insolvência há mais de uma década. Importante atentar que, nos EUA, a maior parte das pontes foram projetadas para uma vida de serviço de aproximadamente 50 anos (ASCE, 2021).

Foi notável a redução do número de pontes designadas como SD na última década: de 12,1% em 2009 para 7,5% atualmente. Entretanto, há uma tendência de redução da taxa de diminuição da quantidade de pontes SD e um crescimento da taxa de aumento de pontes passando da condição Boa para a Regular, isto é, a taxa de deterioração excedendo a taxa de reparo, reabilitação e substituição (ASCE, 2021).

Apesar do NBI não realizar mais o mapeamento das pontes Funcionalmente Obsoletas (FO), existem, atualmente, mais de 94.000 pontes com gabaritos verticais ou horizontais inadequados e geometria inadequada. Essas pontes não atendem à demanda de tráfego atual ou se encontram fora dos padrões atuais, e muitas delas agem como gargalos, aumentando o congestionamento e a vulnerabilidade a colisões devido a larguras ou acostamentos inadequados, gabaritos verticais abaixo do padrão ou faixas insuficientes para a demanda de tráfego. Além disso, 10% das pontes americanas possui algum tipo de restrição de carga ou de tráfego (ASCE, 2021).

2.3.4.2 BREVE HISTÓRICO

O marco inicial do ganho de importância da necessidade de gerir ao longo do tempo o parque de pontes nos EUA foi o colapso da *Silver Bridge* em 1967, em Ohio, que vitimou 55 pessoas (Figura 6). Após o ocorrido, uma série de iniciativas foram tomadas, especialmente envolvendo a conformação de uma série de documentos normativos visando padronizar os procedimentos de inspeção e avaliação das estruturas com o objetivo de registrar as características das pontes e seu estado de funcionamento (MENDES, 2009).

Figura 6 - Colapso da Silver Bridge



Fonte: FHWA, 2012.

A partir do final dos anos 1980 e começo dos anos 1990, as agências de transporte norte-americanas passaram a dar centralidade a uma concepção de gestão em forma de sistema (*Bridge Management System – BMS*). Assim, em 1991, é criado pela FHWA o *software* PONTIS, um BMS para auxiliar as agências de transportes na tomada de decisão quanto à manutenção, recuperação e substituição de estruturas a partir de um banco de dados nacional, ferramentas de formulação de estratégias ótimas contendo modelos preditivos e de custo. Ainda, nos mesmos moldes do PONTIS, o *National Cooperative Highway Research Program* (NCHRP), do *Transportation Research Board* (TRB), lança, em 1992, o *software* BRIDGIT. Ambos os *softwares* são largamente utilizados até os dias atuais nos EUA (MENDES, 2009).

Assim, o aprofundamento dos procedimentos de gerência de pontes nos Estados Unidos pode ser descrito a partir dos seguintes marcos históricos (FHWA, 2012):

- 1) Colapso da *Silver Bridge* em 1967;
- 2) Década de 1970: *Federal Highway Administration* (FHWA) publica o *National Bridge Inspection Standards* (NBIS) e cria um banco de dados de abrangência nacional, o *National Bridge Inventory* (NBI); publica também o *Bridge Inspector's Training Manual* (atualmente denominado *Bridge Inspector's Reference Manual - BIRM*) e o *Recording and Coding Guide for the Structure Inventory and Appraisal of the Nation's Bridges* (chamado de *Coding Guide*);

- 3) Década de 1990: FHWA patrocina a criação do software de gestão PONTIS; NCHRP patrocina a criação do *software* BRIDGIT.

2.3.4.3 AVALIAÇÃO DAS PONTES

Nos Estados Unidos, conforme o NBIS, é fundamental a realização de inspeções em pontes em intervalos de dois anos. As determinações que orientam as inspeções são realizadas através do *Coding Guide*, isto é, documento que regulamenta as instruções e métodos de obtenção de mais de 125 tipos de dados. Esses dados podem ser agrupados em diferentes tipos, ou seja, aqueles referentes a descrição geral das pontes e a informações administrativas; relacionados às características funcionais e operacionais; tipos estruturais e tipos de materiais empregados; informações acerca dos vãos, geometrias e gabaritos; condição estrutural e capacidade de carga; informações acerca do fluxo hídrico e dos acessos; recomendações e custos; outras informações (NCHRP, 2009).

Os resultados das avaliações e inspeções de todas as pontes são reportados dos Estados da federação ao FHWA, que os compila e processa no âmbito do banco de dados NBI. Esse banco de dados acumula as informações e estatísticas referentes às pontes do país inteiro (NCHRP, 2009). Os dados do NBI determinam um Índice de Condição (*Condition Rating*) para os componentes principais das pontes, ou seja, o estrado, a superestrutura, a subestrutura e o grupo de elementos complementares. O índice é atribuído a cada uma das partes em separado, não sendo atribuído nenhum índice a ponte como um todo. Os valores assumidos variam de 0 (fora de serviço) e 9 (excelente estado) (FHWA, 2012).

Além do Índice de Condição, um Índice de Classificação (*Appraisal Rating*) é atribuído à ponte a fim de avaliar seu nível de serviço, isto é, se a ponte está ou não atendendo a função para qual foi planejada. Os itens observados são: avaliação estrutural, geometria do tabuleiro, gabaritos, condições do curso d'água e as aproximações, itens de segurança e condição dos elementos sujeitos a erosão (FHWA, 2012). Ao contrário dos itens relacionados ao Índice de Condição, os itens de classificação acerca dos níveis de serviço não são computados por inspetores, sendo determinados pelo programa NBI *Edit/Update* a partir de valores de outros itens avaliados nas inspeções (NCHRP, 2009).

Cada um desses parâmetros considerados também recebem uma nota que varia entre 0 e 9. A partir do desempenho alcançado nas avaliações de condição (*Condition Rating*) e nas classificações acerca do nível de serviço (*Appraisal Rating*), as estruturas podem ser classificadas em Estruturalmente Deficientes (*Structurally Deficient – SD*) ou Funcionalmente Obsoletas (*Functionally Obsolete – FO*) (FHWA, 2012), conforme a Tabela 2.

Tabela 2 – Classificações das pontes segundo a FHWA

Classificação	Características
Estruturalmente Deficientes (SD)	- Avaliação da condição do estrado, superestrutura ou subestrutura menor ou igual a quatro (<i>Condition Rating</i>); - Desempenho estrutural ou condição do curso d'água menor ou igual a dois (<i>Appraisal Rating</i>).
Funcionalmente Obsoletas (FO)	- Geometria, Gabaritos ou Condições dos acessos menor ou igual a três (<i>Appraisal Rating</i>); - Desempenho estrutural ou condição do curso d'água igual a três (<i>Appraisal Rating</i>).

Fonte: autoria própria

As pontes SD indicam a presença de danos severos que ameaçam a estrutura. Já as pontes FO não atendem mais aos critérios da rede da qual faz parte, podendo apresentar ausência de equipamentos segurança ou incapacidade de lidar com o volume, velocidade, tamanho ou peso do tráfego atual (JEONG, 2018).

2.3.4.4 ÍNDICE DE SUFICIÊNCIA

A FHWA também prever o cálculo do Índice de Suficiência (*Sufficiency Rating* – SR). Esse fator é determinado por uma expressão contendo quatro parâmetros (equação 2) que, por sua vez, possuem metodologia distintas para determinação, e avalia a ponte tanto estruturalmente como funcionalmente (JEONG, 2018).

$$SR = S_1 + S_2 + S_3 - S_4 \quad (2)$$

O SR constitui um dos principais meios de priorização de pontes visando a alocação de recursos para manutenção e pode assumir valores de 0 a 100%, sendo que 0 indica a insuficiência total da ponte e 100% a suficiência total. O SR depende de quatro fatores: o S1 (Segurança Estrutural), S2 (funcionalidade), S3 (utilidade pública) e S4 (reduções extraordinárias) para pontes com valores de SR maiores do que 50%. Os pesos de cada fator são: S1 (0 a 50%), S2 (0 a 30%) e S3 (0 a 15%) (ALMEIDA, 2003). Cada um dos fatores possui uma metodologia específica de determinação (Tabela 3).

Tabela 3 – Fatores do Índice de Suficiência

Fator	Peso	Descrição	Itens avaliados
S1	$\leq 55\%$	Segurança estrutural	Condição da superestrutura, da subestrutura e capacidade de carga da ponte.
S2	$\leq 30\%$	Funcionalidade	Geometria do tabuleiro, gabaritos, condições do curso d'água, condições dos acessos.
S3	$\leq 15\%$	Utilidade pública	Extensão do desvio, VMDa, classificação funcional da rodovia.
S4	$\leq 13\%$	Redução extraordinária (quando SR > 50%)	Extensão do desvio, existência dos itens de segurança e tipo de estrutura.

Fonte: autoria própria

Ressalta-se que o Índice de Suficiência é utilizado por diversos Estados como índice de priorização de pontes visando as atividades de manutenção. Além disso, o Índice de Suficiência e as classificações Estruturalmente Deficientes e Funcionalmente Obsoletas são utilizadas para gerenciar a alocação de recursos federais em programas de manutenção de pontes (FHWA,2012).

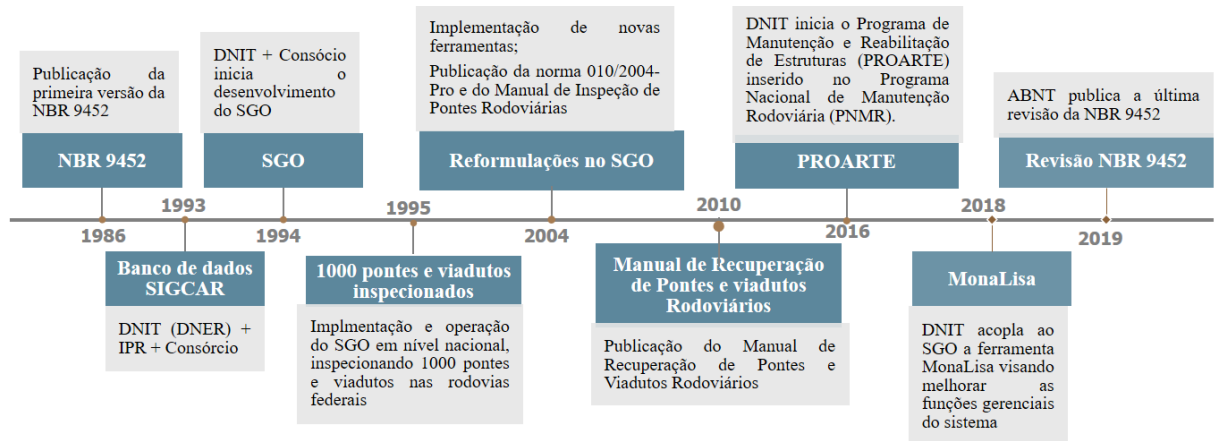
2.3.5 Gestão de Pontes no Brasil

A gestão de pontes no Brasil é regida, sobretudo, pelos seguintes documentos normativos: norma 010/2004-PRO: Inspeções Em Pontes e Viadutos de Concreto Armado e Protendido desenvolvida pelo DNIT e norma NBR – 9452/2019 Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto, desenvolvida pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2019). Além desses documentos, algumas agências responsáveis pela gestão de rodovias concessionadas (como a Agência de Transporte do Estado de São Paulo – ARTESP) também apresentam seus documentos de referência. No presente trabalho, foi dado destaque aos procedimentos do DNIT e da ABNT.

2.3.5.1 BREVE HISTÓRICO

A linha do tempo apresentada na Figura 7 resume os principais marcos históricos referentes à gestão de pontes no Brasil.

Figura 7 – Marcos históricos referentes à gestão de pontes no Brasil



Fonte: autoria própria (a partir de SILVA et al., 2021)

A figura anterior evidencia, entre outros marcos, o processo de formação do Sistema de Gerenciamento de Obras de Artes Especiais – SGO do DNIT. O SGO constitui o principal bando de dados de abrangência nacional alimentado por meio de inspeções periódicas e que auxilia o DNIT na gestão do estoque federal de pontes.

A implementação do SGO foi iniciada em 1993 (1ª fase) através de contratação por parte do DNIT de um consórcio de empresas para a montagem do sistema. Previamente ao SGO o DNIT possuía um banco de dados nacional denominado SIGCAR o qual armazenava informações básicas acerca de OAEs existentes. Em 1995, 1.000 pontes e viadutos de importantes rodovias federais foram inspecionados visando a implementação do sistema (2ª fase). Com o passar do tempo, o sistema foi evoluindo a partir da incorporação de novas técnicas e ferramentas de gestão de dados, consultas, emissão de relatórios e de georreferenciamento (SILVA et al., 2021).

Atualmente, o DNIT possui duas empresas contratadas para realizarem as inspeções anuais de aproximadamente 6.550 OAEs. Fruto desse contrato surgiu também a ferramenta MonaLisa.. A ferramenta MonaLisa (implementada em 2018), por sua vez, passou a permitir aos gestores realizarem o acompanhamento das atividades de campo relacionadas às OAEs, processamento das medições de serviços realizados, visualização de informações, visualização georreferenciada das estruturas na rede e acompanhamento das inspeções (SILVA et al., 2021).

Com relação à NBR 9452, destaca-se sua publicação em 1986 e sua mais recente revisão, publicada em 2019. Essa NBR também foi revisada nos anos de 2012 e 2016, sendo as mudanças mais importantes ocorridas em 2016 (VERLY et al., 2020).

2.3.5.2 NORMA DNIT 010/2004-PRO

A norma DNIT 010/2004 – PRO define, junto ao Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias (DNIT, 2004a), os procedimentos de inspeção e coleta de dados que alimentam o SGO do DNIT. Ambos definem a qualificação necessária dos inspetores, os tipos e periodicidade das inspeções, a metodologia de avaliação da condição das pontes e as ações a serem recomendadas. Essas recomendações podem ser nova vistoria, obras de manutenção, obras de recuperação, reforço ou reabilitação.

Segundo DNIT, 2004a, são cinco os tipos de inspeção no Brasil. A Inspeção Cadastral, que é realizada após a conclusão da obra ou após a alteração significativa da configuração da ponte e procura levantar os informes construtivos; a Inspeção Rotineira, que são inspeções visuais programadas e de caráter periódico (um a dois anos) que visam obter a identificação de anomalias e/ou alterações em relação à inspeção anterior; a Inspeção Especial, que é realizada em intervalos máximos de cinco anos em pontes consideradas excepcionais (grande porte, tipo específico de sistema estrutural, comportamento problemático) ou em pontes requisitadas pela inspeção rotineira; a Inspeção Extraordinária, que constituem inspeções não programadas que ocorrem após eventos repentinos que causam danos estruturais; e a Inspeção Intermediária, que é recomendada para acompanhamento de uma anomalia já detectada anteriormente.

As informações e recomendações originadas nas inspeções são catalogadas em relatórios individualizados de acordo com as fichas de inspeções e demais determinações normativas. Para os registros das pontes sob domínio federal, o DNIT utiliza o SGO. Esse sistema constitui um *software* capaz de sistematizar os dados provenientes das inspeções, os registros fotográficos e croquis das estruturas, sendo o principal recurso computacional para gestão de pontes a nível federal (NAVARRO LÓPEZ, 2020). É dividido em três módulos (Figura 8), possuindo cada uma função específica associada aos tipos de profissionais que podem acessá-las. As diferentes interfaces permitem ao usuário emitir relatórios individuais, em lote e fotográficos; ainda, permite realizar consultas filtradas por características desejadas.

Figura 8 – Estruturação do SGO



Fonte: SILVA et al. (2021)

Avaliação do estado de condição de acordo com a metodologia DNIT ocorre através das inspeções visuais realizadas nas pontes. Uma Nota Técnica é atribuída pelo inspetor aos elementos de acordo com seu estado de deterioração. Cada nota encontra-se relacionada a um nível de insuficiência estrutural e a uma condição de estabilidade. A nota final da ponte, ou seja, a Nota Técnica Global constitui a nota mais baixa obtida por um dos elementos com função estrutural (DNIT, 2004b).

Durante a inspeção cadastral devem ser apontados pelos inspetores o tipo estrutural da OAE (o DNIT prever 18 tipos possíveis); o sistema construtivo (10 tipos possíveis); a natureza da transposição (8 tipos possíveis); os materiais constituintes da laje, vigas, pilares, encontros e fundações (11 possíveis); a seção tipo das vigas principais, pilares e fundações (26 possíveis); características plani-altimétricas; características da pista; gabaritos; juntas de dilatação; características de tráfego; número de vãos; outros aspectos diversos como características do leito do rio, vibração da estrutura, histórico de manutenção, rotas alternativas (DNIT, 2004b).

A Nota Técnica atribuída durante as inspeções obedece à classificação de condição apresentada no Anexo B. Percebe-se, portanto, que a escala DNIT possui cinco notas possíveis de acordo com presença de insuficiências estruturais e condições de estabilidade. Cada nota é associada a uma ação corretiva indicada bem como a uma classificação qualitativa das condições da ponte.

Com relação a tomada de decisão envolvendo a priorização de estruturas para manutenção, o DNIT utiliza a própria Nota Técnica como forma de atribuição de prioridade. Em caso de empate entre uma ou mais OAEs, o VMDa é utilizado como forma de desempate, sendo prioritária aquela estrutura que possuir maior volume de tráfego (VERLY, 2015; OLIVEIRA, 2019).

Mais recentemente, a partir do início do PROARTE, o DNIT passou a implementar uma ferramenta de priorização baseada em três índices: Índice Funcional, Índice Estratégico e o Índice Operacional. O primeiro está relacionado a Nota Técnica da OAE e o VMDa do trecho rodoviário onde se localiza; o segundo relaciona-se a classificação do trecho rodoviário no qual se localiza a OAE na Malha Rodoviária Federal Estratégica (MRFE) e na hierarquia do trecho obtido a partir da definição de Polos Concentradores de Tráfego; por fim, o último índice envolve a definição do VMDa do trecho rodoviário da OAE e do máximo VMDa existente no Estado da federação onde se localiza a OAE (SOBRINHO et al., 2017).

Apesar de definidos os índices, o DNIT ainda não apresentou de forma detalhada a metodologia em nenhum documento normativo ou instrução técnica bem como ainda não

tornou público as bases georreferenciadas envolvendo a definição dos Polos Concentradores de Tráfego e as respectivas hierarquias de trechos da rede. Nesse sentido, a aplicação dessa metodologia ainda é de exclusividade do próprio DNIT.

2.3.5.3 NBR 9452/2019

A ABNT possui uma norma direcionada a orientar os procedimentos de inspeção e avaliação da condição de pontes, viadutos e passarelas: a NBR 9452/2019. As características dos procedimentos empregados pela norma a tornam o documento relacionado à inspeção de pontes mais avançado no país, abordando os aspectos de tipos de inspeção e periodicidade, os parâmetros de classificação de condição e respectivos critérios, os documentos e dados a serem coletados e registrados, os roteiros básicos e fichas para inspeção e as convenções de nomenclatura para vistoria (VERLY et al., 2020).

A NBR 9452/2019 enumera cinco de tipos de inspeção. Inspeção cadastral tem como função coletar e registrar os dados globais da situação da estrutura, dados de projeto, construção, localização, identificação e demais informações de inventário. Devem ser realizadas logo após o término da execução de pontes novas, após o término de alterações estruturais de pontes existentes ou quando se deseja incorporar uma ponte já existente ao banco de dados. Inspeção rotineira constitui uma inspeção visual da estrutura cujo objetivo é observar e registrar o comportamento e evolução dos danos identificados nas inspeções anteriores bem como identificar novos danos. A periodicidade de realização da inspeção rotineira não pode ser superior a um ano.

Inspeção especial ocorre de forma visual e com emprego de equipamentos e o objetivo é realizar um levantamento detalhado dos danos existentes. A inspeção especial deve ser realizada em cada elemento constituinte de maneira individualizada e a periodicidade é de cinco anos, podendo ser postergada até oito anos ou antecipada para casos mais críticos. Inspeção subaquática é o procedimento que integra a inspeção especial e que visa avaliar a condição de elementos submersos. Inspeção extraordinária é realizada após a ocorrência de eventos imprevisíveis (impactos de veículos, fenômenos naturais, etc) ou a partir da necessidade de avaliar aspectos específicos da estrutura. Como constitui uma inspeção sob demanda, não há periodicidade definida.

A avaliação da condição segundo a NBR 9452/2019 ocorre por meio da atribuição de notas de classificação que variam de 1 (condição crítica) a 5 (condição excelente). A classificação da condição visa avaliar os impactos (consequências) dos danos em três aspectos da estrutura: estrutural, funcional e durabilidade. Tal abordagem permite melhor diferenciação

de determinados tipos de danos localizados em um elemento que impactam diretamente um aspecto – funcional, por exemplo – mas não impacta outro – estrutural, por exemplo.

O parâmetro estrutural é definido pela NBR 9452/2019 como sendo aquele relacionado à estabilidade da estrutura e, portanto, à segurança estrutural. O parâmetro funcional refere-se às condições de utilização da ponte, isto é, conforto e segurança dos usuários. O parâmetro durabilidade está associado a vida útil da ponte.

A NBR 9452/2019 define que o registro de dados referentes aos danos existentes na estrutura deve ser realizado desde a inspeção cadastral, com o devido armazenamento das informações descritivas das anomalias e suas localizações nos diferentes elementos constituintes. Após isso, são atribuídas três notas de classificação para a estrutura como um todo segundo cada um dos três critérios avaliados (estrutural, funcional e de durabilidade). Nas inspeções especiais, a classificação da condição deve ser realizada a nível de elemento, isto é, cada elemento constituinte receberá três notas segundo cada um dos três critérios e a nota mais baixa recebida por um elemento em cada critério torna-se a nota da ponte como um todo. A nota atribuída durante as inspeções obedece à classificação de condição apresentada no Anexo C.

A contribuição mais importante da NBR 9452/2019 acerca dos procedimentos de inspeção está associada ao fornecimento de referências para a classificação da condição. O documento apresenta, em primeiro lugar, uma categorização dos elementos constituintes de acordo com a relevância estrutural e contribuição para a estabilidade: elementos primários (mais relevantes), secundários (relevância média) e complementares (menor relevância). Em segundo lugar, a norma fornece quadros de referência contendo diversas tipologias de anomalias e suas características bem como as notas que devem ser atribuídas de acordo com o tipo de elemento em que ocorrem (primário, secundário complementar). Tais procedimentos são de grande importância por permitirem a redução do grau de subjetividade das avaliações e maior padronização das inspeções.

2.3.5.4 CONSIDERAÇÕES ACERCA DAS NORMAS BRASILEIRAS

Alguns autores apresentam considerações acerca das normas brasileiras de inspeção de pontes (VERLY, 2015; MACHADO, 2018; OLIVEIRA, 2019; VERLY et al., 2020). O primeiro aspecto que pode ser analisado é o grau de subjetividade, isto é, aspecto inerente às inspeções uma vez que as avaliações são realizadas por julgamentos de inspetores acerca da condição dos elementos. Porém, o grau de subjetividade das metodologias de inspeção pode variar de acordo com as técnicas empregadas. Aquelas metodologias que possuem uma grande

quantidade de quadros de referência que auxiliem na identificação das anomalias e na sua avaliação segundo critérios quantitativos (e não apenas qualitativos), tais quais extensão, intensidade e área afetada, permitem a redução da subjetividade.

