

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *EM ENGENHARIA CIVIL*

**CONTRIBUIÇÃO METODOLÓGICA À ENGENHARIA DIAGNÓSTICA
PARA APLICAÇÃO À CONSERVAÇÃO DA INFRAESTRUTURA
RODOVIÁRIA: ESTUDO DE CASO DA SINALIZAÇÃO DA SP 310 –
RODOVIA WASHINGTON LUÍS**

LUCAS VINÍCIUS NOGUEIRA DOS REIS

São Carlos
2020

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *EM ENGENHARIA CIVIL*

**CONTRIBUIÇÃO METODOLÓGICA À ENGENHARIA DIAGNÓSTICA
PARA APLICAÇÃO À CONSERVAÇÃO DA INFRAESTRUTURA
RODOVIÁRIA: ESTUDO DE CASO DA SINALIZAÇÃO DA SP 310 –
RODOVIA WASHINGTON LUÍS**

LUCAS VINÍCIUS NOGUEIRA DOS REIS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos, para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Construção Civil

Orientador: Prof. Dr. Guilherme Aris Parsekian

Coorientador: Prof. Dr. Douglas Barreto

São Carlos
2020



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

Folha de Aprovação

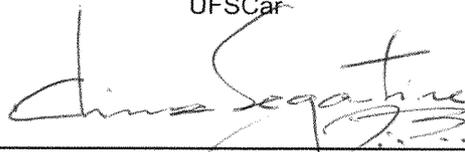
Assinaturas dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Dissertação de Mestrado do candidato Lucas Vinícius Nogueira dos Reis, realizada em 05/02/2020:



Prof. Dr. Douglas Barreto
UFSCar

Thais de Cassia M. Guerreiro

Profa. Dra. Thais de Cassia Martinelli Guerreiro
UFSCar



Prof. Dr. Paulo Cesar Lima Segantine
USP

Dedico este trabalho a minha família, meu exemplo de educação, de caráter e de construção de valores.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, toda minha gratidão a Deus, fonte de minha fé e de minha perseverança.

Agradeço aos meus pais e irmãos, que sempre me incentivaram no caminho dos estudos e sempre me apoiaram em cada decisão de minha vida. Um agradecimento especial a minha namorada, companheira de cada momento desta pesquisa.

Gostaria de agradecer aos professores Guilherme e Douglas, que me orientaram e me ensinaram os métodos científicos para a obtenção de êxito do presente estudo.

Agradeço aos profissionais da ARTESP, os quais tiveram paciência em responder cada questionamento que lhes foi feito, bem como me ajudaram a entender os detalhes das atividades desempenhadas pela Agência.

Não poderia deixar de agradecer também a todos os amigos do PPGECiv, principalmente aos amigos do GETSP, com os quais pude contar sempre que precisei.

“A ciência é o grande antídoto contra o veneno do entusiasmo e da superstição.”
(Adam Smith).

RESUMO

REIS, Lucas V. N. **Contribuição metodológica à Engenharia Diagnóstica para aplicação à conservação da infraestrutura rodoviária: estudo de caso da sinalização da SP 310 – Rodovia Washington Luís.** 2020. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2020.

De modo geral, o presente trabalho objetiva verificar a aplicabilidade dos conceitos da Engenharia Diagnóstica para a conservação da infraestrutura rodoviária. Nesse sentido, nesta pesquisa, foram realizadas adaptações e melhorias na ferramenta de inspeção, de modo a possibilitar aos tomadores de decisão, oriundos de empresas privadas e entidades públicas, acesso a um processo lógico de priorização da manutenção rodoviária. O elemento estudado foi a sinalização rodoviária da SP 310- Rodovia Washington Luís. Foram utilizados dois métodos para a estimativa dos pesos de priorização de manutenção em sinalização rodoviária: o método de análise de falhas potenciais, representado pela FMEA (Análise do Modo e Efeitos de Falha) e o método de análise multicritério, representado pelo AHP (Processo de Análise Hierárquica). Para a aplicação do método FMEA, foi utilizado primeiramente o programa computacional TopEventFTA®, resultando no levantamento de todas as anomalias possíveis em sinalização rodoviária. Em seguida, foram feitas entrevistas não estruturadas com dois especialistas em regulação de transportes da Agência Reguladora de Transportes do Estado de São Paulo (ARTESP), a fim de se obterem os índices de severidade e de probabilidade de detecção de cada anomalia, uma vez que o índice de ocorrência foi obtido pelo banco de dados da ARTESP, para o mês de janeiro de 2019. A multiplicação desses índices forneceu o peso de prioridade de manutenção em sinalização rodoviária pelo método FMEA, numa escala de 0 a 1.000 (um mil). Já para a aplicação do método AHP foi apresentado, primeiramente, um questionário no GoogleForms®, a 21 (vinte e um) profissionais ligados à sinalização rodoviária, possibilitando a realização da comparação paritária referente à prioridade de manutenção entre as anomalias em sinalização vertical. Os valores predominantes dessas comparações paritárias foram colocados no programa TransparentChoice®, resultando em um peso de prioridade de manutenção para cada anomalia em sinalização vertical, em uma escala de 0 a 100%. O resultado do método FMEA para a inspeção da sinalização rodoviária mostrou que a prioridade de manutenção obtida pelo referido método é diferente para cada concessionária, uma vez que depende do índice de ocorrência de anomalia em cada trecho. Enquanto para a concessionária 1 a prioridade de manutenção foi a ausência de placa de regulamentação (peso de 360), para a concessionária 2 a prioridade de manutenção foi a ausência de pintura de solo (peso de 441). Já a aplicação do método AHP à sinalização vertical mostrou que a ordem de prioridade de manutenção obtida por este método é dada pelos seguintes pesos: ausência de placa (48%), placa encoberta (39%), placa avariada (9%) e placa fora de padrão (4%).

Palavras-chave: Engenharia Diagnóstica em rodovias. Conservação de sinalização rodoviária. Método FMEA em sinalização rodoviária. Método AHP em sinalização rodoviária.

ABSTRACT

REIS, Lucas V. N. **Contribuição metodológica à Engenharia Diagnóstica para aplicação à conservação da infraestrutura rodoviária: estudo de caso da sinalização da SP 310 – Rodovia Washington Luís.** 2020. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2020.

In general, the present work aims to verify the applicability of the concepts of Diagnostic Engineering for the conservation of highway infrastructure. Therefore, in this research, adaptations and improvements were made to the inspection tool, in order to enable decision makers, coming from private companies and public entities, access of a logical process of prioritizing highway maintenance. The element studied was the highway signaling of the SP 310- Washington Luis Highway. Two methods were used to estimate the prioritization weights of maintenance in highway signaling: the method of analysis of potential failure, represented by the FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) and the multicriteria analysis method, represented by the AHP (Analytic Hierarchy Process). For the application of the FMEA method, the computer program TopEventFTA® was firstly used, resulting in the survey of all possible anomalies in highway signaling. Then, unstructured interviews were carried out with two transport regulation specialists from the Sao Paulo State Transport Regulatory Agency (ARTESP), in order to obtain the severity and the probability detection indexes for each anomaly, since the occurrence index was obtained by the ARTESP database, for the month of January 2019. The multiplication of these indexes provided the weight of maintenance priority in highway signaling by the FMEA method, on a scale from 0 to 1,000 (one thousand). For the application of the AHP method, a questionnaire was firstly presented on GoogleForms®, to 21 (twenty-one) professionals linked to highway signaling, making it possible to carry out the pairwise comparisons regarding the priority of maintenance between anomalies in vertical highway signaling. The predominant values of these pairwise comparisons were placed in the TransparentChoice® program, resulting in a maintenance priority weight for each anomaly in vertical highway signaling, on a scale from 0 to 100%. The result of the FMEA method for the inspection of highway signaling showed that the maintenance priority obtained by the referred method is different for each concessionaire, since it depends on the anomaly occurrence index in each stretch. While for concessionaire 1 the maintenance priority was the absence of the regulation plate (weight of 360), for concessionaire 2 the maintenance priority was the absence of soil paint (weight of 441). The application of the AHP method to the vertical highway signaling showed that the order of maintenance priority obtained by this method is given by the following weights: absence of plate (48%), covered plate (39%), damaged plate (9%) and plate non-standard (4%).

Keywords: *Diagnostic Engineering on highways. Conservation of highway signaling. FMEA method in highway signaling. AHP method in highway signaling.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Organograma da Engenharia Legal	23
Figura 2- Progressividade Diagnóstica	26
Figura 3- Classificação quanto ao grau de risco e quanto ao estado de conservação de um elemento construtivo	28
Figura 4- Componentes da plataforma rodoviária	33
Figura 5- Termo de Registro de Ocorrência ANTT- 2017.....	38
Figura 6- Hierarquia Analítica com destaque do curso da alternativa G.	52
Figura 7- Alguns exemplos de sinalização vertical de regulamentação	59
Figura 8- Alguns exemplos de sinalização vertical de advertência	60
Figura 9- Alguns exemplos de sinalização vertical de indicação	60
Figura 10- Sinalização horizontal em trecho em tangente na rodovia.....	61
Figura 11- Sinalização horizontal de marcas de canalização em bifurcações na rodovia	61
Figura 12- Fluxograma esquemático da metodologia da pesquisa	66
Figura 13- Sistema utilizado para coleta das informações junto à ARTESP.	69
Figura 14- Visualização do software TopEvent FTA®	70
Figura 15- Página de visualização do <i>TransparentChoice® para aplicação do AHP</i>	74
Figura 16- Seção típica da SP 310 no trecho da Concessionária 1	80
Figura 17- Seção típica da SP 310 no trecho da Concessionária 2.....	81
Figura 18- Evidências de manifestações patológicas (não conformidades) em Sinalização Rodoviária para concessionária 1 (lote 08)	83
Figura 19- Evidências de manifestações patológicas (não conformidades) em Sinalização Rodoviária para concessionária 2 (lote 09)	85
Figura 20- Diagrama de árvore para Falha em Sinalização Rodoviária – nível 1.....	92
Figura 21- Diagrama de árvore para Falha em Sinalização Rodoviária – nível 2 – Sinalização Vertical de Regulamentação/Advertência.	92
Figura 22- Diagrama de árvore para Falha em Sinalização Rodoviária – nível 2 – Sinalização Vertical – Demais placas.	93
Figura 23- Diagrama de árvore para Falha em Sinalização Rodoviária – nível 2 – Sinalização Horizontal – Pintura.	93
Figura 24- Diagrama de árvore para Falha em Sinalização Rodoviária – nível 2 – Sinalização Horizontal – Tachas refletivas.	94
Figura 25- Representação gráfica de distribuição de anomalias por categoria de sinalização rodoviária da concessionária 1	96
Figura 26- Gráfico de radar com anomalias para sinalização rodoviária da concessionária 1	97
Figura 27- Representação gráfica de distribuição de anomalias por categoria de sinalização rodoviária da concessionária 2.....	99
Figura 28- Gráfico de radar com anomalias para sinalização rodoviária da concessionária 2	100
Figura 29- Índices de Não Conformidades em sinalização vertical para concessionária 1 da SP 310.....	104
Figura 30- Índices de Não Conformidades em sinalização horizontal para concessionária 1 da SP 310.....	104
Figura 31- Índices de Não Conformidades em sinalização vertical para concessionária 2 da SP 310.....	105
Figura 32- Índices de Não Conformidades em sinalização horizontal para concessionária 2 da SP 310.....	105
Figura 33- Gráfico de Índice de Não Conformidades mensal para concessionária 1	106
Figura 34- Gráfico de Índice de Não Conformidades mensal para concessionária 2	106

Figura 35- Pesos atribuídos pelos 21 profissionais.....	132
Figura 36- Pesos de cada critério pelo Processo de Análise Hierárquica (AHP)	133
Figura 37- Gráfico de acidentes com vítimas na Concessionária 1 da SP 310	140
Figura 38- Gráfico de acidentes com vítimas na Concessionária 2 da SP 310	141

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Exemplo de matriz de comparação paritária do Método AHP	49
Tabela 2- Resumo sobre aplicação de sistemas de gestão em rodovias em países estrangeiros.	64
Tabela 3- Variáveis em Sinalização Rodoviária.....	82
Tabela 4- Manifestações patológicas em Sinalização Rodoviária.....	82
Tabela 5- Anomalias em sinalização rodoviária em trecho da concessionária 1 da SP 310 (mês de janeiro/2019).....	95
Tabela 6- Distribuição percentual de anomalias em relação ao total de apontamentos (concessionária 1).....	96
Tabela 7- Anomalias em sinalização rodoviária em trecho da concessionária 2 da SP 310 (mês de janeiro/2019)	98
Tabela 8- Distribuição percentual de anomalias em relação ao total de apontamentos (concessionária 2).....	99

Quadro 1- Grupos de elementos rodoviários que exigem manutenção	35
Quadro 2- Principais itens avaliados para aplicação de penalidade	37
Quadro 3- Valores dos índices de ocorrência, severidade e detecção	40
Quadro 4- Formulário para aplicação do Método FMEA	42
Quadro 5- Símbolos lógicos utilizados pelo Método FTA	43
Quadro 6- Métodos de Análise Multicritério	45
Quadro 7- Etapas de aplicação do Processo de Análise Hierárquica (AHP)	47
Quadro 8- Escala numérica e verbal criada por Saaty	48
Quadro 9- Valores do Índice Randômico para matriz com n elementos.	51
Quadro 10- Definição das falhas possíveis em sinalização rodoviária	71
Quadro 11- Análise das falhas em sinalização rodoviária pelo método FMEA.....	71
Quadro 12- Índice de Severidade para aplicação da FMEA	72
Quadro 13- Índice de probabilidade de detecção para aplicação da FMEA.	72
Quadro 14- Volume Diário Médio na SP 310 – Rod. Washington Luís	78
Quadro 15- Ferramentas da Engenharia Diagnóstica aplicáveis aos elementos rodoviários ...	90
Quadro 16- Quantidade de não conformidades mensal por concessionária.....	102
Quadro 17- Índice de não conformidades mensal por concessionária.....	103
Quadro 18- Resultados qualitativos da FMEA à sinalização rodoviária	107
Quadro 19- Aplicação de FMEA à Sinalização Rodoviária da Concessionária 1.....	110
Quadro 20- Prioridade de manutenção em sinalização rodoviária pelo FMEA	112
Quadro 21- Aplicação de FMEA à Sinalização Rodoviária da Concessionária 1.....	113
Quadro 22- Prioridade de manutenção em sinalização rodoviária pelo FMEA	115
Quadro 23- Trechos comparados da Concessionária 1 – prioridade de manutenção pela FMEA	116
Quadro 24- Trechos comparados da Concessionária 2 – prioridade de manutenção pela FMEA	119
Quadro 25- Resultado obtido pela aplicação do formulário aos profissionais ligados à sinalização rodoviária.....	131
Quadro 26- Alteração dos pesos para ajuste do índice de inconsistência	133
Quadro 27 - Trechos comparados da SP 310: prioridade de manutenção pelo AHP	134
Quadro 28- Indicador de acidentalidade nas rodovias do Brasil	139

1. INTRODUÇÃO	15
1.1 Objetivos	17
1.1.1 Geral.....	17
1.1.2 Específicos	17
1.2 Justificativa	18
1.3 Problema de pesquisa	19
1.4 Limitações da pesquisa	19
1.5 Descrição dos capítulos	20
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
2.1 Aspectos ligados à Engenharia Diagnóstica	21
2.1.1 Abordagem geral sobre a Engenharia Diagnóstica.....	21
2.1.2 Evolução dos conceitos de Engenharia Diagnóstica	23
2.1.3 Classificação e Conceitos das Ferramentas Diagnósticas.....	25
2.1.3.1 Vistoria	27
2.1.3.2 Inspeção.....	27
2.1.3.3 Auditoria.....	29
2.1.3.4 Perícia.....	29
2.1.3.5 Consultoria	31
2.1.4 Analogia entre a infraestrutura rodoviária e a predial	32
2.2 Aspectos ligados à conservação rodoviária no Brasil	33
2.2.1 A infraestrutura e a superestrutura da rodovia	33
2.2.2 Mecanismos de verificação da conservação rodoviária: principais manifestações patológicas	35
2.2.3 O papel das agências reguladoras de transporte na fiscalização de rodovias	36
2.3 Métodos de análise das manifestações patológicas	39
2.3.1 Principais Métodos de Análise de Falhas Potenciais.....	39
2.3.1.1 FMEA (Análise do Modo e Efeitos de Falha).....	39
2.3.1.2 FTA (Fault Tree Analysis)	43
2.3.2 Principais Métodos de Análise Multicritério	44
2.3.2.1 AHP (Processo de Análise Hierárquica)	46
2.4 Pesquisas relacionadas à análise das manifestações patológicas na infraestrutura de transporte rodoviário	53
2.4.1 Análise das manifestações patológicas em pavimento por meio do AHP	53
2.4.2 Análise das manifestações patológicas em obras de arte especiais por meio do FMEA e AHP.....	57
2.4.3 Uso de banco de dados para planejamento de manutenção da infraestrutura rodoviária estadunidense	61
2.4.4 Desenvolvimento de sistemas de gestão da infraestrutura rodoviária no exterior	63
3. METODOLOGIA	65
3.1 Levantamento bibliográfico sobre o tema estudado	67
3.2 Levantamento das ferramentas da Engenharia Diagnóstica aplicáveis ao sistema rodoviário	67