Segundo ALMEIDA (2013), a metodologia de classificação contribui para a subjetividade uma vez que as escalas de avaliação são geralmente definidas a partir de descrições qualitativas, sendo possível diferentes interpretações por diferentes inspetores. Assim, apesar de apresentar alguns quadros de referência, a NBR 9452/2019 ainda não apresenta parâmetros quantitativos que permitam a avaliação das anomalias de forma objetiva. Nesse sentido, para VERLY et al. (2020), há ausência de critérios tangíveis que orientem os julgamentos, comprometendo a qualidade das inspeções. A mesma observação pode ser estendida para a norma DNIT 010/2004 – Pro uma vez que a mesma não apresenta quadros de referência para as avaliações, dependendo totalmente da experiência do inspetor.

A norma DNIT 010/2004 – Pro também apresenta outra defasagem relacionada a precária avaliação das condições funcionais da ponte. A Nota Técnica não avalia em seus parâmetros de análises os aspectos funcionais das estruturas, centrando a análise nas insuficiências estruturais e nas condições de estabilidade estrutural. Dessa forma, a norma DNIT 010/2004 – Pro carece de avanços nesse sentido.

Outro aspecto analisado é a aplicabilidade dos resultados das inspeções, ou seja, a utilidade dos dados levantados dentro do contexto geral do sistema de gestão. Dessa forma, VERLY et al. (2020) destaca que há problemas envolvendo a tomada de decisão quanto a seleção de pontes prioritárias visando as ações de manutenção devido a uma escala de avaliação pequena (apenas 5 classes) e discreta, a qual dificulta a diferenciação de pontes classificadas no mesmo nível. VERLY (2015) e MACHADO (2018) argumentam na mesma direção, apontando que a restrição de notas a uma quantidade pequena de valores impede, muitas vezes, a priorização. VERLY (2015) também alerta que, mesmo utilizando o volume de tráfego como critério de desempate – tal qual preconiza a normativa do DNIT – pontes localizadas em um mesmo trecho rodoviário podem apresentar o mesmo volume de tráfego, o que também dificulta a priorização.

Além disso, a natureza não contínua da escala de avaliação e seu tamanho reduzido podem dificultar ou limitar a aplicação de ferramentas de predição do estado de condição futuro, restringindo a quantidade de modelos que podem ser utilizados. O problema do tamanho da escala é destacado, por exemplo, por OLIVEIRA (2019) em seu doutoramento cujo objetivo foi desenvolver um modelo preditivo para pontes brasileiras. Da mesma forma, a autora

evidencia o problema da não continuidade dos ciclos de inspeções brasileiras, o que impede a montagem de banco de dados com vários anos de inspeção sucessivos.

2.3.6 Priorização de pontes visando ações de manutenção

Como já argumentado no presente trabalho, um Sistema de Gerenciamento de Pontes tem como um de seus objetivos fornece ferramentas que auxiliem na tomada de decisão dos agentes responsáveis pela conservação dessas estruturas. No entendimento de VENEZUELA et al. (2010), um Sistema de Gerenciamento de Pontes deve constituir uma ferramenta capaz de gerar priorização para alocação de investimentos de manutenção e que, geralmente, baseia-se na estimativa da relevância de cada ponte para a rede viária. Um SGP estabelece um *ranking* contendo todas as pontes analisadas no que se refere à urgência de ações de manutenção. Alguns desses sistemas incluem modelos de previsão do estado de condição futura mais provável das pontes (VENEZUELA et al, 2010).

ECHAVEGUREN e DECHENT (2019) definem priorização como um processo de formação de um *ranking* de opções de manutenção baseado em critérios de qualificação predefinidos e que seleciona aquelas opções que atendem os requerimentos também predefinidos. Como exemplos de critérios podem ser citados a condição estrutural das pontes e os custos de manutenção. Os índices de prioridade, por sua vez, apresentam-se como uma combinação de critérios qualitativos ponderados.

2.3.6.1 CRITÉRIOS DE PRIORIZAÇÃO

AMINI et al. (2016) identifica que a seleção de pontes para operações de manutenção necessita de um processo de priorização a partir de parâmetros e a partir de um banco de dados de um Sistema de Gerenciamento de Pontes. Assim, é de extrema importância para a correta alocação de recursos de manutenção a identificação de parâmetros que possuam eficácia verificável e que permitam a priorização. Segundo os autores, na maioria dos países, a priorização de pontes ocorre por meio de seleção dos maiores valores resultantes de adição simples de critérios ponderados. Os pesos de cada critério são desenvolvidos pelos mais diversos métodos: numéricos, estatísticos, probabilísticos e comparativos (AMINI et al., 2016).

A fim de obter os critérios de priorização de pontes para manutenção que são comumente utilizados foram colhidas, por meio de revisão de literatura, ferramentas de priorização desenvolvidas por diversos autores. Os critérios abordados foram colhidos e

armazenados para posterior análise e seleção daqueles que serão utilizados no presente trabalho. A tabela que resume esses critérios separando-os por autor está exposta no Anexo D.

2.3.6.2 TÉCNICAS DE PRIORIZAÇÃO

Em relação à necessidade de priorizar pontes, DABOUS (2008) afirma ser impossível realizar ações de manutenção em todas as estruturas da rede de maneira imediata devido às limitações de recursos financeiros disponíveis para tal. Portanto, as pontes devem ser ranqueadas de maneira que aquelas mais necessitadas de ações de manutenção sejam priorizadas. Assim, o desenvolvimento de uma metodologia de priorização deve responder a dois questionamentos: quais as pontes que requerem atenção mais urgentemente e qual técnica deve ser empregada para priorizar essas pontes?

CONTRERAS-NIETO et al. (2019) argumenta que manutenção, reparo e reabilitação de pontes constitui um problema de decisão que envolve diversos aspectos. Nesse sentido, o problema decisório torna-se de caráter multicritério, sendo denominado de Tomada de Decisão Multicritério (*Multi-Criteria Decision Making – MCDM*). Nesses casos, os tomadores de decisão avaliam as diferentes alternativas a serem escolhidas sob múltiplos aspectos ou critérios, influenciando diretamente nas preferências relativas entre cada alternativa. A abordagem de análise de múltiplos critérios faz uso de uma ampla gama de parâmetros que são analisados subjetivamente e/ou quantificados tecnicamente. A crítica realizada a esse tipo de abordagem relaciona-se a possibilidade das infraestruturas serem selecionadas por critérios mal selecionados ou injustos ou, ainda, por sofrer influência de ponderações favorecidas politicamente sem análise técnica (KULKARNI et al., 2004).

Dentre os trabalhos colhidos durante a etapa de revisão de literatura, foi possível perceber uma variação nas técnicas de priorização utilizadas. Destaca-se o uso de métodos de Tomada de Decisão Multicritério (*Multi-Criteria Decision Making – MCDM*). Destaca-se, também, a prevalência do método de Ponderação Aditiva Simples (*Simple Additive Weighting – SAW*), no qual cada ponte desempenha em um conjunto de indicadores que serão somados de maneira ponderada a fim de gerar um Índice de Prioridade, sendo os pesos determinados de maneira mais ou menos científica. A seguir são discutidos alguns das técnicas de priorização colhidas na literatura.

VALENZUELA et al. (2010) propuseram um índice denominado Índice Integrado de Ponte (*Integrated Bridge Index – IBI*) para auxílio na priorização de pontes chilenas para ações de manutenção. Os autores apresentam uma ferramenta de priorização de caráter multicritério capaz de reunir uma série de fatores – critérios sociais, econômicos, estruturais e de segurança

– e de gerar um ranking de pontes candidatas a receber ações de engenharia. Assim, o IBI pode ser calculado a partir da equação (3).

$$IBI = -1,441 + 1,299BCI + 0,754HV + 0,458SR - 0.387SI \quad (3)$$

Na expressão, os termos BCI, HV, SR e SI constituem os critérios de priorização do modelo, respectivamente: Índice de Condição das pontes a partir de dados de inspeções visuais, Vulnerabilidade Hidráulica (associada ao risco de inundações e aos danos devido às forças hidráulicas), Risco Sísmico (associado a probabilidade de falha devido a eventos de natureza sísmica) e Importância Estratégica da ponte para a rede rodoviária. O critério SI, por sua vez, é determinado pela equação (4).

$$SI = 0,26EA + 0,206T + 0,193SEE + 0,093W + 0,133L + 0,114R \quad (4)$$

Na expressão, os termos EA, T, SEE, W, L e R indicam, respectivamente, o índice de rota alternativa (depende da extensão da rota alternativa), índice de volume de tráfego médio diário anual (VMDa), índice socioeconômico (depende da proximidade das pontes a regiões economicamente importantes), largura do tabuleiro, comprimento da ponte e índice de restrição de carga.

O trabalho de RASHID et al. (2016) pretendeu evidenciar a priorização de pontes australianas a partir da criação de um *ranking* de pontes visando as ações de manutenção. A estrutura de priorização proposta apresentou um Índice de Eficiência Geral das estruturas a partir da Eficiência Estrutural (*Structural Efficiency* - SE), Eficiência Funcional (*Functional Efficiency* - FE) e do Fator de Impacto no Usuário (*Client Impact Factor* - CIF). Assim, a priorização centrou a análise em três aspectos, isto é, as condições estruturais, funcionais e de importância da ponte para rede a partir da equação (5).

$$PI = 0,60SE + 0,20FE + 0,20CIF \quad (5)$$

A Eficiência Estrutural é medida por um Índice de Condição de Ponte de abordagem ponderada que considera a influência dos diferentes materiais constituintes e as relevâncias estruturais de cada elemento. A Eficiência Funcional, ou seja, o nível de serviço das pontes, é medida a partir da ponderação de dos indicadores capacidade de carga, gabaritos verticais, largura, condição das barreiras de proteção e condição da drenagem. O Fator de Impacto nos Usuários é medido de acordo com a análise de critérios de importância histórica, políticos, econômicos e sociais. É importante atentar que os pesos utilizados nas ponderações das equações foram obtidos a partir da utilização do método multicritério AHP.

MACHADO (2018) desenvolveu uma ferramenta de priorização aplicada em 50 pontes do Estado do Paraná a partir do uso de dois métodos multicritérios combinados, o AHP e o PROMETHEE. Os critérios utilizados foram selecionados por meio de revisão sistemática de

literatura. A escolha dos métodos multicritério também ocorreram por meio de revisão sistemática acerca de aplicação métodos MCDM na gestão de infraestruturas, sendo os mais utilizados os escolhidos. Os critérios utilizados foram: capacidade de carga, características do leito do rio, degradação da OAE, exposição estrutural, idade, urgência de intervenção, estado de segurança, segurança dos usuários, comprimento do desvio, VMDa e aparência visual.

2.4 PROCESSO DECISÓRIO

Praticamente tudo aquilo que se faz no dia a dia, conscientemente ou inconscientemente, é resultado de uma decisão (SAATY, 2008). Essas decisões podem derivar de assuntos triviais ou situações complexas que podem afetar todo o andamento de uma empresa ou organização, havendo diversas nuances, incertezas associadas e fatores intervenientes (COSTA e BELDERRAIN, 2009). Assim, PRESSI (2017) apresenta a definição de tomada de decisão como o processo que leva à escolha de uma ou várias alternativas dentre todas aquelas alternativas candidatas.

É possível identificar no processo decisório dois elementos principais, isto é, os elementos intervenientes e os elementos componentes, conforme apresentados por MACHADO (2018). Os elementos intervenientes constituem os atores, agentes (decisor) e analistas, sendo os atores os indivíduos que sofrerão as consequências da decisão a ser tomada, os agentes aqueles que de fator fornecem suas preferências na avaliação das alternativas e os analistas aqueles responsáveis pela modelação das preferências e sistematização do processo decisório.

Os elementos componentes são as alternativas, critérios (atributos) e tipos de problema, sendo as alternativas as ações potenciais ou opções possíveis a serem escolhidas, os critérios os parâmetros que baseiam as escolhas e permitem a comparação das alternativas e o tipo de problema a forma como o problema de tomada de decisão a ser resolvido está estruturado. O método multicritério a ser utilizado depende, sobretudo, do tipo de problemática (MACHADO, 2018).

Conforme descrito por COSTA (2002) o tipo de problema ou situação de decisão depende de qual a necessidade em avaliar um conjunto de alternativas. Essa avaliação pode objetivar estabelecer: 1) uma escolha, isto é, selecionar uma alternativa dentre um conjunto de outras viáveis; 2) uma classificação de um conjunto de alternativas em subconjuntos; 3) uma ordenação de um conjunto de alternativas segundo algum critério; 4) uma classificação ordenada, isto é, classificação de alternativas em subconjuntos ordenados; e 5) uma priorização, estabelecendo uma ordem de prioridades para os elementos de um conjunto de alternativas.

2.4.1 Métodos de Tomada de Decisão Multicritério

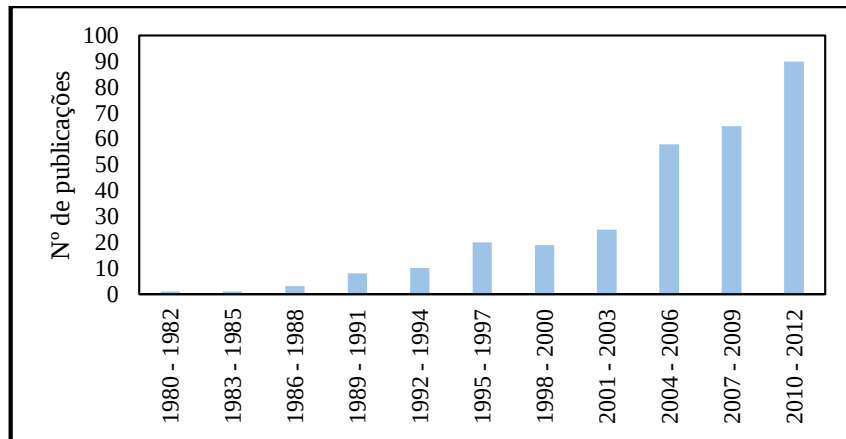
Os métodos de Tomada de Decisão Multicritério (*Multi-Criteria Decision Making – MCDM*) são ferramentas utilizadas para identificar e quantificar a tomada de decisão a partir de diversos fatores a fim de comparar diferentes alternativas de ação. As metodologias de MCDM apresentam a capacidade de agregar em sua abordagem múltiplos aspectos, muitas vezes conflitantes entre si com diferentes níveis de incertezas, dados ambíguos e incompletos e que demandam por opinião de diferentes especialistas de diferentes áreas. Essas técnicas são capazes de prover transparência, rigor analítico e auditabilidade às decisões. Essas ferramentas ranqueiam o desempenho de diferentes alternativas a partir de múltiplos critérios medidos em diferentes unidades (KABIR et al., 2014).

No contexto da gestão de infraestruturas, segundo KABIR et al. (2014), os métodos MCDM são utilizados nas mais diversas áreas da engenharia: recursos hídricos, redes de esgotamento sanitário, pavimentos, ferrovias, engenharia de tráfego, pontes, edificações, gasodutos, oleodutos, tuneis, metrô, sistemas de drenagem e plataformas off-shore.

BUKSH et al. (2019) apresenta uma classificação dos métodos MCDM em: 1) métodos de síntese (*Analytic Hierarchy Process – AHP* e *Multi-Attribute Utility Theory – MAUT*); 2) métodos de superação (*Elimination et Choix Traduisant la Réalité – ELECTRE* e *Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations – PROMETHEE*); e 3) métodos iterativos (Algoritmo Genético e Pareto). Os autores ainda destacam que esses últimos apresentam elevada complexidade dos algoritmos necessários e há ausência de preferências dos tomadores de decisão. Ainda segundo eles, frente ao caráter multifacetado dos problemas de tomada de decisão de manutenção de pontes, os métodos mais indicados são os de síntese.

Além dos métodos já citados, KABIR et al. (2014) apresenta outras de técnicas que são constantemente empregadas na gestão de infraestruturas, ou seja: *Weighted sum model* (WSM), *Weighted product model* (WPM), *Compromise programming* (CP), *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS) e o *Vlsekriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje* (VIKOR). Ao realizarem uma revisão sistemática de literatura acerca da aplicação dos métodos MCDM na gestão de infraestruturas, os autores identificaram um aumento da tendência da aplicação dessas técnicas (Figura 9).

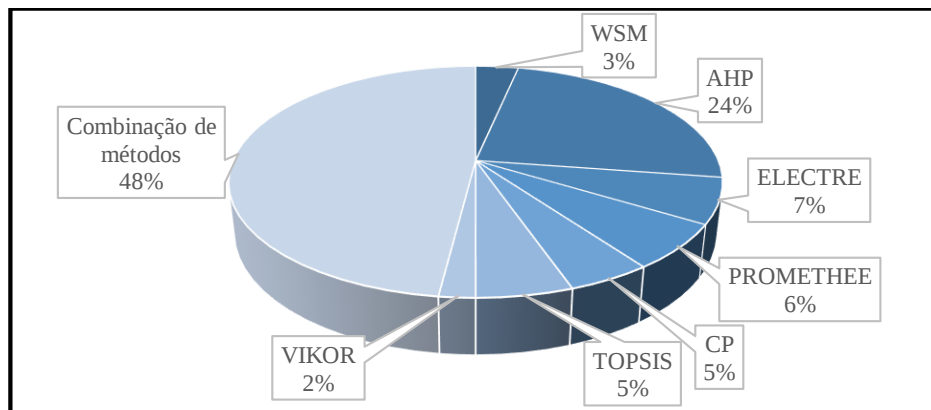
Figura 9 – Publicações envolvendo MCDM na gestão de infraestruturas



Fonte: adaptado de KABIR et al. (2014)

Conforme é apresentado na figura anterior, há uma tendência de aumento de publicações envolvendo MCDM na gestão de infraestruturas. Da mesma forma, os autores evidenciaram a quantidade de publicações por método (Figura 10).

Figura 10 – Distribuição de publicações por método MCDM



Fonte: adaptado de KABIR et al. (2014)

Percebe-se que dentre os métodos encontrados na revisão sistemática, aquele que mais recorrentemente foi aplicado de forma isolada foi o AHP (24%). Esse método só perdeu para aplicações de combinações de um ou mais métodos (48%). Com relação a aplicação envolvendo gestão de pontes, foram encontradas sete aplicações do método AHP e 51 aplicações de métodos combinados.

2.4.2 Método Analytic Hierarchy Process (AHP)

O Método de Análise Hierárquica (*Analytic Hierarchy Process* – *AHP*) constitui uma ferramenta multicritério de apoio à decisão criada em 1980 por Thomas Saaty aplicado em diversas áreas do conhecimento devido a sua capacidade de incorporar a análise critérios

quantitativos e qualitativos. É um dos primeiros e mais utilizados métodos de apoio a decisão. Essa técnica tem como objetivos orientar o processo de tomada de decisão, considerar a opinião (julgamentos) de especialistas ou decisores e obter uma medida global representativa da prioridade de cada uma das ações potenciais ou alternativas (COSTA e BELDERRAIN, 2009).

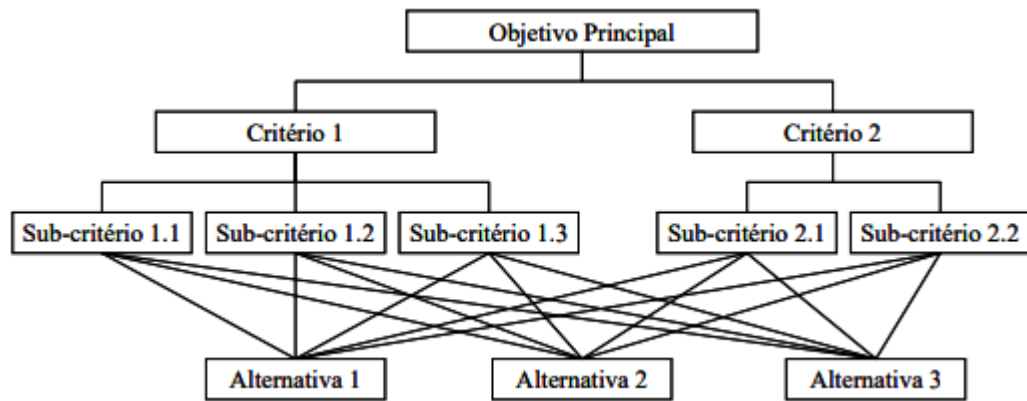
A ferramenta AHP constitui uma técnica estruturada de auxílio a decisão em contextos complexos nos quais estão envolvidos um número considerável de variáveis ou critérios necessários a tomada de decisão. A programação AHP é utilizada na priorização e seleção de alternativas ou projetos e, atualmente, é aplicada para tomada de decisão em cenários onde atuam indivíduos que trabalham em conjunto e onde as percepções humanas, julgamentos e consequências possuem repercussão de longo prazo (VARGAS, 2010).

O AHP permite a transformação de comparações empíricas em valores numéricos os quais podem ser processados e analisados. As comparações entre critérios permitem a obtenção de pesos para cada um deles dentro da hierarquia predefinida. Para VARGAS (2010), essa capacidade de converter dados empíricos em modelos matemáticos é o principal diferencial do AHP com relação a outras técnicas.

O AHP está baseado em três princípios do pensamento analítico, sendo eles a construção de hierarquias (estruturação do problema em níveis hierárquicos contendo os elementos chave para a tomada de decisão agrupados em níveis distintos), a definição de prioridades dentro de um conjunto de alternativas e a consistência lógica (avaliação da consistência do modelo construído) (COSTA, 2002).

Segundo SAATY (2003), o AHP usa um princípio de composição hierárquica para derivar prioridades às alternativas com respeito aos múltiplos critérios. Uma hierarquia deve conter, segundo COSTA (2002), um foco principal (meta global), um conjunto de critérios (propriedades, atributos, quesitos ou pontos de vista acerca do problema a ser hierarquizado) e um conjunto de alternativas (conjunto de alternativas viáveis que serão escolhidas ou ranqueadas), conforme a Figura 11.

Figura 11 – Estrutura Hierárquica do AHP



Fonte: COSTA e BELDERRAIN (2009)

Para construir as prioridades, deve-se construir, segundo SAATY (2008), um conjunto de matrizes de comparação paritária, sendo que cada elemento de um nível superior da hierarquia é usado como referência para comparar os elementos no nível imediatamente abaixo. Na hierarquia da Figura 11, os subcritérios 1.1, 1.2 e 1.3, por exemplo, serão comparados em pares entre si com respeito ao critério 1. A depender do nível de complexidade do problema, são necessários mais níveis ou camadas de critérios e seus respectivos subcritérios (COSTA, 2002).