3.3	Caracterização da rodovia escolhida para o Estudo de Caso	67
3.4	Escolha da ferramenta diagnóstica para o Estudo de Caso	68
3.5	Escolha do elemento rodoviário para o Estudo de Caso	68
3.6	Acesso a banco de dados.....	68
3.7	Estabelecimento das variáveis do elemento rodoviário para o Estudo de Caso	69
3.8	Análise e validação das variáveis nas ferramentas da Engenharia Diagnóstica para o Estudo de Caso	70
3.9	Determinação dos pesos de prioridade de manutenção para o Estudo de Caso	74
3.10	Aplicação dos pesos de prioridade de manutenção no Estudo de Caso	75
4.	ESTUDO DE CASO	77
4.1	Caracterização da malha rodoviária do estado de São Paulo	77
4.2	Caracterização do estudo de caso: rodovia SP 310 Washington Luís	77
4.2.1	Lote 09 do Programa de Concessões Rodoviárias de São Paulo – SP 310.....	79
4.2.2	Lote 08 do Programa de Concessões Rodoviárias de São Paulo – SP 310.....	80
4.3	Levantamento de anomalias em sinalização rodoviária da SP 310	81
5.	RESULTADOS E ANÁLISES	87
5.1.1	Aplicação da ferramenta de Vistoria em rodovias	87
5.1.2	Aplicação da ferramenta de Inspeção em rodovias	87
5.1.3	Aplicação da ferramenta de Auditoria em rodovias	88
5.1.4	Aplicação da ferramenta de Perícia em rodovias	89
5.1.5	Aplicação da ferramenta de Consultoria em rodovias	89
5.1.6	Ferramentas da Engenharia Diagnóstica aplicáveis a rodovias	89
5.2	Resultados da inspeção em sinalização rodoviária	92
5.2.1	Variáveis consideradas na inspeção da sinalização rodoviária	92
5.2.2	Resultados para a concessionária 1 da SP 310	94
5.2.3	Resultados para a concessionária 2 da SP 310	97
5.2.4	Análise comparativa dos resultados de não conformidades em sinalização para as duas concessionárias da SP 310.....	100
5.3	Resultado da aplicação da ferramenta de análise de falhas potenciais à sinalização rodoviária	107
5.4	Resultado da aplicação da ferramenta de análise multicritério para a sinalização rodoviária	128
5.5	Considerações quanto ao uso da fmea e ahp à ferramenta de inspeção em sinalização rodoviária	136
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	142
	REFERÊNCIAS	144
	APÊNDICES	148
	dados de não conformidades em sinalização rodoviária da SP 310	148
	Formulário aplicado sobre prioridade de manutenção em sinalização vertical rodoviária	158

Resultados do formulário no google® forms.....	163
Aplicação do software transparent choice®.....	168

1. INTRODUÇÃO

A conservação da infraestrutura de transporte, considerando todos os modais disponíveis, é crucial para que um país alcance o bom desempenho de suas atividades econômicas e sociais. No que diz respeito ao meio de transporte rodoviário brasileiro, estudos voltados à melhoria de conservação da malha rodoviária nacional ganham importância devido à significativa participação deste modal na matriz de transporte do país. No Brasil, o sistema rodoviário é responsável por 61% da movimentação de mercadorias e por 95% do deslocamento de passageiros (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE, 2018a). Além disso, quando comparado com países emergentes, o Brasil apresenta a matriz de transporte dominada pelo modal rodoviário, representando 63-65% da parcela de “Toneladas por Quilômetro Útil” (TKU), em contraste com 21% da China e 39% da Índia (RAISER et al., 2017).

Mesmo com esta dependência do transporte rodoviário, estudos e levantamentos apontam para uma insuficiência na oferta de infraestrutura e inadequação por parte das rodovias pavimentadas brasileiras para o tráfego de pessoas e bens. Como exemplo, pode-se observar o ranking de competitividade global do Fórum Econômico Mundial 2019, de acordo com o qual, dos 141 países avaliados, o Brasil encontra-se na 93ª posição com relação à variável rodovias (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE, 2019).

Segundo Alves (2016), ainda que a atual conjuntura seja modificada, de modo a tornar a matriz de transportes brasileira mais equilibrada entre os modais de transporte, a gestão da conservação de rodovias ainda será um tema de relevância. Nesse sentido, o poder público brasileiro, ao alocar seus recursos para a manutenção de rodovias, não tem estabelecido uma estratégia para as intervenções de manutenção em longo prazo, fato que gera perdas econômicas, por conta do período no qual foi executada a manutenção (ALVES, 2016).

Tinoco e Giambiagi (2018) mostraram que os valores efetivamente investidos em infraestrutura de transporte no Brasil foram de: 2,0% do PIB anual de 1971-1980; 1,5% do PIB anual de 1981-1990; 0,6% do PIB anual de 1990 e 2000; 0,7% do PIB anual de 2001-2016 e 0,5 % do PIB anual em 2017 e 2018. De acordo com Raiser et al. (2017), cerca de 0,7% do PIB brasileiro é perdido devido à baixa qualidade das rodovias, devido a projetos de engenharia deficientes e devido a rodovias congestionadas. Mais de 40% destas ineficiências são verificadas na região sudeste do país.

No que diz respeito ao modal de transporte rodoviário, os valores investidos pelo poder público foram de 0,39 % do PIB anual entre os anos de 2001 e 2010 e de 0,42% do PIB anual entre os anos de 2011 e 2015. O Brasil deveria aumentar o investimento anual em transporte rodoviário para 1,81% do PIB até 2025, sendo que 1,20% do PIB deveriam corresponder ao investimento com manutenção rodoviária (RAISER et al., 2017).

Ainda segundo Raiser et al. (2017), se observados apenas os dados levantados pela Confederação Nacional de Transportes em 2017 sobre qualidade das rodovias, menos de 2% das rodovias sob concessão de operadores privados no Brasil tiveram suas condições avaliadas como ruins ou muito ruins, ao passo que 20% das rodovias públicas receberam esta avaliação. No entanto, quando se combinam os dados sobre a qualidade da rodovia e sobre sua utilização, 34% das ineficiências de operação estão relacionadas com rodovias concedidas. Desta forma, Raiser et al. (2017) afirma o que segue os atuais contratos de concessão rodoviária nem sempre fornecem incentivos suficientes para que sejam resolvidos problemas de manutenção ou de expansão da capacidade da malha rodoviária, evidenciando, além disso, que: “envolver o setor privado na infraestrutura não é garantia de êxito para a resolução das ineficiências do setor, mas que a solução depende de uma estrutura consolidada de regulamentação e fiscalização por parte do Poder Concedente”. (RAISER et al., 2017).

As atividades de conservação/manutenção rodoviária estão intrinsecamente ligadas à realização de análise técnica por parte de especialistas da área, de modo a identificar as anomalias e falhas nas rodovias e proceder com as prevenções e/ou correções necessárias. É nesse contexto de análise técnica e conservação que se insere a Engenharia Diagnóstica, a qual Gomide, Neto e Gullo (2009) afirmam que teve seu início no Brasil juntamente com os primeiros estudos de Inspeção Predial, apresentados no X Congresso Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia do IBAPE, sendo apresentados posteriormente trabalhos específicos na área de Engenharia Diagnóstica, todos voltados ao auxílio nos diagnósticos, prognósticos e prescrições técnicas voltadas à Justiça. De forma genérica, a “Engenharia Diagnóstica” é definida como:

“{...} a disciplina das investigações técnicas para determinar os diagnósticos de manifestações patológicas e níveis de desempenho das construções, visando aprimorar a Qualidade ou apurar Responsabilidades. São as investigações científicas das manifestações patológicas, por meio de metodologias que possibilitam obter dados técnicos para a caracterização, análise, atestamento, apuração da causa, prognóstico e prescrição do reparo da manifestação patológica em estudo”. (GOMIDE et al., 2014).

Deste modo, este trabalho visa verificar a aplicabilidade dos conceitos da Engenharia Diagnóstica para a conservação de rodovias. Trata-se de um tema motivado pela possibilidade de expansão de aplicação da Engenharia Diagnóstica aos demais setores da Engenharia Civil, até o momento restrita ao setor de edificações.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 GERAL

De modo geral, esta pesquisa objetiva verificar a aplicabilidade dos conceitos da Engenharia Diagnóstica para a conservação da infraestrutura rodoviária, identificando, primeiramente, as principais características mensuráveis em avaliações diagnósticas para diferentes elementos da infraestrutura rodoviária e verificando, posteriormente, a possibilidade de aplicação das ferramentas de Engenharia Diagnóstica (vistoria, inspeção, auditoria, perícia e consultoria) a estes elementos rodoviários.