A escolha dos critérios e subcritérios a serem utilizados deve ocorrer de maneira cuidadosa. Os critérios devem ser homogêneos e não redundantes. Apenas critérios bem escolhidos permitem julgamentos par a par consistentes e com preferências bem definidas. Essas preferências declaradas pelos especialistas são organizadas na forma de matrizes quadradas, referidas como matrizes de decisão (Figura 12). Os elementos presentes na matriz indicam quantas vezes um critério é mais ou menos importante do que outro. O elemento a_{ij} indica quantas vezes o critério A_i é mais ou menos importante do que o critério A_j . Assim, uma matriz contendo n critérios terá ordem $n \times n$ e sua diagonal principal será toda igual a 1 (comparação de um critério com ele mesmo). A matriz de decisão também possui a característica da recíproca positiva uma vez que $a_{ij} = 1/a_{ji}$ (COSTA e BELDERRAIN, 2009).

Figura 12 – Matriz de decisão

$$\begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

Fonte: autoria própria

SAATY (2008) apresenta a escala utilizada nas comparações paritárias que indica quantas vezes mais importante ou dominante um elemento da hierarquia é em relação a outro (Tabela 4). Essa escala deve ser apresentada aos decisores a fim de avaliar os critérios e alternativas.

Tabela 4 – Escala de comparação paritária de Saaty

Intensidade	Definição	Descrição
1	Igual importância	Ambos os elementos contribuem igualmente para o objetivo
3	Importância pequena	Experiência e juízo favorecem levemente um critério com relação à outra
5	Importância grande	Experiência e juízo favorecem fortemente um critério com relação à outra
7	Importância muito grande	Um critério é muito fortemente favorecido, sendo sua dominância evidenciada na prática
9	Importância absoluta	A evidência favorecendo um dos critérios é a maior possível, com o mais alto grau de segurança
2,4,6,8	Valores Intermediários	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições
Recíprocos dos números acima	$a_{ij} = 1/a_{ji}$	Uma consideração razoável.

Fonte: adaptado de COSTA e BELDERRAIN (2009)

A partir das matrizes de decisão é possível obter o vetor de prioridades, isto é, o vetor cujos elementos representam os pesos ou prioridades de cada critério segundo a preferência do especialista. Segundo CONTRERAS-NIETO (2019), apesar de existirem diversas abordagens para determinar o vetor de prioridades, a Média Geométrica é constantemente utilizada em publicações, apresentando bons resultados. No presente trabalho, essa técnica foi a utilizada para determinar os elementos w_i formadores do vetor de prioridade a partir da equação (6), sendo a_{ij} os elementos de uma linha da matriz de decisão, e n a quantidade de critérios envolvidos nas comparações paritárias.

$$w_i = \frac{(\prod_{j=1}^n a_{ij})^{\frac{1}{n}}}{\sum_{i=1}^n (\prod_{j=1}^n a_{ij})^{\frac{1}{n}}} \quad (6)$$

Segundo BRUNELLI (2015), o vetor de prioridade pode ser determinado também pelo método do autovetor. Esse método apresenta como resultado o vetor de prioridade (autovetor

principal da matriz) e o máximo autovalor associado $\lambda_{m\acute{a}x}$. A equação (7) apresenta esse método, sendo A a matriz de decisão e $w = (w_1, \dots, w_i)$ o autovetor principal ou vetor de prioridades. Outra maneira de obter o vetor de prioridades é a partir da média aritmética dos elementos de uma linha da matriz de decisão. Esse método é bastante empregado e foi utilizado, por exemplo, por MACHADO (2018) em seu modelo.

$$Aw = \lambda_{m\acute{a}x}w \quad (7)$$

O último princípio relacionado ao método AHP, conforme indicado por COSTA (2002) é a determinação da consistência das respostas dos decisores. A consistências das respostas, aspectos intrínseco das escolhas humanas, é determinado pela equação (8), em que CI representa o Índice de Consistência (*Consistency Index – CI*), $\lambda_{m\acute{a}x}$ é o autovalor máximo e n o número de critérios envolvidos na matriz de decisão.

$$CI = \frac{\lambda_{m\acute{a}x} - n}{n - 1} \quad (8)$$

Consistência final da avaliação, segundo o método AHP, é determinada pela equação (9), isto é, uma razão entre o CI e um Índice Randômico (*Random Index – RI*) que foram obtidos por Thomas Saaty através do cálculo de valores médios de CI de matrizes de ordens diversas simuladas aleatoriamente e cujos elementos variavam entre 1 e 9 (CONTRERAS-NIETO, 2019). Assim, para o método AHP, a Razão de Consistência (*Consistency Ratio – CR*) de apresentar um valor menor do que 10%, ou seja, $CR \leq 0.1$.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (9)$$

Tabela 5 – Índice Randômico – RI

n	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0,58	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49

Fonte: SAATY (1990)

Com relação às decisões tomadas em grupo, isto é, envolvendo mais de um decisor, o método AHP prever duas formas de agregar as avaliações dos critérios envolvidos na hierarquia: a Agregação Individual de Julgamentos (AIJ) e a Agregação Individual de Prioridades (AIP) (BRUNELLI, 2015; COSTA e BELDERRAIN, 2009). A AIJ determina que a agregação das prioridades atribuídas por cada decisor deve ocorrer ainda antes da determinação dos vetores de prioridades. Assim, uma matriz de decisão única é formada a partir de agregação das matrizes de decisão de cada decisor e só então é determinado o vetor de prioridade e a consistência das avaliações. Segundo, COSTA e BELDERRANI (2009), essa

técnica de agregação exige do grupo de decisores um bom nível de coesão das respostas e, muitas vezes, sua aplicação é precedida de discussões envolvendo geração de consensos.

A AIP determina que os vetores de prioridades calculados a partir das matrizes de decisão de cada decisor sejam agregados. Essa técnica é indicada quando não há possibilidade de geração de consensos entre os decisores em virtude de seus pontos de vista com relação à decisão serem diferentes (COSTA e BELDERRANI, 2009). Conforme BRUNELLI (2015) a forma mais comum de realizar a agregação dos vetores de prioridades na AIP é por meio de Média Geométrica Ponderada exposta na equação (10).

$$w_i^G = \left(\prod_{h=1}^m w_i^{(h)\lambda_i} \right) \quad (10)$$

Em que:

m : número de decisores;

w_i^G : elemento do vetor de prioridade agregado ou global $w^G = (w_1^G, \dots, w_i^G)$;

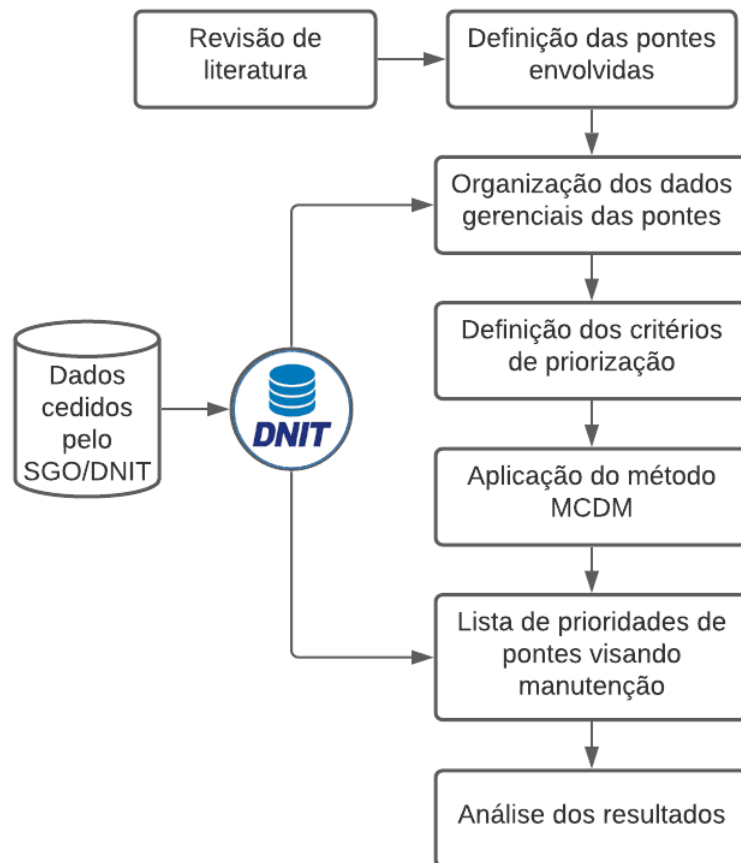
$w_i^{(h)}$: prioridade do i-ésimo critério obtido da matriz de decisão do h-ésimo decisor;

λ_i : peso que pode ser atribuído ao h-ésimo decisor de acordo com sua experiência, conhecimento ou cargo na empresa ou organização.

3 MÉTODO DE TRABALHO

O método de trabalho empregado pode ser, de maneira geral, resumido a partir do fluxograma apresentado na Figura 13. Essas etapas serão devidamente detalhadas nas próximas seções.

Figura 13 – Fluxograma das etapas metodológicas

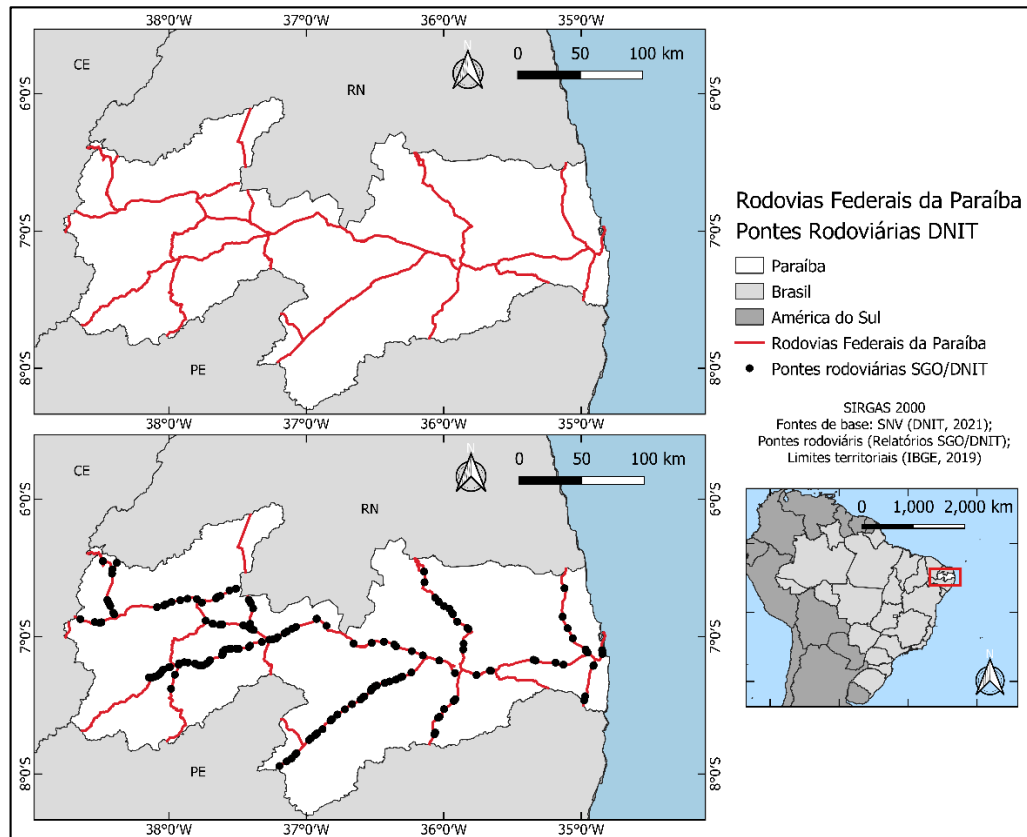


Fonte: autoria própria

3.1 DEFINIÇÃO DAS PONTES ENVOLVIDAS NO TRABALHO

O DNIT repassou ao Laboratório de Geotecnia e Pavimentação (LAPAV) da UFPB relatórios gerenciais acerca de 304 Obras de Arte Especiais (OAEs) sob sua administração no Estado da Paraíba. Esses relatórios foram emitidos a partir do Sistema de Gerenciamento de Obras de Arte Especiais (SGO) pertencente ao DNIT e estão servindo de base para realização de diversas pesquisas envolvendo gerencia de OAEs no LAPAV. Dentre as 304 OAEs, foram repassados relatórios de 197 pontes paraibanas as quais foram selecionadas como as participantes do presente trabalho. Essas pontes estão distribuídas nas rodovias federais do Estado da Paraíba e sua distribuição pode ser observada através da Figura 14.

Figura 14 – Distribuição das pontes rodoviárias do SGO/DNIT na Paraíba



Fonte: autoria própria

É possível constatar uma boa distribuição dessas pontes pelas rodovias de todo o Estado, sendo as rodovias que acumulam a maior quantidade de pontes a BR 361 e a BR 230 (Tabela 6).

Tabela 6 – Quantidade de pontes por rodovia na Paraíba

Rodovia	Quantidade	
BR 101	24	12%
BR 104	21	11%
BR 110	10	5%
BR 230	56	28%
BR 361	41	21%
BR 405	10	5%
BR 412	25	13%
BR 426	2	1%
BR 427	7	4%
BR 434	1	1%
TOTAL	197	100%

Fonte: autoria própria

Os relatórios gerenciais recebidos foram resultado de inspeções realizadas nos anos de 2015, 2019 e 2020. Nem todas as pontes cadastradas no SGO foram inspecionadas nos três anos, sendo que o ano de 2019 foi aquele que mais apresentou inspeções (192 pontes). Nesse caso, escolheu-se trabalhar com o ano base de 2019.

3.2 ORGANIZAÇÃO DOS DADOS GERENCIAIS DAS PONTES

Objetivando uma melhor utilização, os relatórios gerenciais repassados pelo DNIT ao LAPAV foram organizados em um banco de dados estruturado. Esse banco de dados contém quatro tabelas que receberam diferentes tipos de dados gerenciais, isto é, dados cadastrais, dados acerca da avaliação da condição geral das OAEs (Nota Técnica), dados referentes aos danos existentes nos elementos e dados acerca de deficiências funcionais existentes nas OAEs. A Tabela 7 resume os atributos de cada tabela presente no banco de dados.

Tabela 7 – Atributos do banco de dados

Tabelas	Atributos
Dados cadastrais	Código, identificação, rodovia, quilômetro, trem tipo, ano de construção, tipo de estrutura, comprimento, largura, extensão do desvio, rota alternativa, largura de pista, número de faixas, largura da faixa, largura do acostamento, largura da calçada, gabaritos, número de vãos, coordenadas geográficas.
Avaliação da condição geral	Código, identificação, ano de inspeção, condição de estabilidade, condição de conservação, insuficiência estrutural e Nota Técnica.
Dados dos danos existentes nos elementos	Código, ano de inspeção, elemento, tipo de dano, Nota Técnica, Extensão do dano.
Dados das deficiências funcionais	Código, ano de inspeção, deficiências funcionais.

Fonte: autoria própria

3.3 DEFINIÇÃO DOS CRITÉRIOS DE PRIORIZAÇÃO

A priorização de pontes para manutenção constitui importante etapa da gerência de pontes, funcionando como uma abordagem sistemática e racional que visa a seleção de estruturas candidatas às ações de engenharia dentro de um contexto de orçamento limitado. A priorização, portanto, possui a missão de elencar aqueles ativos de infraestrutura que, não apenas encontram-se em situação de baixo estado de condição, mas também apresente

importância estratégica significativa dentro da rede, deficiências ou obsolescências funcionais e que, acaso intervencionada, gere maior eficiência econômico-financeira.

Justamente por englobar aspectos diversos da gestão de pontes, as ferramentas de priorização têm sua qualidade intrinsecamente relacionada aos tipos de critérios elencados para seleção de estruturas. Destaca-se, assim, o seu caráter multicritério na tomada de decisão de alocação de recursos. Conforme foi possível perceber, tais critérios podem estar relacionados a aspectos como segurança estrutural, funcionalidade, importância estratégica da ponte para rede, aspectos econômicos, ambientais e externos (importância histórica e características estéticas). Conforme apresentado na seção 2.3.6.1, foi realizada uma revisão de literatura buscando encontrar os critérios de priorização utilizados por diversos autores e as formas de avaliação de cada um deles.

Visando melhor compreensão, foi proposta uma classificação dos critérios encontrados em cinco grupos de acordo com as características centrais de cada um deles. Os grupos são: segurança estrutural, funcionalidade, importância da ponte para rede, aspectos de custo, e fatores externos (Tabela 8). Os três primeiros grupos propostos foram baseados nos parâmetros S1, S2 e S3 da norma norte-americana envolvidos no cálculo do Índice de Suficiência (FHWA, 2012), respectivamente relacionados à segurança estrutural, funcionalidade e utilidade pública das pontes.

Assim, o grupo segurança estrutural envolve os critérios relacionados ao estado condição da ponte ou de seus elementos estruturais, exposição à agentes agressivos, material constituinte, riscos e vulnerabilidades estruturais, capacidade de carga, etc. O grupo funcionalidade representa os critérios que indicam a capacidade da ponte em cumprir o nível de serviço para qual foi projetada: largura, gabaritos, condição de elementos de segurança dos usuários e de drenagem, etc. Os critérios de importância da ponte representam a importância socioeconômica da ponte para a rede como um todo: VMDa, localização, classe funcional da rodovia, proximidade a polos econômicos, comprimentos do desvio, etc. O grupo aspectos de custo foi proposto para receber os critérios relacionados aos custos de gestão e o grupo fatores externos para receber os critérios relacionados a questões estéticas e de importâncias históricas.

Tabela 8 – Grupo de critérios

Grupo	Critérios encontrados na revisão de literatura
Segurança Estrutural	Índice de condição, agressividade ambiental, carga de tráfego, capacidade de carga, riscos, material constituinte, exposição estrutural, urgência de intervenção, características de leito do rio, tipos estruturais.

Funcionalidade	Idade, gabaritos, condição da drenagem, largura, restrição de carga, condição dos elementos de segurança, condição do pavimento, velocidade limite, condição das juntas.
Importância da ponte para rede	Classe da rodovia, rotas alternativas, VMDa, VMDa comercial, extensão do desvio, classe funcional do desvio, localização, comprimento.
Aspectos de custo	Custo de manutenção, custo dos usuários, custos ambientais.
Fatores externos	Importância histórica, aparência visual.

Fonte: autoria própria

Com o objetivo de construir a hierarquia necessária a aplicação do método MCDM, os grupos de critérios passaram a ser chamados apenas de critérios e a lista de critérios selecionada na literatura, de subcritérios. Nesse sentido, a primeira definição foi com relação a que critérios (grupos) utilizar. O principal fator limitante envolvido nessa definição foi a disponibilidade de dados acerca das pontes, isto é, nos dados gerenciais obtidos, por exemplo, não havia nenhuma informação quanto a custos de operação dado que o SGO do DNIT ainda não apresenta módulo de custos em sua estrutura. Da mesma forma, informações acerca de importância histórica e aparência estética das pontes também não constam uma vez que esses critérios são mais comuns em países cujas pontes são tratadas como patrimônio histórico por serem muito antigas ou possuírem tipologias estruturais que remontam a épocas passadas (pontes em arco de alvenaria de pedra, por exemplo). Como a proposta do presente trabalho é utilizar os dados já existentes e que o DNIT costuma colher em suas inspeções rotineiras, os critérios selecionados foram Segurança Estrutural, Funcionalidade e Importância da Ponte para Rede.

A seleção dos subcritérios a serem utilizados em cada critério dentro da hierarquia também seguiu a mesma limitação acerca da disponibilidade de dados. Não foi o objetivo do presente trabalho propor subcritérios que exigissem nova coleta de dados ou modificações dos padrões de inspeção do DNIT, os quais são determinados por norma. Assim, para o critério Segurança Estrutural, foram selecionados os subcritérios Estado de Condição e Capacidade de Carga; para a Funcionalidade, os subcritérios Condição da Drenagem, Condição do Pavimento, Condição do Acostamento, Condição dos Acessos, Condição das Juntas, Condição do Passeio, Largura, Idade e Condição dos Itens de Segurança; para a Importância da Ponte para Rede, os subcritérios VMDa, Extensão do Desvio, Comprimento e Classe da Rodovia.

Nas próximas seções serão descritas as formas de avaliação de cada um dos critérios e subcritérios escolhidos. Como será possível perceber, devido a limitação dos dados gerenciais,

muitos subcritérios precisaram ter sua forma de avaliação adaptada às informações presentes no banco de dados.

3.3.1 Segurança Estrutural

Para o critério Segurança Estrutural foram selecionados os subcritérios Estado de Condição e Capacidade de Carga.

3.3.1.1 NOTA TÉCNICA DNIT

O estado de condição foi um dos critérios mais utilizados pelos autores consultados durante a etapa de revisão. A forma de avaliar varia em cada um deles uma vez que o principal indicador relacionado ao Estado de Condição é o Índice de Condição de Ponte o qual possui diversas formas de avaliação a depender da metodologia empregada no país onde o trabalho foi desenvolvido. Alguns autores também propuseram metodologias próprias de determinação do Índice de Condição de Ponte, como CONTRERAS NIETO et al. (2019) que propôs um Índice Integrado de Ponte a partir de uma média ponderada das notas de avaliação dos componentes da ponte constantes no NBI norte-americano.

No presente trabalho, para a avaliação do Estado de Condição, optou-se pela utilização da Nota Técnica da ponte atribuída pelo inspetor especializado a partir das inspeções visuais do DNIT. Essa nota é atribuída de acordo com a escala apresentada no Anexo C, variando de 1 a 5 e representa a menor nota dentre aquelas atribuídas aos elementos de função estrutural. A Nota Técnica tem relação com a condição de estabilidade da ponte bem como seu estado de condição geral.

3.3.1.2 TREM TIPO DE PROJETO

A avaliação da Capacidade de Carga de uma ponte possui uma metodologia complexa que envolve a obtenção de dados acerca de carregamento permanente, carregamento móvel, coeficientes de segurança e que determina, por meio de uma razão entre o somatório das solicitações das cargas atuantes e a capacidade resistente da estrutura, o Índice de Capacidade de Carga (ICC) (DNIT, 2010). Como as informações para a determinação do ICC não fazem parte do universo de dados do SGO, optou-se em escolher o Trem Tipo de Projeto como indicador de desempenho da ponte quanto a capacidade de carga.

Há, na Paraíba, pontes sob administração do DNIT com trens tipo de projeto de 24 tf, 36 tf e 45 tf, uma vez que muitas dessas pontes foram projetadas em períodos em que as normas

de projeto determinavam trens tipo defasados em relação ao atual (45 tf). Trens tipo de 24 tf e 36 tf indicam, portanto, uma defasagem entre a capacidade estrutural dessas pontes e os atuais padrões de carga de tráfego. Ainda, algumas pontes podem apresentar elementos constituintes em bom estado (boa Nota Técnica), mas possuírem trens tipo defasados. Esse fato justifica utilizar tanto a Nota Técnica como o Trem Tipo de Projeto como subcritérios com relação à Segurança Estrutural.

A avaliação desse subcritério ocorreu a partir da Tabela 9, isto é, as pontes foram pontuadas de acordo com seu Trem Tipo de maneira a gerar maior prioridade para as pontes com trens tipo mais defasados.

Tabela 9 – Avaliação do subcritério Trem Tipo de Projeto

Trem Tipo de Projeto	Avaliação
24 tf	3
36 tf	2
45 tf	1

Fonte: autoria própria

3.3.2 Funcionalidade

Para o critério Funcionalidade foram selecionados os subcritérios Condição da Drenagem, Condição do Pavimento, Condição do Acostamento, Condição dos Acessos, Condição das Juntas, Condição do Passeio, Largura, Idade e Condição dos Itens de Segurança.

É importante ressaltar que alguns subcritérios, como os gabaritos, apesar de fazerem parte do universo de dados do SGO, na grande maioria dos casos não constam no banco de dados. Dessa forma, esses indicadores não foram selecionados. Além disso, como já ressaltado na seção 2.3.5.4, o DNIT não possui nenhuma metodologia de avaliação funcional bem definida, assim, os dados referentes às deficiências funcionais das pontes são coletados de forma geral e não detalhada, fato que gerou a necessidade de realizar adaptações na avaliação desses indicadores.

3.3.2.1 CONDIÇÃO DA DRENAGEM

MANSOUR et al. (2019) utilizou a condição da drenagem das pontes como critério de priorização, avaliando-a de forma qualitativa em quatro condições possíveis: boa, regular, pobre e ruim. De forma idêntica, RASHID et al. (2016), implementou o critério drenagem a partir da avaliação qualitativa, havendo quatro condições possíveis: excelente, boa, regular e pobre. DABOUS (2008) inseriu em seu modelo de priorização a condição da drenagem da ponte, avaliando as condições dos drenos e a presença de acúmulo de água na plataforma.

O SGO avalia a condição da drenagem nas pontes a partir da indicação da existência ou não de deficiências funcionais relacionadas a correta destinação das águas pluviais nessas estruturas. As deficiências apontadas são apresentadas na Tabela 10 bem como as formas de avaliação desse subcritério. O desempenho final da ponte nesse subcritério é dado pela somatória de cada avaliação referente a cada deficiência presente.

Tabela 10 - Avaliação do subcritério Drenagem

Itens avaliados	Avaliação	
	Sim	1
Pingadeiras Inexistentes	Não	0
	Sim	1
Dispositivo de drenagem danificado	Não	0
	Sim	1
Drenagem de pista insuficiente	Não	0
	Sim	1
Ausência de dispositivo de drenagem	Não	0
	Sim	1
Percolação de águas através da junta de dilatação	Não	0
	Sim	1

Fonte: autoria própria

3.3.2.2 CONDIÇÕES DA SUPERFÍCIE DA PLATAFORMA

MANSOUR et al. (2019) propôs a avaliação da superfície de rolamento como critério de priorização a partir da avaliação qualitativa do pavimento e das juntas de dilatação em quatro condições possíveis: boa, regular, pobre e ruim. MACHADO (2018), para avaliar o critério de priorização segurança dos usuários das pontes, propôs como forma de avaliação a existência ou não de acostamento.

Assim, os subcritérios Condição do Pavimento, Condição do Acostamento, Condição das Juntas, por tratarem das superfícies da plataforma da ponte de maneira geral, foram agrupados juntamente com a Condição dos Acessos e do Passeio em um único subcritério denominado Condições da Superfície da Plataforma. Esse subcritério está relacionado com o conforto e segurança dos usuários quanto às condições de rolamento na ponte e em seus acessos. Os subcritérios Condição do Pavimento, Condição dos Acessos e Condição das Juntas são avaliados através das inspeções segundo a escala de classificação do SGO. Já os subcritérios Condição do Acostamento e Condição do Passeio são avaliados de maneira idêntica às deficiências envolvendo a drenagem, sendo necessária a adaptação apresentada na Tabela 11.

Tabela 11 - Avaliação do subcritério Superfícies da Plataforma

	Itens avaliados	Avaliação	
Pavimento	Condição do pavimento	1, 2, 3, 4, ou 5	
	Buraco na pista no acesso	1, 2, 3, 4, ou 5	
Acesso	Desnível entre acesso e tabuleiro	1, 2, 3, 4, ou 5	
	Condição do berço das juntas	1, 2, 3, 4, ou 5	
Juntas	Ponte sem acostamento	Sim	1
		Não	0
Acostamento	Calçada inexistente	Sim	1
		Não	0

Fonte: autoria própria

3.3.2.3 GEOMETRIA

JANAS et al. (2018) considerou a largura da ponte como critério de priorização em seu modelo através da classificação qualitativa das pontes, isto é, pontes com largura insuficiente, limitada ou suficiente. RASHID et al. (2016) analisou a largura a partir da diferença entre a largura real da ponte e a largura necessária de acordo com os atuais padrões normativos a fim de avaliar o nível de adequação da largura, sendo possível quatro classificações com relação ao grau de adequação.

No presente trabalho, a avaliação do subcritério Geometria se deu a partir da consideração de quatro intervalos de valores da largura do tabuleiro das pontes (Tabela 12), possuindo maior prioridade as pontes de menor largura. Larguras menores indicam maior insegurança e menor conforto para o usuário. Os intervalos de largura foram propostos de acordo com a evolução dos padrões de projeto determinado pelas normas de projeto de pontes, conforme apresentado em pelo Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias (DNIT, 2004a).

Tabela 12 – Avaliação do largura

Faixas de Largura (m)	Avaliação
Até 8,30	5
8,30 – 10,00	4
10,00 – 10,80	3
10,80 – 12,80	2
≥ 12,80	1

Fonte: autoria própria

3.3.2.4 CONDIÇÃO DOS ITENS DE SEGURANÇA

RASHID et al. (2016) e MANSOUR et al. (2019) utilizaram a condição dos elementos de segurança como critérios de priorização através de verificação entre as condições reais desses elementos nas pontes e das atuais determinações normativas acerca dos mesmos, sendo possíveis quatro classificações possíveis. MACHADO (2018), para avaliar o critério de priorização segurança dos usuários das pontes, propôs como uma das formas de avaliação a condição do guarda corpo, guarda rodas e barreiras bem como a presença de defensas.

Dessa forma, o subcritério Condição dos Itens de Segurança visa avaliar o estado dos elementos de segurança da ponte, isto é, barreiras, defensas, guarda rodas e guarda corpo. Esses elementos são avaliados nas inspeções através de Nota Técnica atribuída pelo inspetor. Além disso, o SGO aponta algumas deficiências relacionadas a esses itens. As formas de avaliação utilizadas no presente trabalho estão expostas na Tabela 13.

Tabela 13 – Avaliação do subcritério Itens de Segurança

Itens avaliados	Avaliação	
Condição da barreira New Jersey	1, 2, 3, 4, ou 5	
Condição do Guarda corpo	1, 2, 3, 4, ou 5	
Condição do Guarda rodas	1, 2, 3, 4, ou 5	
Guarda rodas obsoleto	Sim	1
	Não	0
Ausência de dispositivo de defensas metálicas	Sim	1
	Não	0

Fonte: autoria própria

3.3.2.5 IDADE DA PONTE

CHASSIAKOS et al. (2005), PELLEGRINO et al. (2011), AUGERI et al. (2014), RASHID et al. (2016), YOSSYAFRA et al. (2019) e MANSOUR et al. (2019) empregaram o critério de priorização idade, avaliando as pontes a partir do ano de construção e de faixas de idade. As maiores prioridades são atribuídas às pontes mais antigas.

A idade se relaciona tanto com o envelhecimento da ponte – e, portanto, com a deterioração dos materiais – como também com o momento em que a mesma foi construída e os padrões construtivos da época determinados por norma. Assim, pontes mais antigas tendem a apresentar uma série de defasagens quando comparadas com pontes construídas mais recentemente.

MENDES (2009) ressalta que as pontes existentes, sobretudo as mais antigas, apresentam dificuldades para reunião de informações de projeto o que exige maior atenção no recolhimento *in loco* e, geralmente, são pontes que carecem de informação. Nesse sentido,

constatou-se que aproximadamente 54% das pontes não apresentavam informação do ano de construção. Para avaliar esse subcritério foram propostos períodos de construção de acordo com a publicação das atualizações das normas de projeto de pontes, assim como apresentado no Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias (DNIT, 2004a). As pontes que não constavam o ano de construção foram enquadradas nos períodos de construção de acordo com características de projeto, como largura da plataforma, tipo de item de segurança e trem tipo de projeto. Assim, esse subcritério pode ser avaliado conforme consta na Tabela 14.

Tabela 14 – Avaliação do subcritério Idade

Período de construção	Avaliação
Até 1960	4
1960 – 1975	3
1975 – 1985	2
Após 1985	1

Fonte: autoria própria

3.3.3 Importância da Ponte para Rede

Para o critério Importância da Ponte Para Rede foram selecionados os subcritérios VMDa, Extensão do Desvio, Comprimento e Classe da Rodovia.

3.3.3.1 VOLUME MÉDIO DIÁRIO (VMDa)

Um dos critérios de priorização mais utilizados é o Volume Médio Diário (VMDa). A maioria dos autores avalia as pontes de acordo com intervalos de VMDa de maneira a atribuir maior prioridade às pontes com maiores níveis de tráfego (VALENZUELA et al., 2010; PELLEGRINO et al., 2011; CAÑAMARES, 2016; NURDIN et al., 2017; NURANIL et al., 2017; JANAS et al., 2018; CONTRERAS NIETO et al., 2019; MANSOUR et al., 2019; IVANOVIC et al., 2021).

O VMDa representa o nível de utilização da ponte, constituindo um dos indicadores de priorização mais utilizados. Um elevado VMDa indica que uma possível interrupção por colapso estrutural ou obras de manutenção incorrerá em grandes transtornos aos usuários e prejuízos de ordem econômica gerado pelos atrasos ou maiores distâncias a serem percorridas. DABOUS (2008) argumenta que investimentos de manutenção em pontes de maior VMDa tende a beneficiar uma maior quantidade de usuários, fato que aumenta a eficácia do investimento.

O os dados cedidos pelo SGO do DNIT, apesar das determinações de norma, não aprestavam os VMDa nas seções das pontes. Nesse sentido, foi necessário recorrer aos dados do Programa Nacional de Contagem de Tráfego (PNCT) do próprio DNIT. Esses dados são disponibilizados anualmente a partir de uma modelagem da rede que visa estimar os VMDa de cada trecho componente. A metodologia de modelagem foi produzida a partir de uma cooperação entre o DNIT e a Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) através do desenvolvimento de pesquisas de origem e destino, consolidação e tratamento de dados de fluxos de veículos e aplicação de modelos de alocação de tráfego. A autarquia utiliza essas informações como subsidio de seu planejamento estratégico (DNIT, 2021).

No presente trabalho, os VMDa de cada trecho rodoviário disponibilizados por meio de planilha eletrônica pelo DNIT foram associados aos trechos em que as pontes estão localizadas a fim do obter o VMDa em cada ponte. Com objetivo de avaliar as pontes foram propostos cinco intervalos de valores de volume de tráfego (Tabela 15), possuindo maior prioridade as pontes localizadas em trechos com maior volume.

Tabela 15 – Avaliação do subcritério VMDa

Faixas de VMDa	Avaliação
0 – 3.000	1
3.000– 4.500	2
4.500 – 8.000	3
8.000 – 20.000	4
> 20.000	5

Fonte: autoria própria

3.3.3.2 EXTENSÃO DO DESVIO

PELLEGRINO et al. (2011), JANAS et al. (2018) e IVANKOVIC et al. (2021) utilizaram como um dos critérios de priorização a extensão de desvio, avaliando as pontes de acordo com faixas de acréscimo de distância de percurso imposto aos usuários em caso de interrupção da ponte. MACHADO (2018) também utilizou esse critério em seu modelo, alertando que em caso de inexistência de rotas alternativas a ponte deve ter maior prioridade em relação às demais.

No presente trabalho, o subcritério Extensão do Desvio indica o acréscimo de distância da rota alternativa ao trecho em que se localiza a ponte em caso de colapso estrutural ou interrupção para manutenção. A norma norte-americana define Extensão do Desvio (*Detour Length*) como o acréscimo total de viagem para um veículo resultante do fechamento da ponte

(FHWA, 1995). O SGO apresenta em seus dados a distância acrescida bem como a rota a ser estabelecida em caso de interrupção. Para avaliar esse subcritério foram propostos cinco intervalos de valores de extensão de desvio (Tabela 16), possuindo maior prioridade as pontes sujeitas a maiores desvios.

Tabela 16 – Avaliação do subcritério Extensão do desvio

Extensão do Desvio (Km)	Avaliação
Até 50	1
50 – 100	2
100 – 150	3
150 – 200	4
> 200	5
Sem rota estabelecida no SGO	6

Fonte: autoria própria

Para aquelas pontes com ausência de informação acerca de extensão do desvio, considerou que tais estruturas não apresentam nenhuma rota alternativa estabelecida no SGO em caso de interrupção. Nesse caso, atribuiu-se maior prioridade as mesmas.

3.3.3.3 COMPRIMENTO

VALENZUELA et al. (2010), JANAS et al. (2018), PARESTYO et al. (2019) e IVANKOVIC et al. (2021) implementaram o comprimento da ponte como critério de priorização, avaliando a ponte a partir de faixas de comprimento e atribuindo as maiores prioridades às pontes com maiores comprimentos.

No presente trabalho, o subcritério Comprimento também foi utilizado como indicador da importância para rede uma vez que pontes de maiores extensões impõem maiores consequências negativas ao usuário em caso de interrupção, dificultam a proposição de rotas alternativas e tendem a possuir ações de manutenção mais demoradas devido a maiores dificuldades de acesso aos elementos estruturais. Nesse sentido, para avaliar esse subcritério foram propostos quatro intervalos de valores de comprimento (Tabela 17), possuindo maior prioridade as pontes de maior comprimento.

Tabela 17 – Avaliação do subcritério Comprimento

Faixas de Comprimento (m)	Avaliação
6 – 35	1
35 – 55	2

55 – 100	3
> 100	4

Fonte: autoria própria

3.3.3.4 CLASSE DA RODOVIA

DABOUS (2008), PELLEGRINO et al. (2011), JANAS et al. (2018), IVANKOVIC et al. (2021) utilizaram o critério classe da rodovia para indicar a importância do trecho rodoviário no qual a ponte está localizada. As prioridades são atribuídas às pontes de acordo com a relevância do trecho rodoviário dentro da rede. DABOUS (2008), por exemplo, categorizou os trechos em locais ou coletores, regionais, nacionais e rodovias.

O subcritério Classe da Rodovia indica a importância para rede do trecho rodoviário em que a ponte está localizada. Para avaliar esse subcritério foi utilizado a classificação de trechos rodoviários proposta pelo DNIT denominada Malha Rodoviária Federal Estratégica (MRFE). Segundo PEREIRA et al. (2017), MRFE constitui 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. A MRFE parte da Rede de Integração Nacional (RINTER), estabelecida pela Lei nº 12.379/2011. A MRFE é dividida em quatro níveis visando a hierarquização de segmentos das rodovias. A avaliação do subcritério ocorreu de acordo com os níveis hierárquicos da MRFE, conforme apresentado na Tabela 18.

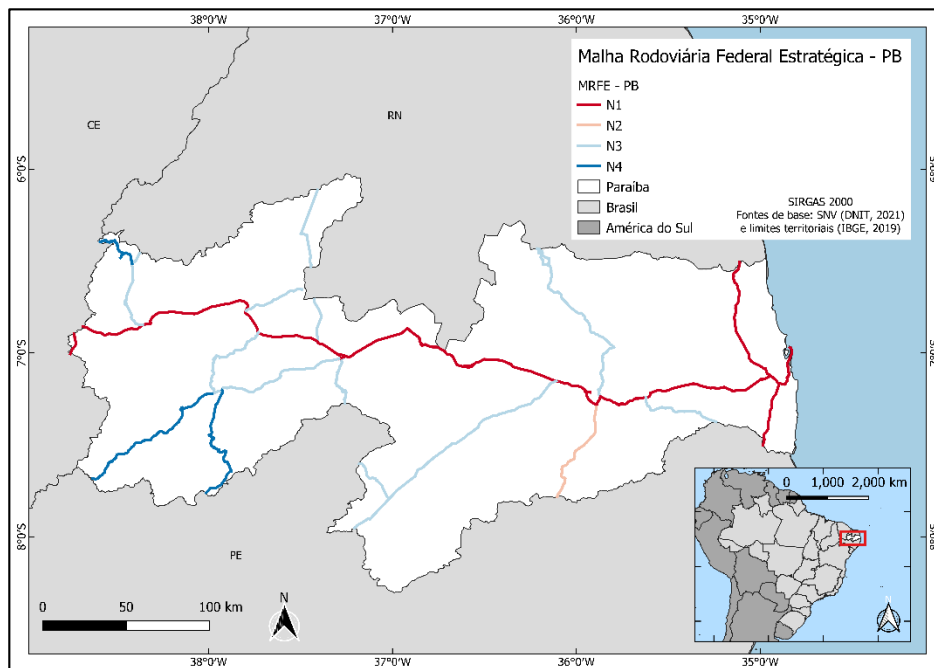
Tabela 18 – Avaliação do subcritério Classe da rodovia

Nível	Características	Avaliação
N1	Rede de rodovias formadas pelos principais eixos logísticos, vias de acesso à capitais e fronteira, conexões turísticas, acessos a portos e outras rodovias que formam as rotas mais importantes na circulação de cargas e passageiros relacionados na MRFE.	4
N2	Rede de rodovias que interligam os principais eixos N1 e que possuem funções secundárias previstas na MRFE.	3
N3	Rodovias de importância local, não elencadas na MRFE.	2
N4	Segmentos de acesso com baixa representatividade no escoamento atual da produção, não elencadas na MRFE.	1

Fonte: autoria própria

A Figura 15 apresenta as rodovias federais do Estado da Paraíba segundo a MRFE.

Figura 15 – MRFE - Paraíba



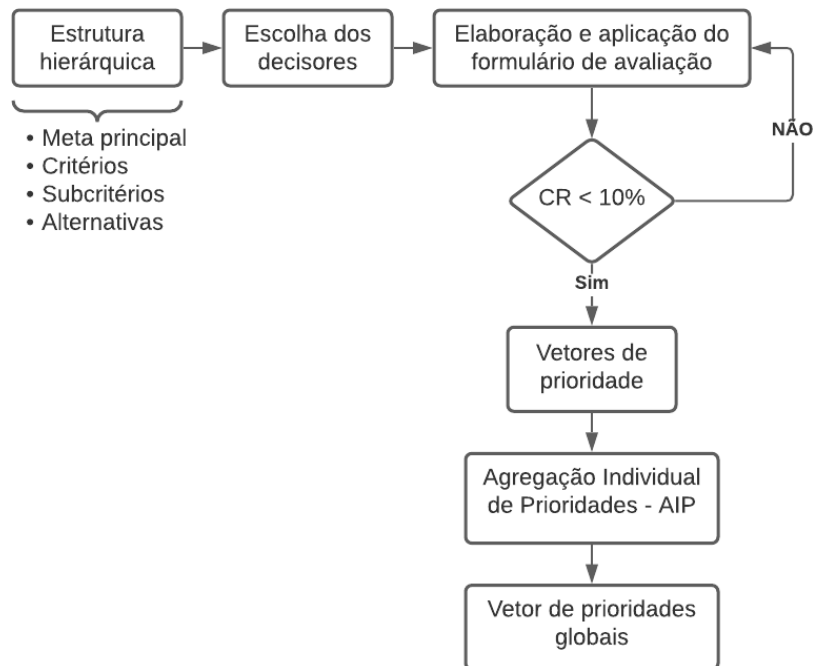
Fonte: autoria própria

É possível perceber na Figura 15 que as rodovias BR 101 e BR 230 são classificadas como N1; a rodovia BR 104 possui um trecho N2 e outro N3; a BR 408, BR 110, BR 412, BR 427 e BR 405 são classificadas como N3; as rodovias BR 426 e BR 361 possuem trechos N3 e N4; e a BR 434 é classificada como N4.

3.4 APLICAÇÃO DO MÉTODO AHP

O método MCDM aplicado no presente trabalho foi o AHP. A escolha do método ocorreu devido a necessidade de se obter um *ranking* de alternativas a partir da avaliação de múltiplos critérios. Além disso, o AHP permite o agrupamento das opiniões de um grupo de especialistas, permite uma estruturação formal do problema, exige a consistência adequada das respostas e é bastante utilizado na literatura relacionada a gestão de infraestruturas. Nesse sentido, a aplicação do AHP seguiu as etapas evidenciadas no fluxograma da Figura 16.

Figura 16 – Fluxograma de aplicação do AHP

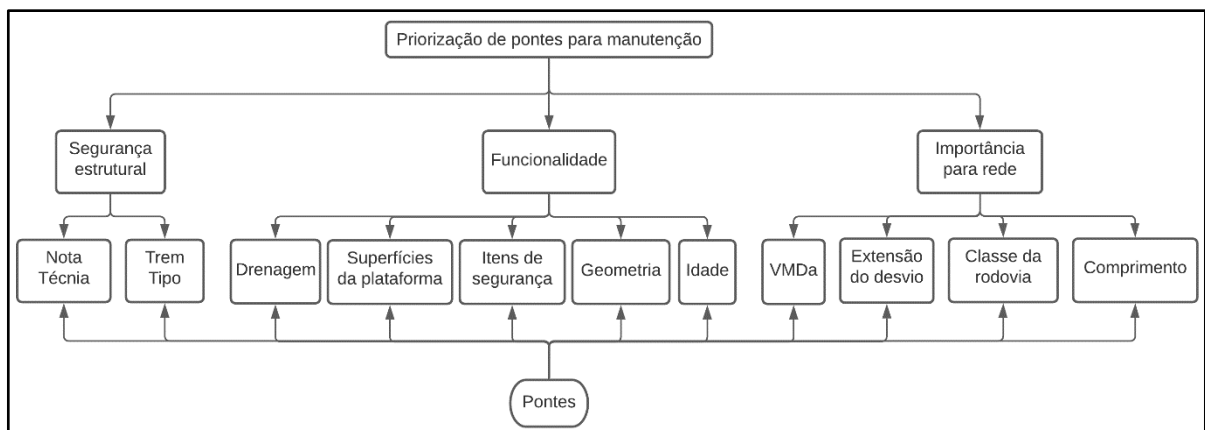


Fonte: autoria própria

3.4.1 Estrutura hierárquica

O método AHP exige a proposição de uma estrutura hierárquica que represente o problema. A Figura 17 apresenta o modelo hierárquico do problema de priorização de pontes, contendo a meta geral, os critérios, subcritérios e as alternativas. Totalizou-se, assim, quatro níveis hierárquicos.