1.1.2 ESPECÍFICOS

Esta pesquisa está relacionada com a análise dos dados de anomalias e manifestações patológicas em sinalização rodoviária, tendo por base o levantamento de não conformidades em inspeção de sinalização rodoviária que foi realizado pela Agência Reguladora de Transportes do Estado de São Paulo (ARTESP) na rodovia concessionada do Estudo de Caso. Desta forma, o presente trabalho apresenta como objetivos específicos:

- Evidenciar as principais anomalias e manifestações patológicas em sinalização rodoviária, seja quanto à sinalização horizontal, seja quanto à sinalização vertical;
- Implantar os conceitos de método de análise de falhas potenciais e de método de análise multicritério para ordenar de forma quantitativa (com pesos) a priorização de manutenção e conservação da sinalização rodoviária, possibilitando a aplicação por parte de tomadores de decisão responsáveis pela operação de rodovias, tanto de empresas privadas (concessionárias), quanto de entidades públicas (Departamento de Estradas de Rodagem - DER, por exemplo);
- Disponibilizar um exemplo de aplicação de método de análise de falhas potenciais e de método de análise multicritério para priorização da conservação/manutenção da sinalização rodoviária do Estudo de Caso.

1.2 JUSTIFICATIVA

De acordo com Gomide, Neto e Gullo (2009), a Engenharia Diagnóstica pode ter como finalidade tanto o aprimoramento da qualidade quanto a apuração de responsabilidade, sempre buscando a origem, a causa e o mecanismo de ação. No que diz respeito à conservação rodoviária, a aplicação da Engenharia Diagnóstica, mais do que simplesmente apurar a responsabilidade pela ocorrência de determinada manifestação patológica, auxiliaria no aprimoramento da qualidade da malha rodoviária brasileira, possibilitando a aplicação de ferramentas diagnósticas consolidadas em outros segmentos, tais como o industrial e o edifício.

Em países como Estados Unidos, Alemanha e Reino Unido, a Engenharia Diagnóstica é um curso de pós-graduação nas universidades. No Brasil, porém, ainda é ministrada como um curso de especialização, com baixa carga horária. Há uma expectativa do setor de que, com a criação de leis e normas mais rigorosas, exista a necessidade de uma melhor qualificação por parte dos profissionais. Outra tendência também seria a da expansão de aplicação da Engenharia Diagnóstica, não se limitando apenas à edificação, mas se estendendo também a toda a linha de produção da construção civil. Acompanhando esta tendência, esse estudo se baseia na implantação da Engenharia Diagnóstica no setor rodoviário (PORTAL ITAMBÉ, 2013).

Gomide, Pujadas e Neto (2006) constatam que a inspeção técnica é procedimento consolidado na área industrial e afirmam que existe um futuro promissor na área de Engenharia Civil, inclusive para as obras-de-arte em geral como: pontes, viadutos, portos, pavimentos e outras. Giovannetti (2014) corrobora com esse conceito, ao afirmar a importância da realização de inspeção em Obras de Arte Especiais (OAEs) para se detectar quando a estrutura de uma OAE se encontra deteriorada, necessitando, pois, de intervenção. Segundo Lencioni (2005), mesmo após a concessão da administração de algumas rodovias às empresas privadas, no Brasil, algumas Obras de Arte Especiais encontram-se em situação de abandono, muitas vezes próximas à ruína.

No entanto, não são apenas as Obras de Arte Especiais que exigem atenção na infraestrutura rodoviária. Pavimento, sinalização, elementos de proteção e segurança, Sistema de Drenagem e Obras de Arte Correntes (OACs), bem como edificações e instalações operacionais são exemplos de componentes que também precisam ser inspecionados.

Em linhas gerais, justifica-se o empenho no desenvolvimento desse estudo por meio da identificação dos principais aspectos mensuráveis, bem como da necessidade de

adaptações e melhorias para a aplicação de ferramentas da Engenharia Diagnóstica aos componentes da infraestrutura rodoviária.

1.3 PROBLEMA DE PESQUISA

O problema que orienta o tema desta pesquisa é baseado nas seguintes questões: Quais as melhorias e adaptações seriam necessárias nas técnicas de avaliação para a aplicação da Engenharia Diagnóstica ao setor da infraestrutura rodoviária? Caso seja possível esta aplicação da Engenharia Diagnóstica, como deveriam ser priorizados os tipos de manutenção ou conservação para um determinado elemento que compõe o sistema rodoviário? A resposta a estes questionamentos propicia a definição de uma avaliação diagnóstica sistemática dos componentes da infraestrutura rodoviária, bem como o levantamento dos principais aspectos relacionados à atividade de conservação desses elementos rodoviários.

1.4 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

Não é o escopo desta pesquisa a validação da aplicação da Engenharia Diagnóstica a todos os elementos da infraestrutura rodoviária. Tal pesquisa não pretende esgotar todas as abordagens possíveis da Engenharia Diagnóstica para esse segmento da construção civil. Ao invés disso, trata-se de um estudo inicial da aplicação da Engenharia Diagnóstica ao setor rodoviário.

Desta forma, vale ressaltar algumas limitações inerentes à pesquisa, tais como:

- Possíveis imprecisões ao generalizar os resultados obtidos nas rodovias concedidas para o restante das rodovias no Brasil, dado as diferentes realidades do setor rodoviário mesmo considerando apenas o estado de São Paulo;
- Entraves na aplicação de cada um dos conceitos e ferramentas da Engenharia Diagnóstica para o segmento rodoviário, uma vez que estes conceitos estão atualmente embasados no segmento edilício;
- Influência dos fatores Volume Diário Médio (VDM) e localização da rodovia (interior, capital ou litoral) na extrapolação dos resultados de anomalias e manifestações patológicas para as rodovias de todo o estado de São Paulo;

1.5 DESCRIÇÃO DOS CAPÍTULOS

O trabalho é composto por seis capítulos, os quais estão organizados como descrito abaixo:

O primeiro capítulo apresenta de forma sucinta o tema a ser abordado na pesquisa, além de denotar quais são os objetivos, as justificativas e o problema principal.

No segundo capítulo, é feita uma revisão bibliográfica acerca do tema da pesquisa. O capítulo se inicia com uma abordagem acerca da Engenharia Diagnóstica, de modo a permitir o entendimento das principais definições, aplicações e boas práticas desta área da engenharia civil. Em seguida, é feita uma apresentação dos aspectos ligados à conservação rodoviária no Brasil, com ênfase para o estado de São Paulo. Após esta apresentação, faz-se um aprofundamento das ferramentas da Engenharia Diagnóstica, bem como dos modos de análise de manifestações patológicas, seja pelos métodos de análise de falhas potenciais, seja pelos métodos de análise multicritério. Ato contínuo, são apresentados estudos estrangeiros relacionados à aplicação desses métodos de análises de manifestações patológicas em elementos rodoviários. Por fim, é apresentado o estado atual da aplicação de gestão de manutenção de rodovias em países estrangeiros, bem como o desenvolvimento de novas tecnologias aplicadas ao estudo diagnóstico no setor.

O terceiro capítulo apresenta a metodologia da pesquisa, ou seja, o conjunto de métodos por meio dos quais a pesquisa foi realizada. É também neste capítulo que se faz uma classificação metodológica do trabalho.

O quarto capítulo introduz as características do Estudo de Caso, a fim de melhor esclarecer o objeto desta pesquisa, bem como os dados coletados por meio da inspeção realizada em campo.

O quinto capítulo aborda os resultados e análises da aplicação das ferramentas da Engenharia Diagnóstica ao Estudo de Caso, colocando em prática a ferramenta da Engenharia Diagnóstica escolhida para uma amostra das rodovias do Estado de São Paulo (rodovias concedidas).

No sexto capítulo são apresentadas as considerações finais da pesquisa, tais como as conclusões da pesquisa e as sugestões de propostas de temas para pesquisas futuras, os quais não puderam ser abordados nesta pesquisa.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ASPECTOS LIGADOS À ENGENHARIA DIAGNÓSTICA

2.1.1 ABORDAGEM GERAL SOBRE A ENGENHARIA DIAGNÓSTICA

A Engenharia Diagnóstica é uma disciplina relativamente nova, até mesmo por esse motivo há pouca bibliografia nacional e internacional sobre o tema. Já os estudos diagnósticos remetem à criação da própria Engenharia, uma vez que, como a Engenharia é a arte da transformação dos recursos naturais em formas adequadas ao suprimento das necessidades humanas, por meio de conhecimentos científicos e empíricos, pode-se concluir que as manifestações patológicas e seus diagnósticos surgiram desde então. (INSTITUTO DE ENGENHARIA, 2013).

As primeiras aparições do assunto Engenharia Diagnóstica surgiram com renomadas entidades internacionais de estudos diagnósticos ligados à Engenharia, podendo-se citar o Institution of Diagnostic Engineers (Instituto de Engenheiros Diagnósticos, em tradução livre), formado em 1981 no Reino Unido e contando com mais de 1300 membros, bem como o Building Diagnostic Inc., empresa norte americana fundada em 1994, contando com escritórios no Texas e Missouri, além de escritório no México (INSTITUTO DE ENGENHARIA, 2013). Para o Instituto do Reino Unido, um engenheiro diagnóstico é qualquer pessoa capaz de contribuir para a arte ou ciência de determinar a existência de um problema em uma máquina, planta, sistema ou estrutura e/ou avaliar a (s) causa (s) de uma falha que possa ter ocorrido e/ou avaliar a condição de vulnerabilidade de tais elementos, durante o uso ou durante o desenvolvimento dos mesmos. Assim, através de uma capacidade de diagnóstico ou de um conhecimento especial de modos de falha e deterioração, confiabilidade e riscos, uma pessoa pode contribuir para uma avaliação satisfatória das causas de um defeito e é capaz de contribuir para a identificação de ações corretivas para curar o defeito e evitar falhas (INSTITUTION OF DIAGNOSTIC ENGINEERS, 2019).

No Brasil, a Engenharia Diagnóstica tem se desenvolvido na Divisão de Patologias das Construções do Instituto de Engenharia, coordenado por Tito Lívio Ferreira Gomide e

Jerônimo Cabral Pereira Fagundes Neto, juntamente com diversos laboratórios de ensaios tecnológicos localizados em grandes centros urbanos e em Universidades (INSTITUTO DE ENGENHARIA, 2013).

Gomide, Neto e Gullo (2009) afirmam que na Europa a doutrina estrangeira revela uma preocupação com a qualificação de profissionais engenheiros ligados à profissão de perito, de auditor e de consultor de edificações. A Directiva 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, por exemplo, impõe que os estados membros garantam a certificação dos edifícios e a elaboração de recomendações, de modo independente, por parte de peritos qualificados e/ou acreditados. Desta forma, passa-se a diferenciar dois conceitos principais: o da Engenharia Legal e o da Engenharia Diagnóstica. (GOMIDE; NETO; GULLO, 2009).

Segundo Gomide, Neto e Gullo (2009), primeiramente houve o surgimento da Engenharia Legal, uma vez que havia demanda de investigações técnicas para se resolver conflitos legais relacionados ao direito, seja como auxiliar técnico dos Tribunais de Justiça (perito judicial), seja como assistente técnico das partes. O perito judicial é convocado pelo Juiz de Direito que necessita de prova de natureza técnica. Já o assistente técnico é profissional de confiança das partes e, diferentemente do perito judicial, não apresenta como dever a imparcialidade.

A Engenharia Legal não prescinde da Engenharia Diagnóstica, uma vez que deve haver um entrosamento destas disciplinas da ciência da observação. Enquanto a primeira se constitui em um instrumento jurídico, a segunda se caracteriza como instrumento de qualidade. Há no Brasil um reduzido acervo bibliográfico que define os conceitos, as finalidades, as classificações e os modelos de relatórios, laudos e pareceres das ferramentas de Engenharia Diagnóstica aplicada às edificações. Todas estas definições apresentam relevância para o desenvolvimento de técnicas científicas aplicadas à inspeção na construção civil. (GOMIDE; NETO; GULLO, 2009).

Gomide, Neto e Gullo (2009) apresentam a atividade pericial como abaixo:

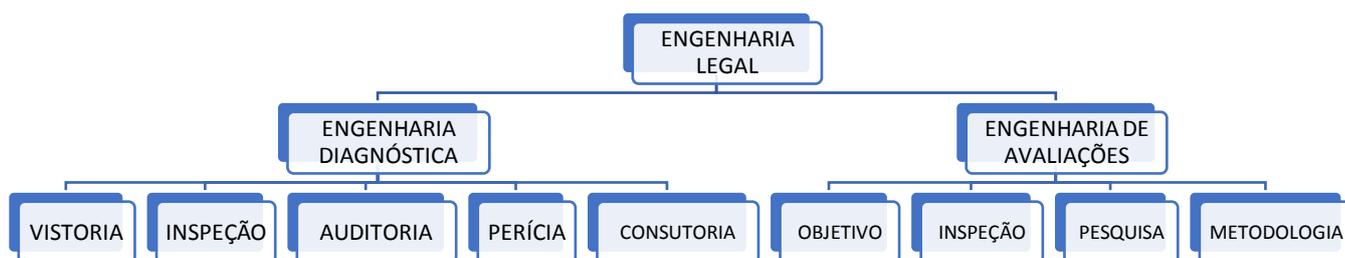
“A Perícia de Engenharia do mundo prático necessita de esclarecimentos e descobertas envolvendo o “corpo edilício” e seus diversos sistemas.

A Engenharia Diagnóstica em Edificações pode ser considerada como verdadeiro instrumento da Ciência da Observação, útil na busca da verdade, e, por consequência, para a Engenharia Legal, uma vez que a Justiça mira a verdade, seja ela técnica ou de comportamento humano.”

Passa a ser importante, portanto, a diferença entre estas Engenharias.

Engenharia é a arte de aplicar conhecimentos científicos à invenção, aperfeiçoamento ou utilização de técnica industrial, em todas as suas determinações, consoante o dicionário Michaelis, pode-se conceituar a Engenharia Legal como a arte de aplicar conhecimentos científicos, técnicos, legais e empíricos nas perícias e avaliações dos diversos ramos da Engenharia, para criar provas jurídicas. Assim, conforme a Figura 1, a Engenharia Diagnóstica passa a ser “o conhecimento científico que, juntamente com a Engenharia de Avaliações compõe os dois braços de sustentação da moderna Engenharia Legal, de acordo com o que segue”. (GOMIDE; NETO; GULLO, 2009).

Figura 1- Organograma da Engenharia Legal



Fonte: Adaptado de Gomide, Neto e Gullo (2009).

2.1.2 EVOLUÇÃO DOS CONCEITOS DE ENGENHARIA DIAGNÓSTICA

Gomide, Neto e Gullo (2009) afirmam que as primeiras aparições sobre o tema aconteceram no I Seminário de Inspeção e Manutenção Predial do IBAPE/SP, em 2005, quando se apresentou a Engenharia Diagnóstica como um progresso da Inspeção Predial, exclusivamente com caráter científico e extrajudicial, com vistas para a obtenção de qualidade predial total. Esta era uma definição baseada na ação proativa da Engenharia Diagnóstica Predial, visando principalmente a apuração das causas efetivas ou potenciais dos problemas edifícios, com foco para a manutenção, com os procedimentos corretivos, preventivos e até mesmo preditivos. A abrangência dos problemas prediais focava-se na visão técnica (anomalias construtivas), na de uso (anomalias funcionais) e na de manutenção (falhas).

Nesse começo, a Engenharia Diagnóstica apresentava como foco principal a análise das diversas fases da indústria construtiva e uso predial, contendo etapas de estudos de documentos, questionamentos, vistorias, análises de criticidade e recomendações técnicas, visando o controle e integração para que não houvesse grandes desvios na idealização do edifício concebida no planejamento, bem como se pretendia minimizar o número de inevitáveis anomalias do processo construtivo.

Houve, posteriormente, uma evolução proporcionada pela aplicação prática da Engenharia Diagnóstica. Desse modo, passou-se a destacar o requisito da “arte” requerida pela Engenharia, voltado para a especialidade técnica de se distinguir anomalias, predizer com base em sintomas e estabelecer tratamentos técnicos em prol da qualidade predial total, conforme Gomide, Neto e Gullo (2009): *“Engenharia Diagnóstica em Edificações é a arte de criar ações proativas, por meio dos diagnósticos, prognósticos e prescrições técnicas, visando à qualidade total.”*

Gomide, Neto e Gullo (2009) afirmam que esse conceito se baseia nos seguintes preceitos:

“Engenharia é a arte de aplicar conhecimentos científicos e empíricos e certas habilidades específicas à criação de estruturas, dispositivos e processos que se utilizam para converter recursos naturais em formas adequadas ao atendimento das necessidades humanas. Diagnóstico é a arte de distinguir anomalias. Prognóstico é a arte de predizer com base em sintomas. Prescrição é a arte de recomendar o tratamento. Qualidade Total é a ação proativa do conhecimento da verdade do fato para eliminação de anomalias, melhoria da produtividade e implantação de novidades nos produtos”.

Deste modo, destaca-se na conceituação de Engenharia Diagnóstica a determinação das ações proativas que possibilitam os diagnósticos, prognósticos e prescrições que favorecem a qualidade total.

Tal proatividade do conhecimento da verdade do fato advém do uso das ferramentas consolidadas nas vistorias, inspeções, auditorias, perícias e consultorias, reforçadas por pesquisas, ensaios e protótipos, nas mais diferentes fases da construção.

No entanto, esse conceito passou por uma reformulação e atualmente a Engenharia Diagnóstica é definida como:

“(...) a disciplina das investigações técnicas (tetra In – Iniciação/Intuição/Interrelação/Inferência) para determinar os diagnósticos de manifestações

patológicas e níveis de desempenho das construções, visando aprimorar a Qualidade ou apurar Responsabilidades”. (GOMIDE; NETO; GULLO, 2009).