Figura 17 – Estrutura Hierárquica



Fonte: autoria própria

3.4.2 Escolhas do decisores

Para contribuir com a análise das relevâncias relativas dos critérios e subcritérios, foram selecionados os avaliadores. Buscou-se engenheiros com experiência na área rodoviária e também engenheiros especialistas em pontes rodoviárias. Buscou-se também diversificar os campos de atuação, isto é, engenheiros acadêmicos e pesquisadores, gerentes e diretores de órgãos rodoviários, engenheiros fiscais de obras rodoviárias, projetistas estruturais de pontes e engenheiros construtores de obras rodoviárias. Assim, foram aplicados 12 questionários.

3.4.3 Elaboração e aplicação do questionário

A avaliação dos critérios ocorreu a partir de um questionário contendo as comparações paritárias entre os critérios e subcritérios que foi desenvolvido para receber respostas de forma manual e múltipla escolha. O procedimento de aplicação ocorreu da seguinte maneira: 1) o avaliador recebia o questionário, respondia e o devolvia; 2) calculava-se as consistências dos julgamentos e, caso a consistência necessária fosse atingida, interrompia-se o processo; caso a consistência não fosse atingida, o questionário era devolvido ao avaliador com o alerta de consistência não alcançada; 3) com a consistência necessária atingida, encerrava-se a avaliação. O questionário desenvolvido está exposto no Apêndice A.

3.4.4 Vetores de Prioridade

Uma vez que as consistências das respostas foram atingidas, calcularam-se os vetores de prioridade. Esse vetor indica o peso ou relevância de cada subcritério ou critério no seu respectivo nível da hierarquia. Esse vetor é determinado a partir de cada matriz de comparação obtida através das comparações paritárias. Assim, cada avaliador gerou quatro vetores de prioridade, sendo um vetor gerado a partir da matriz de comparações envolvendo os critérios, um vetor para os subcritérios relacionados à Segurança Estrutural, outro vetor para os subcritérios relacionados à Funcionalidade e um último para os subcritérios relacionados a Importância da ponte para rede.

Para determinar os vetores de prioridades, foi utilizado o método da Média Geométrica, conforme proposto por CONTRERAS-NIETO (2019) e apresentado na seção 2.4.2. Para o cálculo foi produzida uma planilha eletrônica através do *software Microsoft Excel*.

3.4.5 Agregação Individual de Prioridades (AIP)

Com o objetivo de obter o vetor de prioridade global foi utilizada a Agregação Individual de Prioridades (AIP), isto é, as prioridades finais de cada ponte obtida pelos julgamentos de cada um dos decisores foram agregadas em prioridades globais. Segundo COSTA e BELDERRANI (2009), o AIP deve ser utilizado quando o grupo de decisores for heterogêneo e apresente dificuldades em se reunir e gerar os consensos prévios.

Segundo SAATY (2008), a média geométrica é a melhor forma de realizar a agregação e indica que, em caso de uso da AIP, apenas as prioridades finais de cada alternativa segundo cada decisor devem ser agregadas. Ou seja, deve-se calcular a média geométrica das prioridades finais de cada decisor. Assim, no presente trabalho, as prioridades finais de cada decisor foram obtidas de pela associação das prioridades dos critérios com o desempenho de cada ponte em cada critério, conforme a equação (11).

$$W_i = \sum_{j=1}^n x_{ij} w_j^m \quad (11)$$

Em que:

W_i : prioridade final a alternativa (ponte) i ;

w_j^m : peso do critério j segundo o decisor m ;

x_{ij} : avaliação da alternativa (ponte) i no critério j ;

n : número de critérios.

Como os critérios utilizados nos modelos AHP são, geralmente, avaliados em escalas diversas, a agregação de prioridades pode se tornar inviável (LIMA, 2007). Assim, muitas vezes é necessário realizar uma normalização das avaliações a fim de obter as prioridades finais. Segundo BIANCO (2016), os procedimentos de harmonização e normalização nada mais são que a geração de escalas de equivalência entre os dados analisados. A não normalização das escalas pode gerar distorções nos resultados. O procedimento de normalização indicado por BIANCO (2016) é exposto pela equação (12).

$$x'_{ij} = \frac{\frac{x_{ij}}{x_{\max,j}}}{\sum_{i=1}^n \frac{x_{ij}}{x_{\max,j}}} \quad (12)$$

Em que:

x'_{ij} : avaliação da alternativa i no critério j com valor normalizado;

x_{ij} : avaliação da alternativa i no critério j ;

$x_{máx,j}$: máximo valor de avaliação alcançado por uma alternativa em um critério j ;
 n : número de alternativas.

Após a aplicação do procedimento indicado obtém-se a avaliação das alternativas em um determinado critério dentro do intervalo $0 < x'_{ij} < 1$.

A AIP também possibilita a utilização de diferentes pesos para os avaliadores, caso a opinião de um ou mais consultados possua maior relevância. Entretanto, no presente trabalho, não foi atribuído nenhum peso a nenhum avaliador uma vez que não havia informação suficiente acerca dos participantes para validar tal atribuição.

3.5 LISTA DE PRIORIDADE DE PONTES VISANDO MANUTENÇÃO

A lista de prioridades consiste no *ranking* final de pontes através de suas respectivas prioridades globais após a aplicação do procedimento de AIP. Aquelas estruturas localizadas nas primeiras posições representam as de maior urgência com relação às ações de conservação. Esse *ranking* é obtido pela agregação das prioridades finais de cada ponte determinadas pelos julgamentos de cada decisor.

3.6 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A análise dos resultados foi dividida em quatro etapas: 1) a descrição da avaliação das pontes em cada subcritério; 2) a discussão acerca da aplicação do método AHP bem como a exposição dos pesos de cada critério e cada subcritério; 3) a análise do *ranking* final de prioridades de pontes visando as atividades de manutenção e sua comparação com a metodologia tradicional empregada pelo DNIT; 4) agrupamento das pontes em cinco níveis de prioridades de acordo com o escore alcançado pelo método AHP e discussão acerca das características das pontes presentes em cada nível de prioridade.

O agrupamento proposto foi realizado a partir da ferramenta de estatística exploratória Análise de Cluster (AC) ou Análise de Agrupamento. A AC possibilita o agrupamento de objetos segundo suas características visando fornecer conglomerados homogêneos em acordo com determinado critério (PITOMBO, 2007). Esses conglomerados devem apresentar homogeneidade interna e heterogeneidade externa.

No processo de agrupamento é necessário o uso de medidas de similaridade ou dissimilaridade entre os objetos. Geralmente, são utilizadas as medidas de distância, isto é,

objetos com menores distância entre si são mais semelhantes. A medida de distância mais comumente utilizada é a distância euclidiana (PITOMBO, 2007).

Os processos de agrupamento podem ser hierárquicos ou não hierárquicos. Dentre os processos não hierárquicos, destaca-se o algoritmo *K-means cluster*, o qual parte de um número predefinido de grupos, estimando o centroide inicial desses grupos, determinando as distâncias dos objetos a cada centroide e recalculando o centroide dos grupos. O algoritmo é finalizado quando os centroides dos grupos não mais se deslocam (PITOMBO, 2007).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 AVALIAÇÃO DAS PONTE RODOVIÁRIAS

As 192 pontes inspecionadas no ano base de 2019, utilizado no presente trabalho, foram avaliadas de acordo com os dados do SGO repassados ao LAPAV e as determinações definidas na etapa do Método de Trabalho. Cada uma das pontes recebeu uma classificação a partir de seu desempenho em cada subcritério, conforme as tabelas 9 a 18.

A seguir, a título de exemplo, será detalhada a avaliação em cada subcritério da ponte 130260 de nome Ponte sobre o Riacho Espinheiro (Figura 18). Essa estrutura está localizada no quilômetro 223 da BR 230 próximo ao município de Soledade no interior do Estado da Paraíba.

Figura 18 - Ponte sobre o Riacho do Espinheiro



Fonte: Relatórios de Inspeção Rotineira SGO (2019)

Primeiramente, a ponte foi caracterizada segundo o critério Segurança Estrutural. A Nota Técnica da ponte atribuída pelo inspetor foi 2, sendo classificada como Obra Problemática pelo SGO. Essa avaliação foi justificada pela condição das longarinas, transversinas e da laje, estando todos esses elementos com insuficiências estruturais devido a exposição e corrosão da armadura em diversos pontos (Figura 19). É importante lembrar que a escala da Nota Técnica foi invertida para possibilitar a priorização, sendo a ponte avaliada com a classificação 4. Com relação ao Trem Tipo, a ponte em questão foi avaliada com a classificação 3 uma vez que seu trem tipo é de 24 toneladas, conforme o relatório do SGO.

Figura 19 – Danos nas longarinas e transversinas



Fonte: Relatórios de Inspeção Rotineira SGO (2019)

Para o critério Funcionalidade, a ponte foi inicialmente avaliada de acordo com o subcritério Condições da Drenagem, obtendo a classificação 2 por apresentar as deficiências pingadeiras inexistentes e ausência de dispositivo de drenagem no aterro de acesso. O subcritério Condições das Superfícies da Plataforma foi avaliado com a classificação 9 devido a inexistência de acostamento e passeio (Figura 18) e devido as condições da junta de dilatação, avaliada com Nota Técnica 2 pelo inspetor (classificação 4). Os acessos e o pavimento da pista de rolamento receberam as melhores notas possíveis devido ao bom estado. O subcritério condições dos Itens de Segurança foi avaliado com a classificação 4 devido as condições do guarda corpo e guarda rodas (Nota Técnica 3) e devido à obsolescência do guarda rodas (Figura 20). O subcritério Geometria foi avaliado com a classificação 4 já que a ponte apresenta uma largura de 8,30 metros. Por fim, o subcritério Idade foi avaliado com a classificação 4 uma vez que a ponte foi construída no ano de 1950 e, portanto, encaixa-se na categoria até 1960.

Figura 20 - Danos no guarda corpo



Fonte: Relatórios de Inspeção Rotineira SGO (2019)

O critério Importância para Rede foi avaliado de acordo com seus subcritérios VMDa, Extensão de Desvio, Comprimento e Classe da Rodovia. A ponte apresenta um VMDa de 6.027 veículos por dia, sendo avaliada com a classificação 3 (entre 4.500 e 8.000 veículos por dia). O desvio planejado pelo DNIT em caso de interrupção tem extensão de 236,9 quilômetros, sendo esse subcritério avaliado com a classificação 5 (maior do que 200 quilômetros). O subcritério Comprimento foi avaliado com a classificação 1, pois a ponte apresenta comprimento de 16,50 metros (menor do que 35 metros). Por último, a estrutura foi avaliada com a classificação 4 segundo o subcritério Classe da Rodovia por estar localizada em um trecho rodoviário N4 na MRFE.

Após a avaliação em cada subcritério de cada uma das pontes participantes do processo de priorização, foi possível passar a próxima etapa, mais precisamente, a aplicação do método multicritério AHP.

4.2 APLICAÇÃO DO MÉTODO AHP

4.2.1 Pesos dos critérios e subcritérios

As relevâncias relativas dos critérios e subcritérios foram determinadas a partir das comparações paritárias realizadas pelos decisores na aplicação do questionário. O questionário exposto no Apêndice A foi elaborado de maneira a permitir a comparação paritária através da marcação de um “X” na escala de Saaty. Após o recebimento das respostas, a consistência dos julgamentos era determinada. Caso a consistência fosse atendida, passava-se para a próxima etapa de cálculo. Por outro lado, se a consistência não fosse alcançada, o questionário era devolvido. Ressalta-se que foram obtidas 12 respostas.

Dessa forma, cada decisor gerou uma matriz de comparação consistente para os critérios e subcritérios e, conseqüentemente, um vetor de prioridade de cada matriz de comparação. A seguir, a título de exemplo, serão descritas as etapas de cálculo do vetor de prioridade referente aos critérios através das comparações paritárias de um dos decisores consultados. A matriz de comparação obtida dos julgamentos do decisor 11 é evidenciada na Tabela 19.

Tabela 19 – Matriz de comparação de critérios

Crítérios	Seg. Estrutural	Funcionalidade	Imp. para rede
Seg. Estrutural	1	5	3
Funcionalidade	1/5	1	1
Imp. para rede	1/3	1	1

Fonte: autoria própria

Realizou-se, então, a normalização da matriz de comparação, dividindo cada elemento de uma linha pela soma dos elementos de sua coluna, conforme a Tabela 20.

Tabela 20 – Matriz de comparação de critérios normalizada

Crítérios	Seg. Estrutural	Funcionalidade	Imp. para rede
Seg. Estrutural	0,624	0,714	0,600
Funcionalidade	0,130	0,143	0,200
Imp. para rede	0,217	0,143	0,200

Fonte: autoria própria

A forma de cálculo do vetor de prioridade utilizada no presente trabalho foi a média geométrica através da equação (6). Assim, calculou-se a média geométrica de cada linha da matriz de comparação, obtendo o vetor de prioridade com os pesos relativos de cada critério para o decisor 11, conforme a Tabela 21.

Tabela 21 – Vetor de prioridade

Crítérios	Seg. Estrutural	Funcionalidade	Imp. para rede	Vetor de prioridade
Seg. Estrutural	0,624	0,714	0,600	0,659
Funcionalidade	0,130	0,143	0,200	0,156
Imp. para rede	0,217	0,143	0,200	0,185

Fonte: autoria própria

Para determinar a consistência dos julgamentos realizados, determinou-se $\lambda_{m\acute{a}x}$. Assim, utilizando a equação (8), calculou-se o Índice de Consistência para $n = 3$. Uma vez calculado o CI, chegou-se a Razão de Consistência pela equação (9) para $RI = 0,58$ ($n = 3$). Para o decisor 11, a consistência alcançada foi de 0,03, menor ou igual a 0,10 e, portanto, consistente. Da Tabela 21, conclui-se que o decisor 11 atribuiu maior importância ao critério segurança estrutural (65,9%), sendo seguido pelo critério importância para rede (18,5%) e, por último, funcionalidade (15,6%).

O mesmo procedimento descrito anteriormente foi repetido para os subcritérios e, da mesma forma, para todos os demais decisores. Com relação aos critérios, a Tabela 22 apresenta os pesos ou importância relativos determinados a partir das comparações paritárias realizadas por cada decisor consultado.

Tabela 22 – Pesos dos critérios para cada decisor

Decisor	Seg. Estrutural	Funcionalidade	Imp. para rede
1	0,731	0,081	0,188
2	0,455	0,455	0,091

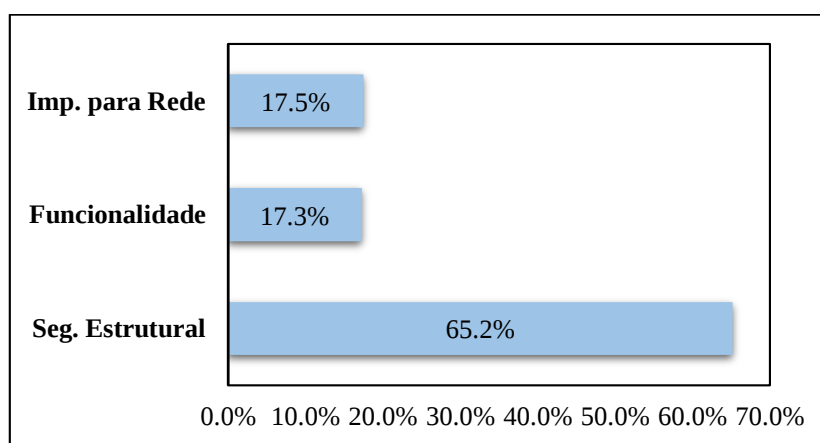
3	0,637	0,258	0,105
4	0,674	0,101	0,226
5	0,429	0,143	0,429
6	0,705	0,211	0,084
7	0,705	0,211	0,084
8	0,474	0,053	0,474
9	0,796	0,121	0,083
10	0,814	0,114	0,072
11	0,659	0,156	0,185
12	0,750	0,171	0,078

Fonte: autoria própria

Percebe-se que nove dos doze decisores atribuíram maiores importâncias ao critério Segurança Estrutural. Essa escolha tende a ser pertinente, uma vez que a estabilidade estrutural das pontes tem grande papel em seu desempenho geral. Além disso, nas ferramentas de priorização analisadas durante a etapa de revisão bibliográfica, notou-se que os critérios relacionados ao desempenho estrutural das pontes recebem maior importância.

A Figura 21 apresenta a média aritmética dos pesos de cada critério para cada decisor.

Figura 21 – Média dos pesos dos critérios



Fonte: autoria própria

Além do forte destaque do critério Segurança Estrutural, evidencia-se o equilíbrio entre os critérios Importância para Rede e Funcionalidade, havendo uma relevância levemente maior para o critério Importância para Rede. É importante atentar que no processo de agregação de prioridades AIP, não são utilizadas as médias aritméticas tal como apresentadas. Porém, as médias servem de indicativo para análise do desempenho de cada critério ou subcritério perante os julgamentos dos decisores.

Com relação aos subcritérios do critério Segurança Estrutural, a Tabela 23 apresenta as importâncias atribuídas por cada decisor.

Tabela 23 – Pesos dos subcritérios do critério Segurança Estrutural

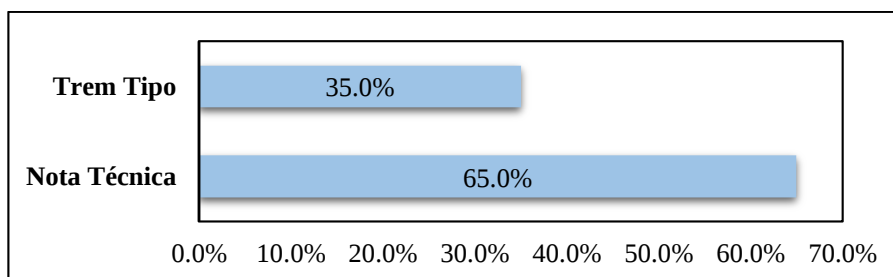
Decisor	Nota Técnica	Trem Tipo
1	0,167	0,833
2	0,833	0,167
3	0,833	0,167
4	0.500	0.500
5	0,875	0,125
6	0.500	0.500
7	0.250	0,750
8	0.500	0.500
9	0,889	0,111
10	0,900	0,100
11	0,750	0,250
12	0,800	0,200

Fonte: autoria própria

Nota-se uma maior diversidade de abordagens por parte dos decisores, isto é, sete deles atribuíram maior importância à Nota Técnica, dois ao Trem Tipo e três atribuíram a mesma importância.

A Figura 22 evidencia a média dos pesos para os subcritérios Nota Técnica e Trem tipo.

Figura 22 - Média dos pesos dos subcritérios do critério Segurança Estrutural



Fonte: autoria própria

Nota-se maior prevalência de importância do critério Nota Técnica. Um motivo provável pode ser o fato de que as inspeções do DNIT promovem uma avaliação do estado de condição atual das pontes mais precisa e realizada por um inspetor treinado *in loco*. Assim, a Nota Técnica, ao representar numericamente tal avaliação, tendeu a possuir maior importância para os decisores. Percebe-se, também, que os Índices de Condição receberam, de modo geral,

maiores relevâncias nas ferramentas de priorização analisadas na etapa de revisão bibliográfica, fato que corrobora com a avaliação realizada pelos decisores no presente trabalho.

A Tabela 24 apresenta os pesos dos subcritérios do critério Funcionalidade, ou seja, Condições da Drenagem, Condições da Superfície da Plataforma, Condição dos Itens de Segurança, Geometria e Idade.

Tabela 24 – Pesos dos subcritérios do critério Funcionalidade

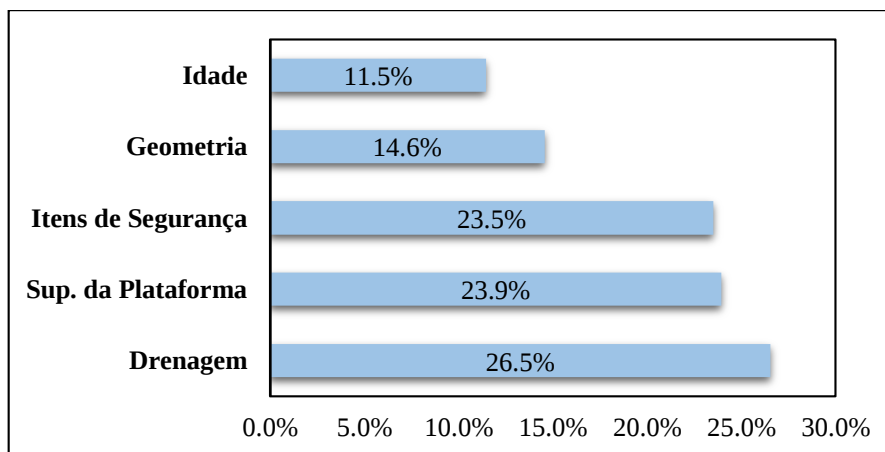
Decisor	Drenagem	Sup. da Plataforma	Itens de Segurança	Geometria	Idade
1	0,043	0,413	0,266	0,120	0,158
2	0,218	0,374	0,301	0,050	0,057
3	0,394	0,143	0,221	0,143	0,100
4	0,229	0,160	0,371	0,067	0,173
5	0,076	0,179	0,278	0,308	0,159
6	0,395	0,249	0,140	0,106	0,110
7	0,207	0,148	0,196	0,361	0,088
8	0,096	0,289	0,232	0,232	0,150
9	0,411	0,280	0,140	0,104	0,065
10	0,507	0,262	0,129	0,075	0,028
11	0,132	0,227	0,439	0,132	0,069
12	0,478	0,146	0,107	0,051	0,218

Fonte: autoria própria

Devido a maior quantidade de subcritérios há uma maior diversidade das abordagens desenvolvidas pelos decisores quanto às importâncias relativas. Nota-se que cinco decisores privilegiaram o subcritério Condições da Drenagem em seus julgamentos, três privilegiaram a Condição das Superfícies da Plataforma, dois a Condição dos Itens de Segurança, dois a Geometria e nenhum a Idade, sendo o subcritério com menor importância para todos eles.

A Figura 23 evidencia a média aritmética dos pesos dos subcritérios do critério Funcionalidade.

Figura 23 - Média dos pesos dos subcritérios do critério Funcionalidade



Fonte: autoria própria

É possível notar um leve destaque para o subcritério Condições da Drenagem. De fato, condições adversas da drenagem nas pontes podem facilitar tanto a degradação do concreto e armadura das peças estruturais como do pavimento da pista de rolamento. Além disso, o acúmulo de água na pista pode gerar desconforto e insegurança aos usuários. Os critérios Condições dos Itens de Segurança e Condições das Superfícies da Plataforma, de maneira geral, apresentam importâncias médias próximas, enquanto a Geometria e a Idade apresentaram os menores pesos médios.

Com relação aos subcritérios do critério Importância para a Rede, a Tabela 25 expõe os pesos de cada um deles de acordo com os julgamentos de cada decisor.