2.1.3 CLASSIFICAÇÃO E CONCEITOS DAS FERRAMENTAS DIAGNÓSTICAS

Gomide, Neto e Gullo (2009) citam que as ferramentas da Engenharia Diagnóstica são os procedimentos técnicos investigativos, os quais podem ser classificados por sua progressividade e são representados pelas vistorias, inspeções, auditorias, perícias e consultorias.

Inicialmente, muita confusão se fez por aqueles ligados à atividade pericial, uma vez que não se tinha introduzido um conceito geral, que atendesse aos objetivos técnicos. Houve, então, prevalectimento da tradicional conceituação jurídica da Engenharia Legal, tais como as normativas IBAPE e ABNT, estas baseadas na Resolução do CONFEA nº 345, de 27 de julho de 1990 (CONSELHO FEDERAL DE ENGENHARIA E AGRONOMIA, 1990), com ênfase na visão jurídica, como a seguir:

“Art. 1 – Para efeito desta Resolução define-se:

VISTORIA é a constatação de um fato, mediante exame circunstanciado e descrição minuciosa dos elementos que o constituem, sem a indagação das causas que o motivaram.

ARBITRAMENTO é a atividade que envolve tomada de decisão ou posição entre alternativas, tecnicamente, controversas ou que decorrem de aspectos subjetivos.

AVALIAÇÃO é a atividade que envolve a determinação técnica do valor qualitativo ou monetário de um bem, de um direito ou de um empreendimento.

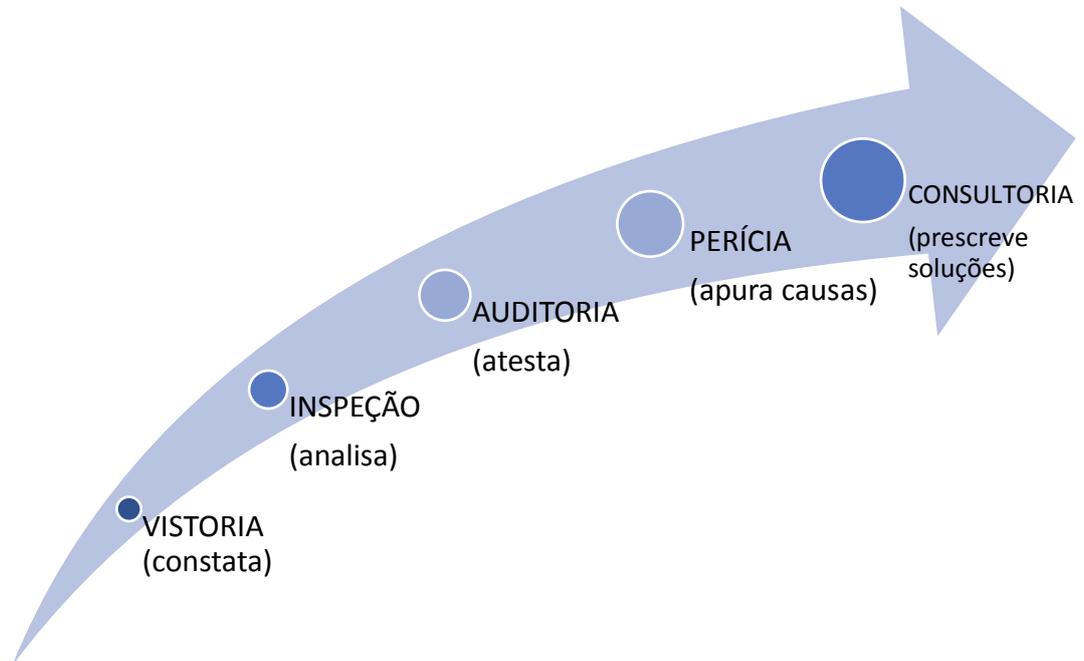
PERÍCIA é a atividade que envolve a apuração das causas que motivaram determinado evento ou da asserção de direitos.

LAUDO é a peça na qual o perito, profissional habilitado, relata o que observou e dá suas conclusões ou avalia o valor de coisas ou direitos, fundamentalmente.”

Deste modo, a conceituação jurídica do IBAPE, ABNT e CONFEA é apenas uma das utilidades destas ferramentas diagnósticas, não abrangendo várias outras finalidades técnicas de investigação da ciência da observação. Logo, podem-se

distinguir as ferramentas diagnósticas por meio da progressividade, ou em outras palavras: as vistorias constata; as inspeções analisam; as auditorias atestam; as perícias apuram causas; e as consultorias se servem de todos os conhecimentos anteriores para fazer as prescrições técnicas (vide Figura 2).

Figura 2- Progressividade Diagnóstica



Fonte: Adaptado de Gomide, Neto e Gullo (2009).

Desta forma, as ferramentas da Engenharia Diagnóstica podem ser enunciadas como:

Vistoria é a constatação técnica de determinado fato, condição ou direito relativo a um objeto.

Inspeção é a análise técnica de fato, condição ou direito relativo a um objeto.

Auditoria é o atestamento técnico de conformidade de um fato, condição ou direito relativo a um objeto.

Perícia é a apuração técnica das origens, causas e mecanismos de ação de um fato, condição ou direito relativo a um objeto.

Consultoria é a prescrição técnica a respeito de um fato, condição ou direito relativo a um objeto.

Assim, resta claro que a vistoria é ferramenta que tem por finalidade, exclusivamente, o registro, sem que seja realizada qualquer análise, atestamento, apuração ou recomendação, uma vez que estas atividades são competências das demais ferramentas. Caso seja pertinente se constatar algo importante, imprevisto ou extraordinário durante a vistoria, pode ser consignado no relatório, e, se necessário, conter recomendações de que tais circunstâncias devam ser investigadas em outros laudos de inspeção, auditoria ou perícia.

Além disso, tais ferramentas podem ser aprimoradas por meio de pesquisas, ensaios e protótipos, bem como por ilustrações fotográficas, plantas e medições.

Os resultados destas ferramentas diagnósticas são comumente apresentados de forma escrita, devendo ter significados específicos. Sugere-se a denominação de RELATÓRIO exclusivamente para as vistorias, uma vez que estas apresentam apenas relatos descritivos (linguagem e imagem), denominação de LAUDO para as auditorias, inspeções e perícias e de PARECER para as consultorias (GOMIDE, NETO E GULLO, 2009).

2.1.3.1 Vistoria

De acordo com Gomide, Neto e Gullo (2009), a vistoria é *“a ferramenta diagnóstica que tem como foco principal a constatação técnica, uma vez que sua única finalidade é o registro das características, ou condição, ou direito, em geral. A verificação “in loco” é imprescindível”*. Ainda segundo o autor, *“a vistoria não se pauta por qualquer parâmetro comparativo, visando apenas o registro do estágio ou condições dos materiais e serviços”*.

Desta forma, conforme Gomide, Neto e Gullo (2009, p. 48):

“Quando a atividade diagnóstica tem por objetivo analisar ou atestar a qualidade dos materiais ou serviços da obra, ou ainda o atendimento de exigências contratuais dos empreiteiros ou fornecedores, a ferramenta diagnóstica evolui para a inspeção ou auditoria, requerendo comparações com parâmetros pré-determinados (projetos, contratos, normas ou regulamentos)”.

2.1.3.2 Inspeção

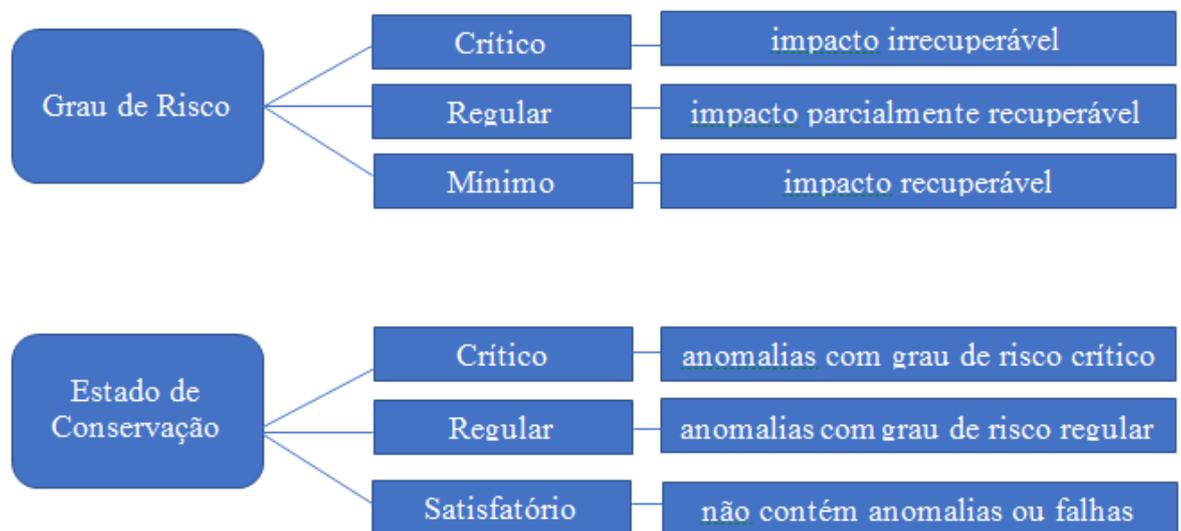
Gomide, Neto e Gullo (2009) afirmam que *“a inspeção pode ser considerada como uma vistoria mais aprimorada devido ao caráter interpretativo já abordado, motivo de ser melhor conceituada como uma análise”*. Segundo os autores, *“as inspeções apresentam um*

caráter de subjetividade analítica, uma vez que sua aplicação pode conter teor interpretativo, mesmo quando medidas por meio de procedimentos técnicos, tais como o GUT (Gravidade-Urgência-Tendência) ou FMEA (Análise de Modo de Falhas e Efeitos), no caso das análises de segurança e manutenção”.

De acordo com Gomide, Pujadas e Neto (2006): “A inspeção é recurso técnico de muita utilidade para a devida apuração da confiabilidade e qualidade das funções de determinado produto. Prática rotineira na área industrial e em produtos de alta precisão, a inspeção é ferramenta indispensável para a Engenharia de Manutenção.”

Como auxílio à definição de inspeção, Gomide, Neto e Gullo (2009) apresentam a conceituação de Grau de Risco e classificação do estado de conservação, conforme a Norma de Inspeção Predial do IBAPE/SP. Nesse sentido, quanto ao grau de risco, este é classificado em: crítico (impacto irrecuperável, relativo ao risco contra a saúde, segurança do usuário e do meio ambiente, bem como perda excessiva de desempenho, recomendando intervenção imediata), regular (impacto parcialmente recuperável relativo ao risco quanto à perda parcial de funcionalidade e desempenho, recomendando programação e intervenção a curto prazo) e mínimo (impacto recuperável relativo a pequenos prejuízos, sem incidência ou a probabilidade de ocorrência dos riscos acima expostos recomendando programação e intervenção a médio prazo). Já quanto ao estado de conservação, este é classificado em: crítico (quando o empreendimento contém anomalias e/ou falhas classificadas com grau de risco crítico), regular (quando o empreendimento contém anomalias e/ou falhas classificadas com grau de risco regular) e satisfatório (quando o empreendimento não contém anomalias e/ou falhas significativas). A Figura 3 resume esta classificação.

Figura 3- Classificação quanto ao grau de risco e quanto ao estado de conservação de um elemento construtivo



Fonte: Adaptado de Gomide, Neto e Gullo (2009).

Na aplicação da ferramenta de inspeção para avaliação diagnóstica, é usual a utilização de sistemas de classificação de ordem de prioridade, seja pelo uso de métodos de análise de falhas potenciais (tal como FMEA), seja pelo uso dos métodos baseados na análise multicritério (tal como o AHP). Esses métodos são detalhados em seus capítulos específicos.

2.1.3.3 Auditoria

Conforme Gomide, Neto e Gullo (2009), a auditoria sempre possui norma, regulamento ou diretriz técnica definida como referencial, o que caracteriza como uma ferramenta para atestar conformidades ou identificar não-conformidades em relação a parâmetros pré-estabelecido. Conforme os autores:

“Mecanismo importante para a Engenharia Diagnóstica, as auditorias nas edificações permitem revelar desde pequenos desvios de desempenho, decorrentes do uso inadequado de material ou mão-de-obra, até a perda da qualidade do produto acabado, provocada por não-conformidade dos insumos, originalmente projetados. O procedimento é de se atestar, pois visa a checar se a condição edilícia em questão está conforme, ou não, ao padrão estabelecido em contrato, norma técnica ou legislação.” (Gomide, Neto e Gullo, 2009, p. 179).

Embora a auditoria devesse ser contratada como serviço concomitante ao controle de cada etapa construtiva “evitando-se o emprego de procedimentos não conformes, a prática da auditoria dá-se, na maioria das vezes, quando a não-conformidade já vem causando prejuízos”. É destacado ainda pelo autor que tal contratação de procedimento de auditoria costuma ser contratado pela parte prejudicada, usualmente dentro de um contrato de empreitada, no momento de litígio, ou seja, não raramente no meio de uma demanda judicial (GOMIDE; NETO; GULLO, 2009).

Existem diversas finalidades para a aplicação da auditoria diagnóstica, mas a mais recente é a vertente da auditoria de desempenho, ou seja, a verificação do comportamento do produto quando em uso. Tal finalidade só é possível de ser atingida pela auditoria porque seu grande diferencial, em relação às demais ferramentas da engenharia diagnóstica, é o polo comparativo bem-determinado pelas normas técnicas, legislação ou contratos firmados (GOMIDE; NETO; GULLO, 2009).

2.1.3.4 Perícia

No segmento das edificações, a perícia é ferramenta empregada desde a fase de projeto, passando pelos materiais, sistemas ou serviços executados nas edificações, ou

mesmo nos terrenos e, de modo geral, envolve as questões atinentes aos proprietários, incorporadores, construtores e consumidores, de modo que, perícia em edificação pode ser conceituada como a determinação da origem, causa e mecanismo de ação de um fato, condição ou direito relativo a uma edificação (GOMIDE; NETO; GULLO, 2009).

Gomide, Neto e Gullo (2009) afirmam que: “A determinação da origem é o primeiro componente importante, pois os fatores originários interessam na apuração de responsabilidade, sendo esse um dos principais objetivos das perícias, principalmente nas judiciais”. Ainda segundo o autor, as origens das anomalias (ou avarias) construtivas derivam de fatores endógenos, exógenos, naturais e funcionais, que podem ser definidas tecnicamente como:

“Endógenas: são aquelas originárias de fatores intrínsecos ao próprio sistema edificante periciado, como erro de projeto, material diverso ao especificado pelo projetista ou de pouca qualidade, assim como desacerto na execução ou execução descuidada.

Exógenas: são aquelas originárias de fatores externos ou decorrentes da ação de terceiros, a exemplo dos choques mecânicos, exposições dos sistemas periciados a gases ou líquidos corrosivos, desgaste excessivo por abrasividade não-projetada, explosões por imperícia dos usuários, etc.

Naturais: decorrem, principalmente, das condições climáticas previsíveis ou não, onde o calor e sol intensos, o frio excessivo, as chuvas torrenciais, o granizo, as ventanias e demais ações naturais podem causar avarias ou alterar as condições de funcionamento dos sistemas projetados.

Funcionais: surgem quando as origens das anomalias ou avarias construtivas derivam do desgaste do material ou da sua degradação após significativo tempo de vida do sistema edificante, em uso repetitivo e contínuo” (Gomide, Neto e Gullo, 2009, p. 207).

Assim como as demais ferramentas da Engenharia Diagnóstica, a “Perícia pode ter como finalidade o aprimoramento da qualidade, porém o seu maior uso é como instrumento para apuração de responsabilidade, sempre buscando a origem, a causa e o mecanismo de ação” (GOMIDE; NETO; GULLO, 2009).

A diretriz técnica da Associação Brasileira de Normas Técnicas que trata do assunto de “Perícias de Engenharia na Construção Civil” é a ABNT NBR 13752:1996. Esta normativa técnica define Perícia como: “Atividade que envolve apuração das causas que motivaram determinado evento ou da asserção de direitos”. Esta norma ainda traz algumas definições que estão transcritas abaixo:

“Dano: ofensa ou diminuição do patrimônio moral ou material de alguém, resultante de delito extracontratual ou decorrente da instituição de servidão. No Código de Defesa do Consumidor, são as conseqüências dos vícios e defeitos do produto ou serviço.

Defeitos: Anomalias que podem causar danos efetivos ou representar ameaça potencial de afetar a saúde ou segurança do dono ou consumidor, decorrentes de falhas do projeto ou execução de um produto ou serviço, ou ainda de informação incorreta ou inadequada de sua utilização ou manutenção.

Vícios: Anomalias que afetam o desempenho de produtos ou serviços, ou os tornam inadequados aos fins a que se destinam, causando transtornos ou prejuízos materiais ao consumidor. Podem decorrer de falha de projeto ou de execução, ou ainda da informação defeituosa sobre sua utilização ou manutenção.”

Gomide, Neto e Gullo (2009) salientam que, para maior detalhamento de análise pericial, além do passo-a-passo, recomenda-se fazer o histograma, anotando as importâncias percentuais das ocorrências significativas ao longo da implantação, construção e uso da construção, uma vez que esse histórico permite o fornecimento de subsídios importantes à perícia. Por fim, é recomendável a utilização de ferramenta de análise de causas e efeitos, tais como o Diagrama de Ishikawa, método do ciclo PDCA e o mais recente Seis Sigma, que possibilitam facilidade de visualização e análise dos problemas técnicos.