Tabela 25 – Pesos dos subcritérios do critério Importância para Rede

Decisor	VMDa	Extensão do Desvio	Comprimento	Classe da Rodovia
1	0,629	0,200	0,096	0,074
2	0,540	0,275	0,062	0,123
3	0,483	0,212	0,212	0,093
4	0,226	0,516	0,039	0,219
5	0,417	0,161	0,332	0,091
6	0,293	0,293	0,207	0,207
7	0,425	0,106	0,136	0,333
8	0,445	0,445	0,032	0,077
9	0,602	0,250	0,090	0,058
10	0,555	0,279	0,116	0,050
11	0,513	0,261	0,076	0,150

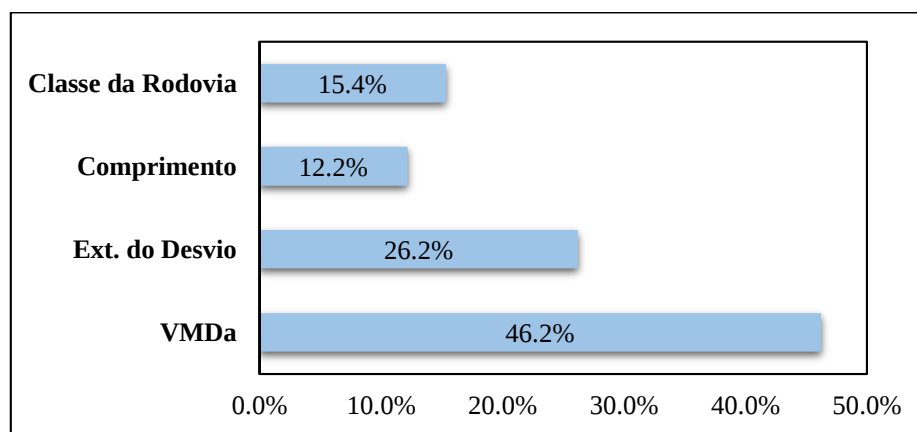
12	0,417	0,150	0,066	0,367
-----------	-------	-------	-------	-------

Fonte: autoria própria

Nota-se que foi dado, de forma geral, maior destaque ao subcritério VMDa, com nove decisores definindo-o como o de maior peso. Um decisor atribuiu maior peso ao subcritério Extensão do Desvio e dois atribuíram pesos iguais aos subcritérios VMDa e Extensão do Desvio.

A Figura 24 expõe as médias dos pesos dos subcritérios do critério Importância para Rede.

Figura 24- Média dos pesos dos subcritérios do critério Importância para Rede



Fonte: autoria própria

Percebe-se a maior importância atribuída ao subcritério VMDa de maneira geral. O motivo provável para isso é a representação direta do nível de utilização e das consequências da interrupção da ponte através de seu volume de tráfego. O VMDa também é um atributo utilizado em praticamente todas as ferramentas de priorização consultadas na revisão bibliográfica. Destaca-se, ainda, o subcritério Extensão do Desvio com o segundo maior peso médio com relação à Importância para Rede. Os subcritérios Classe da Rodovia e Comprimento apresentaram as menores importâncias, havendo um leve destaque para a Classe da Rodovia.

De posse dos pesos dos critérios e dos subcritérios, foi possível obter os pesos finais dos subcritérios pela combinação dos vetores de pesos dos critérios com os vetores de pesos dos subcritérios. A Tabela 26 evidencia os pesos finais.

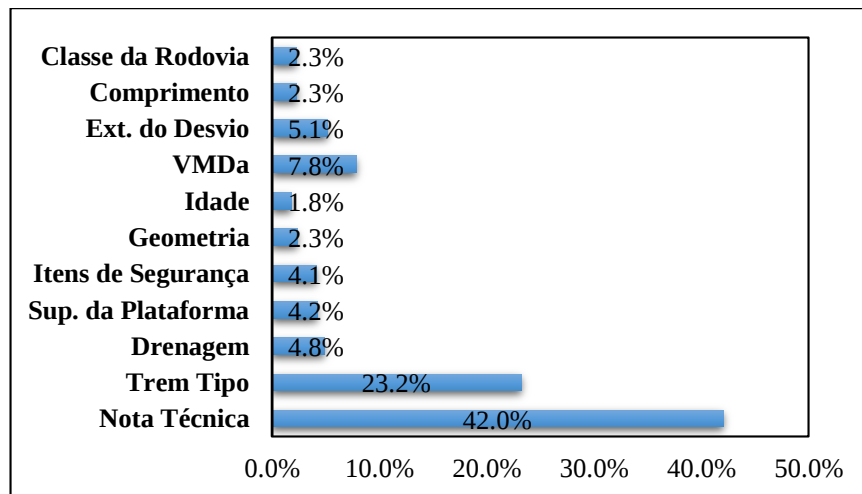
Tabela 26 – Pesos finais dos subcritérios

Decisor	Nota Técnica	Trem tipo	Drenagem	Plataforma Sup.	Itens segurança	Geometria	Idade	VMDa	Ext. Desvio	Compriment.	Classe da Rodovia
1	0.122	0.609	0.003	0.033	0.022	0.010	0.013	0.119	0.038	0.018	0.014
2	0.379	0.076	0.099	0.170	0.137	0.023	0.026	0.049	0.025	0.006	0.011
3	0.531	0.106	0.102	0.037	0.057	0.037	0.026	0.051	0.022	0.022	0.010
4	0.337	0.337	0.023	0.016	0.037	0.007	0.017	0.051	0.116	0.009	0.049
5	0.375	0.054	0.011	0.026	0.040	0.044	0.023	0.179	0.069	0.142	0.039
6	0.352	0.352	0.083	0.053	0.029	0.022	0.023	0.025	0.025	0.017	0.017
7	0.176	0.529	0.044	0.031	0.041	0.076	0.019	0.036	0.009	0.011	0.028
8	0.237	0.237	0.005	0.015	0.012	0.012	0.008	0.211	0.211	0.015	0.037
9	0.707	0.088	0.050	0.034	0.017	0.013	0.008	0.050	0.021	0.007	0.005
10	0.733	0.081	0.058	0.030	0.015	0.009	0.003	0.040	0.020	0.008	0.004
11	0.494	0.165	0.021	0.035	0.069	0.021	0.011	0.095	0.048	0.014	0.028
12	0.600	0.150	0.082	0.025	0.018	0.009	0.037	0.033	0.012	0.005	0.029

Fonte: autoria própria

A Figura 25 expõe a média dos pesos finais de cada subcritério.

Figura 25 - Pesos finais de cada subcritério



Fonte: autoria própria

É possível notar a forte prevalência de importância do subcritério Nota Técnica uma vez que foi o parâmetro que recebeu os maiores pesos segundo o critério de maior importância (Segurança Estrutural). Destaca-se ainda os subcritérios Trem Tipo, VMDa e Extensão do Desvio. Somados, esses subcritérios citados alcançam quase 80% da importância total e, portanto, serão parâmetros chaves na priorização.

4.2.2 Lista de prioridades globais

Conforme argumentado por SAATY (2008), as prioridades globais de um problema envolvendo decisão em grupo devem ser obtidas por meio da agregação das prioridades finais de cada decisor. Ou seja, cada decisor, por meio de seus julgamentos, fornece os pesos de cada critério e subcritério que, quando combinados com a avaliação de cada alternativa em cada subcritério, gera a prioridade final segundo o decisor em questão. Essas prioridades finais são então agregadas por meio do procedimento AIP alcançando uma lista única definida como o vetor de prioridades globais. Ainda segundo SAATY (2008), a média geométrica é a melhor forma de realizar a agregação em caso de uso da AIP, isto é, deve-se calcular a média geométrica das prioridades finais de cada decisor.

Para obter a lista de prioridades finais segundo cada decisor foi necessário, primeiramente, realizar a normalização das escalas de avaliação das pontes. O procedimento de normalização empregado utilizou a equação (12), descrita na etapa de Método de Trabalho. Uma vez normalizadas as escalas, o vetor de prioridade final para um decisor foi obtido pela combinação do peso final de cada subcritério pelo valor normalizado da avaliação de cada ponte em cada subcritério, conforme a equação (11). Assim, o vetor de prioridade final de cada decisor possui 192 elementos representando o nível de prioridade de cada ponte.

De posse das prioridades finais dos decisores, foi aplicado o procedimento AIP através da Média Geométrica das prioridades alcançadas por cada ponte segundo cada decisor. Desse modo, o vetor de prioridades globais também possui 192 elementos representando as prioridades de manutenção de cada ponte analisada. A Tabela 27 destaca as 30 primeiras pontes do *ranking* final de priorização. A totalidade da lista está exposta no Anexo E.

Tabela 27 – Ranking de prioridades de pontes visando ações de manutenção

Ranking	Escore	Código	Ranking	Escore	Código
1	0.00781	130149	16	0.00655	130075
2	0.00769	130269	17	0.00654	130070
3	0.00732	130022	18	0.00654	130288
4	0.00700	130260	19	0.00652	130069
5	0.00695	130201	20	0.00647	130010
6	0.00686	130076	21	0.00646	130023
7	0.00678	130017	22	0.00638	130244
8	0.00676	130204	23	0.00636	130191
9	0.00670	130011	24	0.00636	130009
10	0.00668	130004	25	0.00633	130002
11	0.00667	130225	26	0.00629	130067
12	0.00663	130236	27	0.00627	130277
13	0.00662	130013	28	0.00623	130068
14	0.00658	130184	29	0.00622	130089
15	0.00656	130259	30	0.00621	130012

Fonte: autoria própria

4.3 ANÁLISE DO RANKING FINAL DE PRIORIDADES

4.3.1 Comparação entre a metodologia aplicada e a do DNIT

Em um primeiro momento buscou-se analisar as limitações relacionadas a priorização de pontes associadas às metodologias nacionais de avaliação da condição das pontes, relatadas na seção 2.3.5.4. Como já argumentado, a principal limitação está relacionada às escalas de avaliação utilizadas na priorização possuírem restrição a apenas cinco valores, o que dificulta a diferenciação das pontes visando a alocação de recursos de priorização.

Por outro lado, como se pode observar no *ranking* final de prioridades da Tabela 27, a utilização do método AHP permitiu a superação desse problema uma vez que os escores representativos dos níveis de prioridade das pontes são dados em escala contínua e tornaram praticamente impossível a repetição de valores. Os valores não repetidos facilitam a priorização já que permitem a fácil diferenciação do desempenho das estruturas.

Outra deficiência apontada na seção 2.3.5.4 está relacionada a não consideração de aspectos funcionais na avaliação da Nota Técnica do SGO que restringe a análise aos aspectos

estruturais. Nesse sentido, a metodologia aplicada buscou incluir características funcionais na tomada de decisão, englobando parâmetros relacionados ao conforto e segurança dos usuários. Além disso, procurou também incluir atributos que revelam a importância da ponte para o funcionamento geral da rede rodoviária, buscando incluir na tomada de decisão as consequências para a rede da interrupção prolongada de determinada estrutura.

Visando comparar a priorização proposta no presente trabalho e a metodologia de priorização tradicional do DNIT, isto é, por meio da Nota Técnica e do VMDa como critério de desempate, construiu-se o *ranking* DNIT para as pontes analisadas no presente trabalho. A Tabela 28 expõe as 30 primeiras pontes de ambos os rankings: utilizando o método proposto e a metodologia DNIT.

Tabela 28 – Comparação entre os rankings AHP e DNIT

AHP			DNIT			
<i>Ranking</i>	<i>Escore</i>	<i>Código</i>	<i>Ranking</i>	<i>NT</i>	<i>VMDa</i>	<i>Código</i>
1	0.007811	130149	1	1	11658	130201
2	0.007687	130269	2	1	4721	130269
3	0.007324	130022	3	1	4715	130236
4	0.006996	130260	4	1	3550	130011
5	0.006951	130201	5	1	3482	130149
6	0.006862	130076	6	1	3299	130010
7	0.006781	130017	7	1	3261	130013
8	0.006761	130204	8	1	2362	130249
9	0.006704	130011	9	1	2302	130225
10	0.00668	130004	10	1	1597	130288
11	0.006672	130225	11	1	1460	130022
12	0.006631	130236	12	2	19700	130181
13	0.006621	130013	13	2	14588	130122
14	0.006581	130184	14	2	14588	130124
15	0.006561	130259	15	2	12837	130033
16	0.006546	130075	16	2	11658	130182
17	0.006538	130070	17	2	8890	130150
18	0.006535	130288	18	2	8786	130112
19	0.006517	130069	19	2	8684	130110
20	0.00647	130010	20	2	7897	130191
21	0.006462	130023	21	2	7039	130259
22	0.006383	130244	22	2	6854	130184

23	0.006358	130191	23	2	6027	130260
24	0.006357	130009	24	2	5506	130014
25	0.006326	130002	25	2	5506	130067
26	0.006291	130067	26	2	5506	130070
27	0.006266	130277	27	2	5011	130165
28	0.006228	130068	28	2	5011	130167
29	0.006218	130089	29	2	4844	130255
30	0.006212	130012	30	2	4759	130132

Fonte: autoria própria

Com relação a metodologia DNIT, é possível notar a grande repetição de Notas Técnicas ao longo das posições do ranking de priorização. Isso ocorre devido ao já comentado tamanho reduzido da escala de avaliação. Por outro lado, o critério de desempate VMDa apontado pelo DNIT também falha ao tentar diferenciar as pontes na priorização. Esse fato já foi observado por VERLY (2015), o qual evidenciou que as pontes com mesma Nota Técnica localizadas em um mesmo trecho rodoviário tendem a apresentar o mesmo volume de tráfego. No ranqueamento exposto na Tabela 28, esse fato ocorre nas posições 13 e 14, 24, 25 e 26 e 27 e 28, destacadas em vermelho.

Ao analisar as posições ocupadas pelas pontes em ambas as metodologias foi possível notar algumas diferenças. A metodologia DNIT privilegia a Nota Técnica como principal critério de priorização, assim em sua lista final de prioridades as piores notas ocupam necessariamente as primeiras posições. No caso da metodologia aplicada, devido a inclusão de novos critérios percebeu-se uma maior diversidade de notas técnicas ocupando as primeiras posições do *ranking*. As pontes 130004, 130017, 130076, 130204 e 130260, por exemplo, apareceram entre as onze primeiras ranqueadas, mesmo possuindo Nota Técnica igual a 2. Observando o desempenho dessas pontes nos demais subcritérios, percebe-se que todas possuem trem tipo de projeto de 24 toneladas, possuem classificações ruins das condições da superfície da plataforma, os desvios previstos são longos, as larguras estão classificadas nos piores intervalos e estão localizadas em trechos rodoviários de maior prioridade (N4 na MRFE). Assim, alcançaram posições superiores no *ranking*.

4.3.2 Agrupamento das pontes em níveis de prioridade

Com o objetivo de investigar as características principais que levaram as pontes a desempenharem de determinada forma dentro do processo de priorização proposto, foi

realizado um agrupamento dessas estruturas em cinco níveis de prioridade de acordo com escores alcançados por cada uma delas na aplicação do AHP.

O agrupamento foi realizado por meio de uma Análise de *Cluster* através do algoritmo *K-means cluster* presente em pacote gratuito no *software R*. A variável utilizada no agrupamento foi o escore das pontes e a medida de similaridade empregada foi a distância euclidiana. Como o DNIT estabelece cinco níveis de prioridade a partir da Nota Técnica, o número de *clusters* previamente definido foi cinco. A Tabela 29 exhibe os resultados do agrupamento bem como estabelece os cinco níveis de prioridade.

Tabela 29 – Resultado da Análise de Cluster

<i>Cluster</i>	Nível de Prioridade	Número de pontes	Escore Médio	Escore Mínimo	Escore Máximo
1	Muito Baixo	18	0.003441	0.002827	0.003725
2	Baixo	29	0.004178	0.003854	0.004552
3	Médio	61	0.004939	0.004578	0.005363
4	Alto	57	0.00581	0.005389	0.006228
5	Muito Alto	27	0.006692	0.006266	0.007811

Fonte: autoria própria

Após o agrupamento, as pontes presentes em cada *cluster* foram analisadas de acordo com seu desempenho nos subcritérios. A Tabela 30 resume as características de cada cluster.

Tabela 30 - Características gerais dos agrupamentos

<i>Cluster</i>	Características gerais
1	Notas Técnica 3 e 4; Trem tipo de 45 t; VMDa até 4.500 veíc./dia; desvio até 150 Km; ano de construção Após 1985; trechos rodoviários N3; larguras maiores que 12,80 m.
2	Notas 3 e 4; trem tipo de 45 e 36 t; maioria com larguras maiores que 10,80 m; desvio entre 50 e 150 Km.
3	Nota Técnica predominantemente 3; Trem tipo de 36 t; maioria das pontes sem desvio previsto; maioria construída até 1975; maioria com largura entre 8,30 e 10 m.
4	Notas Técnica 2 e 3; Trem tipo 36 e 24 t; maioria das pontes sem desvio previsto; maioria construída até 1975; maioria com largura entre 8,30 e 10 m; trechos rodoviários N4 e N3.
5	Notas Técnica 1 e 2; Trem tipo 36 e 24 t; maioria das pontes sem desvio previsto; todas as pontes construídas até 1975; maioria das pontes sem desvio previsto e com desvio entre 100 e 150 Km; maioria com larguras menores que 10 m e 6 pontes com largura de pista menor que 7,20 m.

Fonte: autoria própria

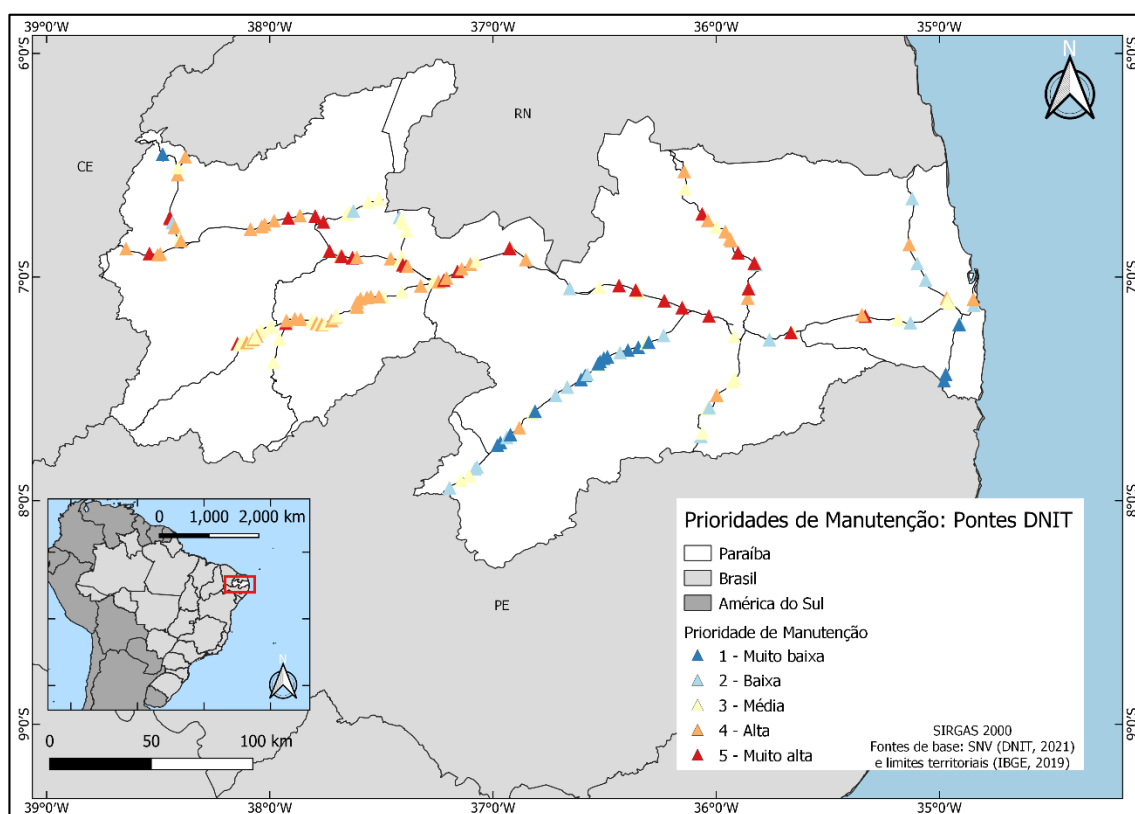
A maioria dos subcritérios apresentou certa variabilidade dentro de cada grupo de prioridade, não sendo possível traçar características específicas para cada grupo. Porém, os

subcritérios de maiores pesos na priorização (Nota Técnica e Trem Tipo) apresentaram maior constância dentro dos *clusters*, evidenciando a importância que foi atribuída aos mesmos no processo de priorização proposto: pontes de piores notas e trens tipos defasados aglomeraram-se em grupos mais prioritários. Esse fato revela a forte influência desses dois subcritérios no processo de priorização proposto dado seus pesos elevados.

Como o subcritério Idade está relacionado tanto à deterioração como a certas características de projeto das pontes, observou-se também uma constância do mesmo ao longo dos grupos: as pontes mais antigas tenderam a permanecer em grupos de maiores prioridades. O mesmo pode se dizer em relação ao subcritério Geometria, isto é, as pontes com as menores larguras e presença inadequações de largura de pista aglomeraram-se nas maiores prioridades.

Por fim, foi produzido o mapa temático exposto na Figura 26 contendo a distribuição das pontes nas rodovias federais caracterizadas segundo o grupo de prioridades do qual cada uma faz parte.

Figura 26 - Mapa de prioridades de manutenção de pontes



Fonte: autoria própria

Através da concentração das cores associadas aos níveis de prioridade de manutenção, notou-se que houve maior concentração de pontes de prioridade Muito alta nas rodovias BR 230 e BR 104, justamente rodovias onde estão estruturas mais antigas. As pontes de prioridade Alta concentraram-se nas rodovias BR 230 E BR 361, mais precisamente nas regiões mais ao

interior do Estado onde também estão as estruturas mais antigas. As pontes de prioridade Média apresentaram uma certa distribuição nas rodovias BR 104, BR 110, BR 361 e BR 427. As pontes de prioridades menores (Baixa e Muito Baixa) concentraram-se nas rodovias BR 412 e BR 101, sendo rodovias com estruturas mais recentes.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir do desenvolvimento do presente trabalho foi possível perceber a considerável preocupação com a qual os diferentes países estão encarando a gestão dos seus ativos rodoviários, notadamente, as Obras de Artes Especiais. Essas nações desenvolveram e estão desenvolvendo seus sistemas de gerenciamento a fim de diminuir as dificuldades relacionadas ao correto manejo dessas infraestruturas, facilitando o planejamento das operações de manutenção e diminuindo os custos de gestão. O Brasil, como se pôde perceber, também desenvolveu suas ferramentas de gestão de OAEs, ainda que, como foi demonstrado, apresente necessidade de avanços.

Outra importante percepção refere-se à complexidade envolvida na gestão de OAEs, especialmente em se tratando das pontes rodoviárias sujeitas a diversos processos de deterioração. Essas estruturas desempenham papéis cruciais dentro da rede e, por isso, necessitam de ferramentas racionais e sistematizadas que permitam a gestão da manutenção e a consideração de aspectos diversos na tomada de decisão: desempenho estrutural, funcional, ambiental, econômico-financeiro, etc.

O presente trabalho pretendeu desenvolver um processo de priorização de pontes rodoviárias visando ações de manutenção através da consideração de múltiplos critérios como forma de auxílio a tomada de decisão. Para isso foi aplicado o método multicritério AHP, o qual permite a obtenção de um *ranking* de prioridade a partir da opinião acerca das importâncias relativas de cada critério envolvido e a partir de dados gerenciais das pontes paraibanas repassados pelo DNIT. Neste trabalho, os critérios de priorização foram selecionados por meio de revisão de literatura. A estrutura de priorização desenvolvida pode ser aplicada a outras pontes, desde que elas sejam avaliadas de acordo com a normativa do DNIT.

O processo de priorização desenvolvido no trabalho permitiu atenuar algumas dificuldades existentes na metodologia tradicional do DNIT, especialmente relacionadas às impossibilidades de maior diferenciação entre as pontes a serem priorizadas. A escala de prioridade contínua produzida através do método AHP tornou a tarefa de priorizar mais facilitada. Além disso, a metodologia aqui proposta procurou introduzir outros critérios de priorização relacionados ao desempenho funcional da ponte e a sua importância para o bom funcionamento da rede.

Por outro lado, evidencia-se que, apesar do bom nível de experiência dos decisores envolvidos, foi possível constatar variações consideráveis nas avaliações dos critérios de priorização, não havendo a homogeneidade esperada. Nesse sentido, indica-se para estudos

futuros a utilização da Agregação Individual de Julgamentos (AIJ) através da geração prévia de consensos entre os decisores acerca da importância dos critérios. Essa técnica demanda maior tempo de coleta das respostas, porém tende a alcançar respostas mais homogêneas.

Outro ponto a ressaltar foi a grande concentração de importância atribuída ao critério Segurança Estrutural e aos seus subcritérios Nota Técnica e Trem Tipo. Tais importâncias elevadas fizeram com que esses dois subcritérios exercessem forte influência na priorização. As pontes de maiores prioridades apresentaram notas 1 e 2 (piores notas possíveis) e, em sua maioria, trens tipo de 24 toneladas. Por exemplo, a estrutura de maior prioridade foi a Ponte sobre o Rio Piancó, localizada na BR 361. O maior score é decorrente da avaliação com Nota Técnica 1; do trem tipo de 24 toneladas; do ano de construção (1951); da largura reduzida (5,90 metros); do comprimento elevado (168,70 metros); das péssimas condições da superfície da plataforma; do elevado VMDa (3.482 veículos por dia) e da inexistência de rota alternativa no SGO.

É importante ressaltar também a dificuldade encontrada na avaliação das pontes nos subcritérios propostos. Percebeu-se que os dados gerenciais do DNIT sobre os aspectos não estruturais (drenagem e as condições dos elementos de segurança, por exemplo), por não participarem diretamente das tomadas de decisão e da avaliação da condição no SGO, apresentam padronização da coleta comprometida. Ressalta-se a necessidade de avanços nos procedimentos de coleta desses dados no SGO.

Concluindo, sugere-se para pesquisas futuras:

- 1) Uma reavaliação dos subcritérios de priorização propostos, medindo a influência deles nas condições das pontes através de Análise de Correspondência Múltipla e ouvindo a opinião de especialistas. Essas análises podem localizar possíveis subcritérios redundantes ou com pouca influência nas condições das pontes. Podem ainda encontrar novos critérios pertinentes;
- 2) Propor novas escalas de avaliação dos subcritérios de forma a facilitar a avaliação das pontes a partir dos dados do SGO.
- 3) Incluir critérios relacionados a custos do ciclo de vida das pontes. Para isso será necessário desenvolver modelos capazes de estimar os custos de manutenção e reabilitação;
- 4) Seguindo a tendência das publicações apresentadas na seção 2.4.1, aplicar o método AHP em conjunto com outras metodologias multicritério como o PROMETHEE e o TOPSIS, realizando as devidas comparações de resultados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDILLAH, R. A.; AS'AD, S.; SANGADJI, S. **Allocation Priority Determination System for Provincial Bridge Maintenance Fund in Special Region of Yogyakarta By Examining Physical Conditions, Operational Cost and Volume of Traffic**. International Journal of Science and Applied Science: Conference Series, Vol. 2 No. 1. 2017. P-ISSN: 2549-4635

ABNT. **NBR 9452:2019 Inspeção de Pontes, Viadutos e Passarelas de Concreto - Procedimento** (2019). Rio de Janeiro.

AKGUL, F. (2016) **Bridge management in Turkey: a BMS design with customised functionalities**. Structure and Infrastructure Engineering, 12:5, 647-666, DOI: 10.1080/15732479.2015.1035284

ALMEIDA, J. **Sistemas de gestão de pontes com base em custos de ciclo de vida**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia. Porto, p.380. 2013.

AMINI, A.; NIKRAZ, N.; FATHIZADEH, A. (2016) **Identifying and evaluating the effective parameters in prioritization of urban roadway bridges for maintenance operations**. Australian Journal of Civil Engineering, Vol 14, NO. 1, 23-34, <http://dx.doi.org/10.1080/14488353.2015.1092640>

ASCE, American Society of Civil Engineers. (2021). **2021 Infrastructure Report Card**. Disponível em: <<http://www.infrastructurereportcard.org/bridges/>> Acesso em: outubro de 2021.

BAI, Q.; LABI, A. S.; KUMARES C. SINHA, K.; HON, C.; THOMPSON, P. D. (2013) **Multiobjective Optimization for Project Selection in Network-Level Bridge Management Incorporating Decision-Maker's Preference Using the Concept of Holism**. Journal of Bridge Engineering, Vol. 18, No. 9, September 1, 2013, ISSN 1084-0702/ 2013/9-879889/\$25.00.

BIANCO, G. L. (2016). **Metodologia para auxiliar a Tomada de Decisão Gerencial na priorização de investimentos públicos em rodovias utilizando-se da Análise Multicritério.**

Publicação, Dissertação de Mestrado em Transportes, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 151 p.

BRUNELLI, M. (2015). **Introduction to the Analytic Hierarchy Process.** Springer Briefs in Operations Research. P. 83. 978-3-319-12502-2 (electronic).10.1007/978-3-319-12502-2.

BUKSH, Z. A.; STIPANOVICA, I.; KLANKER, G.; CONNOR, A. O'; DOREE, A. G. (2019) **Network level bridges maintenance planning using Multi-Attribute Utility Theory.** Structure and Infrastructure Engineering, 15:7, 872-885, DOI: 10.1080/15732479.2017.1414858

CAÑAMARES, J M. (2016). **Sistemas de gestión de puentes : optimización de estrategias de mantenimiento : implementación en redes locales de carreteras.** Tese (Doutorado), E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos (UPM). <https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.39436>.

CHASE, S.B., ADU-GYAMFI, Y., AKTAN, A.E., AND MINAIE, E. **Synthesis of National and International Methodologies Used for Bridge Health Indices.** Office of Infrastructure Research and Development - Federal Highway Administration (FHWA). FHWA-HRT-15-081. Maio, 2016.

CHASSIAKOS, A.P.; VAGIOTAS, P.; THEODORAKOPOULOS, D. D. (2005) **A knowledge-based system for maintenance planning of highway concrete bridges.** Advances in Engineering Software 36 (2005) 740–749, doi:10.1016/j.advengsoft.2005.03.020

CNT. **Pesquisa CNT de rodovias 2019.** Brasília: Confederação Nacional do Transporte. 2019. Disponível em: <<https://pesquisarodovias.cnt.org.br/downloads/ultimaversao/gerencial.pdf>> Acesso em: 27/09/2021.

CONTRERAS NIETO, C.; SHANB, Y.; LEWIS, P.; HARTELL, J. A. (2019) **Bridge maintenance prioritization using analytic hierarchy process and fusion tables.** Automation in Construction, 101 (2019) 99–110, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.01.016>.

COSTA, H. G. **Introdução ao método de Análise Hierárquica Análise Multicritério no auxílio à decisão**. 1ª Edição, Niterói, RJ: H. G. Costa, 2002.

COSTA, T. C. e BELDERRAIN, M. C. N. **Decisão em grupo em métodos multicritério de apoio à decisão**. Anais do 15º Encontro de Iniciação Científica e Pós-Graduação do ITA XV ENCITA, 2009.

CRUZ, C. O.; MARQUES, R. C.; FRANCO, D. **Road-Network Development in Quickly Growing Economies: Brazilian Case Study MG-050**. Journal of Infrastructure Systems, 05015002-1. 2015. ISSN 1076-0342/05015002(7).

DABOUS, S. A.. **A decision support methodology for rehabilitation management of concrete bridges**. Thesis Presented in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy at Concordia University Montreal, Quebec, Canada. 2008.

DABOUS, S. A.; ALKASS, S. (2010) **A multi-attribute ranking method for bridge management**. Engineering, Construction and Architectural Management, Vol. 17 Iss 3 pp. 282 - 291. <http://dx.doi.org/10.1108/09699981011038079>.

DNIT. (2004a). **Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias**. Rio de Janeiro, Brasil.

DNIT. (2004b). **Norma 010/2004-Pro: Inspeções Em Pontes e Viadutos de Concreto Armado e Protendido-Procedimento**. Rio de Janeiro, Brasil.

DNIT. (2010). **Manual de Recuperação de Pontes e Viadutos Rodoviários**. Rio de Janeiro, Brasil.

DNIT (2019). **Relatórios de Inspeção Rotineira do Sistema de Gerenciamento de Obras de Arte Especiais (SGO)**.

DNIT. (2021). **Síntese do desenvolvimento técnico-científico da metodologia para estimativa de volume médio diário anual – VMDa em toda a malha rodoviária federal pavimentada**. NOTA TÉCNICA No 001/2021/DE.

ECHAVEGUREN, T.; DECHENT, P. (2019) **Allocation of bridge maintenance costs based on prioritization indexes**. Revista de la Construcción 18(3):568-578, 2019. DOI: 10.7764/RDLC.18.3.568

EL DEBS, M. K. e TAKEYA, T. **Introdução às Pontes de Concreto - Texto Provisório de Apoio à Disciplina SET - 412**. Universidade de São Paulo. São Carlos, 2007.

FHWA. **Bridge Inspector's Reference Manual**. Whashington, DC. Estados Unidos. U.S. Department of Transportation, 2012.

FHWA. **Recording and Coding Guide for the Structure Inventory and Appraisal of the Nation's Bridges**. Whashington, DC. Estados Unidos. U.S. Department of Transportation, 1995.

HOOKS, J. e FRANGOPOL, D. M. **LTBP Bridge Performance Primer**. Federal Highway Administration's Long-Term Bridge Performance (LTBP) Program. Report FHWA-HRT-13-051. December 2013.

JANAS, L.; MILLER, B; KASZYŃSKI, A. (2018) **Computational Algorithms Supporting the Bridge Management System**. The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering, 2018 Volume 13 Issue 4: 357–373. 2018. <https://doi.org/10.7250/bjrbe.2018-13.422>

JEONG, Y.; WOOSOOK KIM, W.; LEE, I.; LEE, J. (2018) **Bridge inspection practices and bridge management programs in China, Japan, Korea, and U.S.**, Journal of Structural Integrity and Maintenance, 3:2, 126-135, DOI: 10.1080/24705314.2018.1461548

KABIR, G.; SADIQ, R.; TEFAMARIAM, S. **A review of multi-criteria decision-making methods for infrastructure management**, Structure and Infrastructure Engineering: Maintenance, Management, Life-Cycle Design and Performance, 10:9, 1176-1210, 2014. DOI: 10.1080/15732479.2013.795978

KULKARNI, R. B.; MILLER, D.; INGRAM, R. M.; WONG, C. LORENZ, J. **Need-Based Project Prioritization: Alternative to Cost-Benefit Analysis**. Journal of Transportation Engineering, 130:2, 150-158. 2004.

KUŠAR, M.; ŠELIH, J. **Analysis of bridge condition on state network in Slovenia.** GRAĐEVINAR 66 (2014) 9, 811-822. 2014. DOI: 10.14256/JCE.1047.2014

LOUNIS, Z. **Network-level bridge management using a multiobjective optimization decision model.** 1st CSCE Specialty Conference on Infrastructure Technologies, Management and Policy, Toronto, Ont., June 2-4, 2005, pp. 121-1 – 121-9. 2005.

LIMA, J.P. (2007). **Modelo de decisão para a priorização de vias candidatas às atividades de manutenção e reabilitação de pavimentos.** 170p. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

MACHADO, E. L. **Modelo de decisão para a priorização de pontes de concreto armado candidatas às atividades de manutenção utilizando métodos multicritérios de tomada de decisão.** Dissertação apresentada ao Programa de PósGraduação em Engenharia de Construção Civil, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

MANSOUR, D. M. M.; MOUSTAFA, I. M.; KHALIL, A. H.; MAHDI, H. A. **An assessment model for identifying maintenance priorities strategy for bridges.** Ain Shams Engineering Journal, Volume 10, Issue 4, Pages 695 – 704, 2019, ISSN 2090-4479. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2019.06.003>

MATJE, A. **Contribuição ao Estudo da Durabilidade de Pontes em Concreto do Sistema Rodoviário de Santa Catarina (Litoral e Vale do Itajaí).** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.

MENDES, P. T. C. **Contribuições para um modelo de gestão de pontes de concreto aplicado à rede de rodovias brasileiras.** 2009. 234 f. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

MITRE, M. P. **Metodologia para inspeção e diagnóstico de pontes e viadutos de concreto.** Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 2005.

MONTEIRO, P. S. **Definição de parâmetros aplicáveis à modelagem da informação de pontes de concreto armado com enfoque no gerenciamento de manutenções.** Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

MOSCOSO, Y. F. M. **Modelos de Degradação para Aplicação em Sistemas de Obras de Arte Especiais – OAEs.** Tese (Doutorado em Estruturas e Construção Civil) – Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia. Brasília, DF, 185p. 2017.

NAVARRO LÓPEZ, C. E. **Desenvolvimento de metodologia sistemática para a avaliação do estado das pontes existentes no Brasil.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Campinas, p.169. 2020.

NAVARRO LÓPEZ, C. E. **Desenvolvimento de metodologia sistemática para a avaliação do estado das pontes existentes no Brasil.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Campinas, p.169. 2020.

NCHRP (2009). **Bridge Management Systems for Transportation Agency Decision Making.** Washington, DC:The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/14270>.

NCHRP (2009). **Bridge Management Systems for Transportation Agency Decision Making.** Washington, DC:The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/14270>.

NURANIL, A. I.; PRAMUDYANINGRUM, A. T.; FADHILA, S. R.; SANGADJI, S.; HARTONO, W. **Analytical Hierarchy Process (AHP), Fuzzy AHP, and TOPSIS for Determining Bridge Maintenance Priority Scale in Banjarsari, Surakarta.** International Journal of Science and Applied Science: Conference Series, Vol. 2 No. 1 (2017). doi: 10.20961/ijscs.v2i1.16680

NURDIN, A.; KRISTIAWAN, S. A.; HANDAYANI, D. (2017) **Determination of the bridge maintenance and rehabilitation priority scale in kabupaten Pinrang.** Journal of Physics: Conference Series, 795 (2017) 012070. 2017. doi:10.1088/1742-6596/795/1/012070

OLIVEIRA, C. B. **Determinação e análise de taxas de deterioração de pontes rodoviárias do Brasil**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia. Belo Horizonte, p. 153. 2019.

PARESTYO, E. D. W.; HANDAJANI, M.; ISMIYATI. (2019) **Criteria Analysis, weight and Priority for Handling Bridges in Kudus District using AHP and Promethee II methods**. Journal of Physics: Conference Series, 1167 (2019) 01200. 2019. doi:10.1088/1742-6596/1167/1/012009

PARK, J.; PARK, S.-K.; CHOI, J., AND HONG S. (2017). **New priority ranking algorithm for the deteriorated coastal bridges considering network level**. In: Lee, J.L.; Griffiths, T.; Lotan, A.; Suh, K.-S., and Lee, J. (eds.), The 2nd International Water Safety Symposium. Journal of Coastal Research, Special Issue No. 79, pp. 129-133. Coconut Creek (Florida), ISSN 0749-0208.

PELLEGRINO, C.; PIPINATO, A.; MODENA, C. (2011) **A simplified management procedure for bridge network maintenance**. Structure and Infrastructure Engineering, 7: 5, 341 — 351. <http://dx.doi.org/10.1080/15732470802659084>

PEREIRA, V. Q. ; PERIM, L. R.; HOFFMANN, I. C. S.; AFONSO, W. B.; ACCIOLY, V. L. P.; ROQUE, W. V. (2017) **Metodologia para priorização de segmentos da malha rodoviária sob administração do DNIT**. In: XXXI ANPET - Congresso Nacional de Pesquisa em Transportes, 2017, Recife – PE.

PFEIL, W. **Pontes em concreto armado: elementos de projetos, solicitações, dimensionamento**. Editora Livros Técnicos e Científicos. Rio de Janeiro, 1979.

PITOMBA, C. S. **Estudos de relações de variáveis socioeconômicas, de uso do solo, participação em atividades e padrões de viagens encadeadas urbanas**. Tese (doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes e Área de Concentração em Planejamento e Operações de Sistemas de Transportes – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos – SP. 2007.

PRESSI, R. A. **Tomada de decisão de investimento através de método multicritério para fins de planejamento da expansão da distribuição.** Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil. 2017.

RASHID, M.; SAMALI, B.; SHARAFI, P. (2016) **A new model for bridge management: Part A: condition assessment and priority ranking of bridges.** Australian Journal of Civil Engeneering, Vol 14, NO. 1, 35-45, <http://dx.doi.org/10.1080/14488353.2015.1092641>

REED, T. L.; RUTHERFORD, G. S. **A Sensitivity Analysis and Implementation Review of The Mobility Improvments Priorization Method.** Washington State Department of Transportation, Techinal Report, WA-RD 428.2. Washington DC. 1997.

SAATY, T. L. **Decision making with the analytic hierarchy process.** International Journal Services Sciences, Vol. 1, No. 1, 2008.

SAATY, T. L. **Decision-making with the AHP: Why is the principal eigenvector necessary.** European Journal of Operational Research 145 (2003) 85–91. 2003.

SAATY, T. L. **How to make a decision: the Analytic Hierarchy Process.** European Journal of Operational Research, v. 48, p. 9–26, 1990 .[http://dx.doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90057-I](http://dx.doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-I).

SALEH, A. M., MANSOUR, O. A., ABBAS, O. S. (2013) **Toward an Egyptian Bridge Management System.** HBRC Journal, 9:3, 227-234, DOI: 10.1016/j.hbrcj.2013.08.003

SASMAL,S.; RAMANJANEYULU, K.; LAKSHMANAN, N. (2007) **Priority ranking towards condition assessment of existing reinforced concrete bridges.** Structure and Infrastructure Engineering, 3:1, 75-89, DOI: 10.1080/15732470500473549 < <https://doi.org/10.1080/15732470500473549> >

SILVA, F. M. S. **Inspeção de rotina de Obras de Arte Especiais: pontes e viadutos.** Dissertação - Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior de Engenharia do Porto. Portugal, 2016.

SILVA, M. B. M. F. **Modelagem dos dados de inspeção para previsão da deterioração de pontes rodoviárias**. Qualificação de Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa. 2020.

SILVA, P. C. S.; CÂMARA, M. Y. F.; VIEIRA, J. F.; SOBRINHO, B. E.; SILVA, T. E. P.; ANHAIA, C. A. A. L.; SARKIS, J. M.; PINTO JÚNIOR, A. V. **Ferramentas de Gerenciamento para Controle das Obras de Arte Especiais do DNIT: SGO e Monalisa**. XII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas, Congresso Virtual. 2021.

SOBRINHO, B. E.; AFONSO, W. B.; PERIM, L. R.; HOFFMANN, I. C. S.; PEREIRA, C. R. L.; RESENDE, A. V. P.J.; Roque, W. V. R. (2017). **Metodologia de ranqueamento e proposição de intervenções para um grupo específico de obras de arte especiais nas rodovias**. In: XXXI ANPET - Congresso Nacional de Pesquisa em Transportes, 2017, Recife – PE.

STOCHINO, F.; FADDA, M. L.; MISTRETTA, F. **Low cost condition assessment method for existing RC bridges**. Engineering Failure Analysis 86 (2018) 56–71, <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2017.12.021>

STRAUSS, A.; MANDIĆ, A. I.; MATOS, J.C.; CASAS, J.R. **Performance Indicators for Roadway Bridges, Technical Report of the Working Group 1: Performance Indicators (COST Action TU1406)**; University of Minho: Guimaraes, Portugal, 2016; ISBN 978-3-900932-41-1

TAGHADDOS, M.; MOHAMED, Y. **Predicting Bridge Condition in Ontario: A Case Study**. 36th International Symposium on Automation and Robotics in Construction - ISARC, 2019.

VARGAS, R. **Utilizando a Programação Multicritério (AHP) para Selecionar e Priorizar Projetos na Gestão de Portfólio**. PMI Global Congress 2010 – North America, Washington - DC – EUA, 2010.

VENEZUELA, S., SOLMININHAC, H., ECHAVEGUREN, T. (2010) **Proposal of an Integrated Index for Prioritization of Bridge Maintenance**, *Journal of Bridge Engineering*. Vol. 15, No. 3, May 1, DOI: 10.1061/ASCEBE.1943-5592.0000068

VERLY, L. R. V.; SIMÕES, L. F.; RODRIGUES, P. F.; SILVA, V. C. P. **Proposta de melhoria dos métodos de inspeção de pontes do Brasil**. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais – PUC-MG. Belo Horizonte - MG, 2020.

VERLY, R. C. (2015). **Avaliação de metodologias de inspeção como instrumento de priorização de intervenções em obras de arte especiais**. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.DM-015A/15, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 178p.

VITÓRIO, J. A. P. **Acidentes estruturais em pontes rodoviárias: Causas, diagnósticos e soluções**. II Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas, Associação Brasileira de Pontes e Estruturas. Rio de Janeiro, 2007.

VITÓRIO, J. A. P. **Pontes rodoviárias: fundamentos, conservação e gestão**. Recife, CREA-PE, 2002.

WOODWARD, R. J., CULLINGTON, D. W., DALY, A. F., VASSIE, P. R., & HAARDT, P. (2001). **BRIME - Deliverable D14: Final Report**. Bridge Management in Europe (BRIME).

YOSSYAFRA; ANGELIA, N.; YOSRITZAL; MEYADTRI; MAZNI, D. I. (2019) **Determining the priority criteria and ranking of provincial bridge maintenance in West Sumatra using a combination of the Fuzzy Analytical Hierarchy Process and VIKOR - Modification methods**. Conference on Innovation in Technology and Engineering Science, 602 (2019) 012105. 2019. doi:10.1088/1757-899X/602/1/012105

APÊNDICES

APÊNDICE A – Questionário para aplicação do método AHP.

APÊNDICE A – Questionário para aplicação do método AHP

Avaliação de critérios para priorização de pontes visando a realização de intervenções de manutenção

SOBRE O QUESTIONÁRIO

O presente questionário faz parte da etapa de coleta de dados para desenvolvimento de um Trabalho de Conclusão de Curso da graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal da Paraíba.

OBJETIVO DO QUESTIONÁRIO

A partir de uma revisão de literatura foram selecionados alguns critérios e subcritérios de priorização de pontes visando intervenções de manutenção. A avaliação acerca da importância de cada critério e subcritério selecionado deverá ser realizada através de julgamentos de especialistas. Assim, o objetivo do questionário é avaliar os critérios selecionados a partir do seu julgamento e do julgamento de outros entrevistados.

1 JULGAMENTOS

Serão brevemente explicitados os critérios e subcritérios previamente selecionados a partir de revisão de literatura especializada.

1.1 Critérios

- a) **Segurança Estrutural:** relacionado à condição de estabilidade estrutural dos elementos da ponte.
- b) **Funcionalidade:** relacionado ao nível de serviço da ponte, ao conforto e segurança dos usuários e se a ponte está cumprindo a função para qual foi planejada.
- c) **Importância da ponte para a rede:** nível de importância que a ponte possui com relação ao bom funcionamento geral da rede rodoviária e seu nível de influência no fluxo de mercadorias e pessoas.

Indique, com base em sua experiência e conhecimento, o quanto o critério da coluna A é mais ou menos relevante em relação ao da coluna B. Para isso, utilize a escala de comparação a seguir.

INSTRUÇÕES								
A avaliação deve ser feita segundo a escala de comparação de Saaty (1980), apresentada na Tabela 1.								
A avaliação deve ser feita marcando um "X" no valor julgado como equivalente à importância do critério avaliado em relação a outro.								
É possível atribuir valores intermediários na avaliação (1/2, 1/4, 1/6, 1/8, 2, 4, 6, 8).								
ESCALA								
1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
Extremamente menos importante	Bastante menos importante	Muito menos importante	Pouco menos importante	Igual importância	Pouco mais importante	Muito mais importante	Bastante mais importante	Extremamente mais importante
Tabela 1								
Valor	Definição		Descrição					
1	Mesma importância		Os dois critérios contribuem igualmente para o objetivo					
3	Pouco mais importante		Um critério é pouco mais importante que o outro					
5	Muito mais importante		Um critério é claramente mais importante que o outro					
7	Bastante mais importantes		Um dos critérios é muito mais importante que o outro e					
9	Extremamente mais importantes		Um dos critérios é extremamente predominante para o objetivo					
1/2, 1/4, 1/6, 1/8, 2, 4, 6, 8	Valores intermediários		Podem ser considerados em casos de dúvidas					

Exemplo de Avaliação

Situação problema: Escolha de local adequado para realização de uma prova de seleção de alunos para um escola de acordo com o critério Localização.

Marque um X no valor que julgar mais adequado																		
A	1/9	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	B
UFPB												x						FACENE
UFPB											x							FCM
FACENE							x											FCM

Na situação exemplo, considerou-se que a UFPB, com relação à localização, está entre pouco mais importante e muito mais importante quando comparada a FACENE. Quando comparada com a FCM, a UFPB foi avaliada como pouco mais importante. A comparação entre a FACENE e a FCM ocorreu de maneira que a FACENE foi avaliada como pouco menos importante em relação a FCM.

Marque um X no valor que julgar mais adequado																		
A	1/9	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	B
Segurança estrutural																		Funcionalidade
Segurança estrutural																		Importância para rede
Funcionalidade																		Importância para rede

1.2 Subcritérios do critério Segurança Estrutural

- Nota Técnica – DNIT:** nota que indica o estado de deterioração dos elementos constituintes da ponte atribuída por um inspetor do Sistema de Gerenciamento de Obras de Artes Especiais (SGO) do DNIT através de inspeção visual *in loco*.
- Trem Tipo:** trem tipo de projeto da ponte em questão (24t, 36t ou 45t).

Indique, com base em sua experiência e conhecimento, o quanto o subcritério da coluna A é mais ou menos relevante em relação ao da coluna B com base no critério Segurança Estrutural. Para isso, utilize a mesma escala de comparação anterior.

1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
Extremamente menos importante	Bastante menos importante	Muito menos importantes	Pouco menos importantes	Igual importância	Pouco mais importantes	Muito mais importante	Bastante mais importante	Extremamente mais importantes

Marque um X no valor que julgar mais adequado																		
A	1/9	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	B
Nota Técnica																		Trem tipo

1.3 Subcritérios do critério Funcionalidade

- Drenagem:** condições da drenagem pluvial da ponte.
- Superfícies da plataforma:** condição de todas as superfícies presentes na plataforma da ponte, isto é, pavimento, acessos, existência ou não de acostamentos e passeios.
- Itens de Segurança:** condição de todos os itens de segurança presentes na ponte, isto é, barreiras, guarda rodas, guarda corpo e defensas nos acessos, bem como suas ausências ou inadequações.
- Geometria:** relacionado à adequação da largura da plataforma da ponte ao volume de tráfego atual.
- Idade da ponte:** relacionado a durabilidade e ao ano ou período no qual a ponte foi construída e aos padrões de projetos de cada período de construção.

Indique, com base em sua experiência e conhecimento, o quanto o subcritério da coluna A é mais ou menos relevante em relação ao da coluna B com base no critério Funcionalidade. Para isso, utilize a mesma escala de comparação anterior.

1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
Extremamente menos importante	Bastante menos importante	Muito menos importantes	Pouco menos importantes	Igual importância	Pouco mais importantes	Muito mais importante	Bastante mais importante	Extremamente mais importantes

Marque um X no valor que julgar mais adequado																		
A	1/9	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	B
Drenagem																		Superfícies da plataforma
Drenagem																		Itens de segurança
Drenagem																		Geometria
Drenagem																		Idade
Superfícies da plataforma																		Itens de segurança
Superfícies da plataforma																		Geometria
Superfícies da plataforma																		Idade
Itens de segurança																		Geometria
Itens de segurança																		Idade
Geometria																		Idade

1.4 Subcritérios do critério Importância da ponte para rede

- a) **Volume Médio Diário (VMDa):** relacionado ao volume de tráfego atual na seção da ponte.
- b) **Extensão do desvio:** acréscimo de distância imposta ao usuário em caso de colapso ou interrupção da ponte em questão.
- c) **Comprimento:** comprimento da ponte medido em seu eixo.
- d) **Classe da rodovia:** classe funcional do trecho de rodovia no qual a ponte está localizada.

Indique, com base em sua experiência e conhecimento, o quanto o subcritério da coluna A é mais ou menos relevante em relação ao da coluna B com base no critério Importância da ponte para rede. Para isso, utilize a mesma escala de comparação anterior.

1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
Extremamente menos importante	Bastante menos importante	Muito menos importantes	Pouco menos importantes	Igual importância	Pouco mais importantes	Muito mais importante	Bastante mais importante	Extremamente mais importantes

ANEXOS

ANEXO A – Índices de Condição de Pontes em diversos países do mundo

ANEXO B – Classificação da condição de OAEs segundo a Norma DNIT 010/2004-Pro

ANEXO C – Classificação da condição de OAEs segundo a Norma NBR 9452

ANEXO D – Critérios de priorização coletados na etapa de revisão de literatura por autor

ANEXO E – Ranking final de prioridades de pontes visando manutenção

ANEXO A – Índices de Condição de Pontes em diversos países do mundo

País	Indicador de Condição	Escala de avaliação
Califórnia (EUA)	$BHI = \frac{\sum CEV}{\sum TEV}$ <i>BHI</i>: Índice de Saúde de Ponte <i>CEV</i>: valor de ativo total atual de um elemento <i>TEV</i>: valor de ativo total de um elemento	O BHI varia de 0 a 100%
Reino Unido	$SCS = \frac{\sum (ECI \times EIF)}{\sum EIF}$ $PI = 100 - 2\{SCS^2 + (6,5 * SCS) - 7,5\}$ <i>SCS</i>: Escore de Condição de ponte <i>PI</i>: Indicador de Performance <i>ECI</i>: Índice de Condição do Elemento <i>EIF</i>: Fator de Importância do Elemento	PI varia de 0 a 100, sendo dividido em 5 classificações; A escala de avaliação dos elementos varia de 1 a 5.
Finlândia	$KTI = \max(W_{ti} * C_i * U_i * D_i) + k \sum (W_{tj} * C_j * U_j * D_j)$ $UTI = kp * kl * (Condição * Capa. de carga * Funcionalidade)$ <i>KTI</i>: Índice de reparo <i>UTI</i>: Índice de reabilitação <i>kp</i>: fator de área de tabuleiro <i>kl</i>: fator de tráfego (VMDa) <i>W_t</i>: Importância do elemento <i>C</i>: condição do elemento <i>U</i>: urgência de reparo <i>D</i>: severidade do dano <i>k</i>: fator de acumulo de dano <i>i</i>: pior dano <i>j</i>: demais danos	A escala de avaliação dos elementos varia de 0 a 4.
África do Sul	$I_c = 100 \left[1 - \frac{(D + E)R}{32} \right]$ $BCI = \frac{(\sum I_c) * VMDa_i}{\sum VMDa_j}$ <i>I_c</i>: Índice de dano <i>BCI</i>: Índice de condição de Ponte <i>D</i>: Grau de dano <i>E</i>: Extensão de dano <i>R</i>: Relevância do elemento <i>VMDa_i</i>: VMDa na ponte <i>∑ VMDa_j</i>: soma dos VMDa de toda as pontes da rede	Grau e extensão de dano avaliados em uma escala de 0 a 4.
Alemanha	$Z_{CG} = \max\{Z_i\} + \Delta_2$ $Z_{ges} = \max\{Z_{CG}\} + \Delta_3$ <i>Z_i</i>: Índice de condição de dano <i>Z_{CG}</i>: índice de condição de grupo de elementos <i>Z_{ges}</i>: Índice de condição de ponte	Valor final do Índice de Condição de Ponte varia de 1 a 4 em escala contínua, sendo

	Δ : fator de repetição do pior dano identificado	dividida em 6 classificações.
Áustria	$CR = \sum G * K_1 * K_2 * K_3 * K_4$ <i>CR</i>: Índice de Condição <i>G</i>: índice de tipo de dano <i>K</i>₁: extensão de dano <i>K</i>₂: intensidade de dano <i>K</i>₃: importância do elemento <i>K</i>₄: urgência de intervenção	CR possui uma escala contínua e permite 6 classificações.
Eslovênia	$R = \sum V_d = \sum B * K_1 * K_2 * K_3 * K_4$ $CR = \frac{\sum V_d}{\sum V_{d_{ref}}} * 100$ <i>CR</i>: Índice de Condição <i>V</i>_d: Valor de dano <i>V</i>_{d_{ref}}: Valor de dano de referência <i>B</i>: índice de tipo de dano <i>K</i>₁: importância do elemento <i>K</i>₂: intensidade de dano <i>K</i>₃: extensão de dano <i>K</i>₄: urgência de intervenção	CR possui uma escala contínua de 0 a 100% e permite 4 classificações.
Austrália	$BCN = \sum (AGR * W_b)$ $AGR = \frac{\sum (2 * ACR * E^{1/2})}{\text{Número de elementos}}$ $ACR = \sum CS * CS\%$ <i>BCN</i>: Número de condição <i>AGR</i>: Índice de grupo médio <i>W</i>_b: importância do grupo de elementos <i>ACR</i>: Índice de elemento médio <i>E</i>: fator de exposição <i>CS</i>: estado de condição de um elemento <i>CS%</i>: porcentagem de cada estado de condição presente no elemento	O CS possui escala de avaliação de 1 a 4; O BCN possui escala contínua que permite 3 classificações.

ANEXO B – Classificação da condição de OAEs segundo a Norma DNIT 010/2004-Pro

Nota	Insuficiência estrutural	Ação corretiva	Condições de estabilidade	Classificação da ponte
5	Não há danos nem insuficiência estrutural.	Nada a fazer.	Boa	Obra sem problemas
4	Há alguns danos, mas não há sinais de que estejam gerando insuficiência estrutura.	Nada a fazer; apenas serviços de manutenção.	Boa	Obra sem problemas importantes
3	Há danos gerando alguma insuficiência estrutural, mas não há sinais de comprometimento da estabilidade da obra.	A ação pode ser postergada; colocar o problema em observação sistemática.	Boa aparentemente	Obra potencialmente problemática
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
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

ANEXO C – Classificação da condição de OAEs segundo a Norma NBR 9452

Nota	Caracterização estrutural	Caracterização funcional	Caracterização de durabilidade
5 Excelente	A estrutura apresenta-se em condições satisfatórias, apresentando defeitos irrelevantes e isolados.	A OAE apresenta segurança e conforto aos usuários.	OAE apresenta-se em perfeitas condições, devendo ser prevista manutenção de rotina.
4 Boa	A estrutura apresenta danos pequenos e em áreas, sem comprometer a segurança estrutural.	A OAE apresenta pequenos danos que não chegam a causar desconforto ou insegurança ao usuário.	A OAE apresenta pequenas e poucas anomalias, que comprometem sua vida útil, em região de baixa agressividade ambiental.
3 Regular	Há danos que podem vir a gerar alguma deficiência estrutural, mas não há sinais de comprometimento da estabilidade da obra. Recomenda-se acompanhamento dos problemas. Intervenções podem ser necessárias a médio prazo.	A OAE apresenta desconforto ao usuário, com defeitos que requerem ações de médio prazo.	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	Há danos que comprometem a segurança estrutural da OAE, sem risco iminente. Sua evolução pode levar ao colapso estrutural. A OAE necessita de intervenções significativas a curto prazo.	OAE com funcionalidade visivelmente comprometida, com riscos de segurança ao usuário, requerendo intervenções de curto prazo	A OAE apresenta anomalias moderadas a abundantes, que comprometam sua vida útil, em região de alta agressividade ambiental.
1 Crítica	Há danos que geram grave insuficiência estrutural na OAE. Há elementos estruturais em estado crítico, com risco	A OAE não apresenta condições funcionais de utilização.	A OAE encontra-se em elevado grau de deterioração, apontando problema já de

tangível de colapso estrutural. A OAE necessita intervenção imediata, podendo ser necessária restrição de carga, interdição total ou parcial ao tráfego, escoramento provisório e associada instrumentação, ou não.	risco estrutural e/ou funcional.
--	-------------------------------------

ANEXO D – Critérios de priorização coletados na etapa de revisão de literatura por autor

Autor	Ano	Critérios
CHASSIAKOS et al.	2005	Tipo de dano, carga de tráfego, características do leito do rio, agressividade ambiental, idade, tipo de fundação, tipo de sistema estrutural
LOUNIS	2005	Índice de condição, custo de manutenção e VMDa
DABOUS	2008	Índice de condição, capacidade de carga, risco sísmico, VMDa, gabarito vertical, condição da drenagem, classe da rodovia
VENEZUELA et al.	2010	Rotas alternativas, VMDa, importância socioeconômica, comprimento e largura, limite de capacidade de carga, Índice de condição, risco hidráulico e risco sísmico
PELLEGRINO	2011	Índice de condição, classe da rodovia, VMDa, comprimento do desvio, classe da rodovia do desvio, idade
SALEH et al.	2013	Índice de condição, vida de serviço remanescente, índice de segurança, efeito sísmico, gabarito vertical, largura, rota alternativa, restrição de carga, classe da rodovia, VMDa, localização da ponte, importância histórica
AUGERI et al.	2014	Idade, material constituinte, exposição estrutural, tipo de solo de fundação, tipo de dano, extensão de dano, importância do elemento, risco sísmico, tipo de estrutura, leito do rio, VMDa, VMDa comercial, rota alternativa, importância estratégica, urgência de intervenção
RASHID et al.	2016	Índice de condição, material constituinte, idade, qualidade das inspeções, classe de rodovia, importância estrutural do elemento, agressividade ambiental, capacidade de carga, gabaritos verticais, largura da ponte, condições das barreiras de proteção, condições da drenagem, importância da ponte para a rede
AKGUL	2016	Índice de condição, custo de manutenção, VMDa
CAÑAMARES	2016	Índice de Condição, VMDa, exposição estrutural, rotas alternativas, importância histórica-patrimonial
NURDIN et al.	2017	Índice de condição, VMDa, estratégia de manutenção
NURANIL et al	2017	Índice de condição, VMDa

PARK et al.	2017	Índice de condição, VMDa comercial e capacidade de carga
SOBRINHO et al. e PEREIRA et al.	2017	Índice de condição, VMDa, VMDa comercial, importância estratégica para a rede
ABDILLAH et al.	2017	Índice de Condição, VMDa, custos de manutenção
MACHADO	2018	Capacidade de carga, características do leito do rio, degradação da OAE, exposição estrutural, idade, urgência de intervenção, estado de segurança, segurança dos usuários, comprimento do desvio, VMDa, aparência visual
BUKSHSH et al.	2018	Índice de condição, custo de manutenção, custo ambiental, custo do atraso de usuário
JANAS et al.	2018	Índice de condição, segurança do usuário, probabilidade de falha, capacidade de carga, tipo de estrutura, classe da rodovia, VMDa, VMDa comercial, localização, valor histórico, comprimento do desvio, velocidade limite, gabarito vertical, largura e comprimento
PRASETYO et al.	2019	Índice de condição, VMDa, proximidade a instituições públicas, área de influência, população atendida, largura e comprimento
CONTRERAS NIETO et al.	2019	Índice de condição e VMDa
YOSSYAFRA et al.	2019	Índice de condição, idade, VMDa, benefícios econômicos, função da rodovia, limites orçamentários, impactos de desastres, e condições especiais
MANSOUR et al.	2019	Índice de condição, material constituinte, capacidade de carga, gabarito vertical, condição das barreiras de proteção, condição da drenagem, condição do pavimento, condição das juntas, idade, VMDa, grau de exposição, qualidade das inspeções, importância histórica, condições de contorno
IVANKOVIC et al.	2021	Índice de Condição, facilidade de manutenção, classe da rodovia, VMD, extensão do desvio, vão máximo, comprimento
ZELADA et al.	2021	Tipo de dano, intensidade de dano, VMD, Vão máximo

ANEXO E – Ranking final de prioridades de pontes visando manutenção

Ranking	Código	Escore	Ranking	Código	Escore	Ranking	Código	Escore
1	0.00781	130149	65	0.00568	130143	129	0.00470	130214
2	0.00769	130269	66	0.00566	130179	130	0.00469	130020
3	0.00732	130022	67	0.00564	130065	131	0.00468	130231
4	0.00700	130260	68	0.00562	130150	132	0.00467	130190
5	0.00695	130201	69	0.00561	130064	133	0.00466	130290
6	0.00686	130076	70	0.00558	130182	134	0.00466	130050
7	0.00678	130017	71	0.00557	130079	135	0.00465	130255
8	0.00676	130204	72	0.00556	130144	136	0.00463	130257
9	0.00670	130011	73	0.00555	130271	137	0.00463	130185
10	0.00668	130004	74	0.00553	130151	138	0.00463	130051
11	0.00667	130225	75	0.00553	130112	139	0.00462	130123
12	0.00663	130236	76	0.00553	130127	140	0.00460	130045
13	0.00662	130013	77	0.00551	130282	141	0.00460	130045
14	0.00658	130184	78	0.00548	130196	142	0.00459	130168
15	0.00656	130259	79	0.00548	130015	143	0.00459	130087
16	0.00655	130075	80	0.00546	130136	144	0.00458	130083
17	0.00654	130070	81	0.00544	130224	145	0.00458	130042
18	0.00654	130288	82	0.00544	130270	146	0.00455	130024
19	0.00652	130069	83	0.00540	130250	147	0.00452	130028
20	0.00647	130010	84	0.00539	130059	148	0.00451	130095
21	0.00646	130023	85	0.00536	130156	149	0.00446	130210
22	0.00638	130244	86	0.00533	130121	150	0.00444	130077
23	0.00636	130191	87	0.00533	130249	151	0.00441	130133
24	0.00636	130009	88	0.00529	130080	152	0.00436	130041
25	0.00633	130002	89	0.00527	130298	153	0.00435	130193
26	0.00629	130067	90	0.00527	130119	154	0.00431	130034
27	0.00627	130277	91	0.00523	130109	155	0.00428	130207
28	0.00623	130068	92	0.00522	130100	156	0.00423	130195
29	0.00622	130089	93	0.00521	130263	157	0.00420	130209
30	0.00621	130012	94	0.00521	130138	158	0.00417	130268
31	0.00619	130122	95	0.00518	130297	159	0.00417	130153
32	0.00619	130018	96	0.00517	130163	160	0.00417	130237

33	0.00617	130001	97	0.00515	130106	161	0.00414	130284
34	0.00611	130110	98	0.00514	130166	162	0.00411	130220
35	0.00609	130167	99	0.00514	130212	163	0.00407	130183
36	0.00609	130146	100	0.00514	130131	164	0.00404	130213
37	0.00608	130296	101	0.00513	130005	165	0.00403	130241
38	0.00608	130062	102	0.00512	130105	166	0.00403	130295
39	0.00606	130222	103	0.00510	130172	167	0.00403	130245
40	0.00603	130124	104	0.00505	130164	168	0.00402	130090
41	0.00602	130014	105	0.00504	130033	169	0.00401	130049
42	0.00601	130276	106	0.00504	130101	170	0.00394	130199
43	0.00599	130006	107	0.00500	130094	171	0.00393	130262
44	0.00599	130006	108	0.00500	130094	172	0.00391	130186
45	0.00598	130082	109	0.00500	130094	173	0.00389	130129
46	0.00596	130148	110	0.00498	130240	174	0.00385	130205
47	0.00595	130234	111	0.00498	130217	175	0.00372	130031
48	0.00590	130132	112	0.00497	130162	176	0.00372	130261
49	0.00588	130141	113	0.00497	130084	177	0.00371	130286
50	0.00588	130057	114	0.00497	130084	178	0.00366	130032
51	0.00586	130060	115	0.00497	130247	179	0.00365	130233
52	0.00585	130130	116	0.00497	130273	180	0.00363	130029
53	0.00584	130019	117	0.00496	130081	181	0.00363	130226
54	0.00584	130165	118	0.00496	130092	182	0.00360	130254
55	0.00582	130093	119	0.00494	130227	183	0.00360	130025
56	0.00581	130016	120	0.00494	130211	184	0.00350	130248
57	0.00580	130021	121	0.00492	130008	185	0.00332	130281
58	0.00579	130098	122	0.00491	130253	186	0.00331	130238
59	0.00578	130202	123	0.00490	130181	187	0.00330	130285
60	0.00574	130243	124	0.00485	130104	188	0.00330	130230
61	0.00573	130128	125	0.00485	130203	189	0.00328	130287
62	0.00573	130216	126	0.00481	130007	190	0.00318	130206
63	0.00572	130058	127	0.00481	130114	191	0.00299	130228
64	0.00572	130063	128	0.00474	130113	192	0.00283	130215