2.1.3.5 Consultoria

A consultoria de edificação consiste na *“atividade do técnico especialista ou do perito, com conhecimentos específicos em prescrever soluções e recomendações para as anomalias construtivas, manifestações patológicas de sistemas, falhas de manutenção e demais fatos ou problemas incidentes, relativos à edificação”* (GOMIDE; NETO; GULLO, 2009).

Segundo Gomide, Neto e Gullo (2009, p. 251):

“O engenheiro Diagnóstico deverá ter experiência, vivência com o tema, conhecimento técnico abrangente do sistema construtivo em análise, do estado da arte associado à matéria em estudo, inclusive sob o ponto de vista das normas e exigências aplicáveis à questão em análise. A visão

prognóstica deve existir para que o técnico possa enxergar e, eventualmente, demonstrar a evolução do problema e respectivas implicações, para nortear e orientar a tomada de decisão, em relação às condições de abordagem ou definição das opções de ação, através da previsão das consequências da adoção das alternativas de solução. Importante destacar que o técnico deverá sempre justificar a escolha e fundamentar a sua resposta”.

O autor salienta ainda que é desejável conhecimento jurídico para associar as implicações de ordem legal e seus desdobramentos ao caminho adotado pelo cliente, especialmente no que diz respeito à eventual demora na adoção das recomendações propostas pelo consultor. Além disso, como tais prescrições não são únicas, uma vez que são feitas por especialistas que podem possuir visões técnicas distintas e soluções diversificadas para o problema analisado Gomide, Neto e Gullo (2009) destacam que o material produzido e emitido pelo Engenheiro Diagnóstico deve ser denominado de parecer técnico.

Conforme Gomide, Neto e Gullo (2009), superada a fase da investigação, análise e estabelecimento do diagnóstico, (relacionando o efeito à causa e origem), a finalidade da consultoria de Edificação é a de prescrever as soluções para os problemas por meio de reparo, reforço ou substituição do elemento, do componente ou do sistema construtivo, podendo existir outras opções de soluções.

2.1.4 ANALOGIA ENTRE A INFRAESTRUTURA RODOVIÁRIA E A PREDIAL

Assim como para a infraestrutura rodoviária, as construções edilícias também são compostas por diversos sistemas. No caso dos edifícios, os principais sistemas são: estrutural, hidrossanitário, elétrico, automação predial, telefonia, elevadores, entre outros. No caso das rodovias: pavimento, sinalização e dispositivo de segurança, drenagem, entre outros.

Mesmo com suas peculiaridades, ambos os tipos de construção apresentam a necessidade de manutenção para garantia de sua vida útil. As ferramentas de diagnóstico que identificam a necessidade destas manutenções em construções edilícias já são estudadas há algum tempo, apresentando acervo técnico suficiente para a constituição das boas práticas aplicadas a esse tipo de construção.

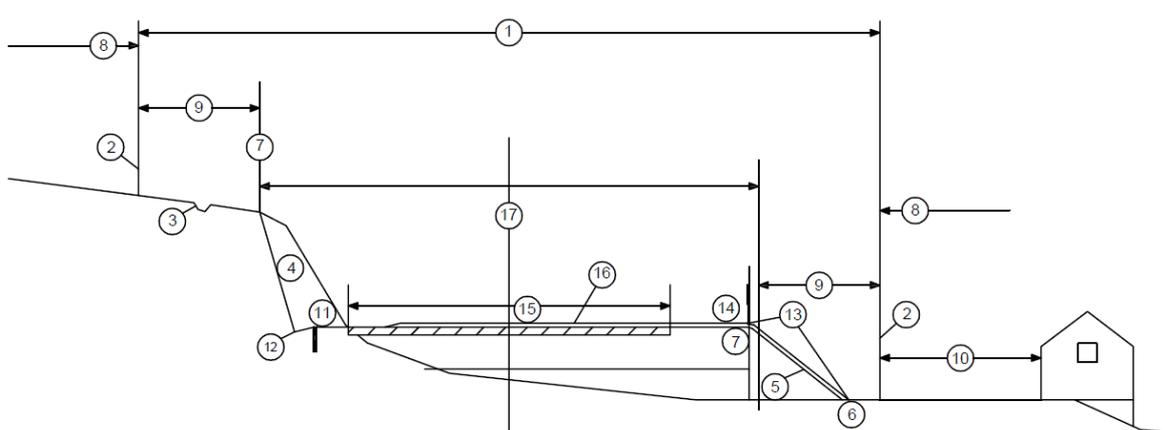
2.2 ASPECTOS LIGADOS À CONSERVAÇÃO RODOVIÁRIA NO BRASIL

2.2.1 A INFRAESTRUTURA E A SUPERESTRUTURA DA RODOVIA

Conforme o Manual Básico de Implantação de Rodovia do DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (2010), “plataforma da rodovia” é a nomenclatura que se aplica ao conjunto da infraestrutura e superestrutura rodoviária. A infraestrutura rodoviária é a parte da construção de uma rodovia constituída pelo terrapleno (terreno resultante da terraplenagem) e todas as obras abaixo do greide do terrapleno. Já a superestrutura da Rodovia compreende a parte constituída pelo pavimento e o terreno de fundação, designado de subleito.

Desta forma, ainda segundo esse Manual do DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (2010), os elementos constituintes da plataforma da rodovia são, basicamente, aqueles mostrados pela Figura 4:

Figura 4- Componentes da plataforma rodoviária



Fonte: Adaptado de DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (2010)

- **Faixa de Domínio (1)** – faixa que se desapropria para construção da estrada.
- **Vedo (2)** – tapume da estrada para protegê-la da invasão de animais.
- **Valeta de proteção de cortes (3)** – valeta construída entre a crista do corte e o limite da faixa de domínio, a fim de desviar enxurradas das encostas para fora da estrada.
- **Rampa de corte (4)** – é a parte fortemente inclinada da seção transversal do corte.
- **Saia do aterro (5)** – é a parte inclinada da seção transversal do aterro.

- **Pé do corte ou do aterro (6)** – é o extremo inferior da rampa do corte, ou saia do aterro.
- **Crista do corte ou do aterro (7)** – Crista do corte é a interseção da rampa do corte com o terreno natural.
- **Terreno marginal (8)** – é o terreno contíguo situado ao longo da faixa de domínio de uma estrada de rodagem.
- **Faixa marginal (9)** – é cada uma das faixas de terreno compreendida entre a crista do corte e o limite da faixa de domínio, no caso da seção em corte, ou entre o pé do aterro e o limite da faixa de domínio, no caso da seção em aterro.
- **Recuo (10)** – é a distância na qual se permitem construções estranhas à estrada, a contar do limite da faixa de domínio.
- **Acostamento (11)** – é a faixa que vai da borda do pavimento até a sarjeta, no caso da seção da estrada em corte, ou a faixa que vai da borda do pavimento até a crista do aterro, no caso da seção em aterro.
- **Sarjeta (12)** – é uma valeta rasa, com seção em V aberto, situada ao pé do corte e destinada a receber as águas pluviais da plataforma e da faixa que vai da valeta de proteção do corte até o pé do mesmo.
- **Banqueta de proteção do aterro (13)** – é um prisma de terra se constrói junto à crista dos aterros.
- **Defensa (14)** – é uma cerca baixa, robusta com moirões de madeira de lei ou de aço, com pranchões ou chapas de aço corrugado dispostos na horizontal, pregados nos moirões do lado interno da estrada.
- **Pista (15)** – é a faixa pavimentada da estrada por onde trafegam os veículos automotores.
- **Plataforma (16)** – é a faixa da estrada compreendida entre os dois pés dos cortes, no caso da seção em corte; de crista a crista do aterro, no caso da seção em aterro; e do pé do corte à crista do aterro, no caso da seção mista. No caso dos cortes, a plataforma compreende também a sarjeta.
- **Faixa terraplenada (17)** – é a faixa correspondente à largura que vai de crista a crista do corte, no caso de seção plena em corte; do pé do aterro ao pé do aterro, no caso de seção plena em aterro; e da crista do corte ao pé do aterro, no caso da seção mista. É a área compreendida entre as linhas de “off-sets”.

2.2.2 MECANISMOS DE VERIFICAÇÃO DA CONSERVAÇÃO RODOVIÁRIA: PRINCIPAIS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

As falhas e anomalias podem ocorrer em diversos elementos que compõem a rodovia, em decorrência do uso e ação do meio ambiente. Rodrigues (2001) enumera sete grupos principais de atividades de manutenção, relacionados no Quadro 1 a seguir:

Quadro 1- Grupos de elementos rodoviários que exigem manutenção

Grupo	Descrição
Pista de rolamento e acostamentos	Trincas tipo couro de jacaré; trincas nas trilhas das rodas; trincas longitudinais nas bordas do pavimento; trincas no eixo do pavimento; trincas de retração térmica; trincas de reflexão; exsudação, escorregamento do revestimento; desagregação ou panelas e desgaste; afundamento; ondulação e corrugação (BERNUCCI et al., 2006).
Drenagem superficial e profunda	Crescimento de vegetação nos dispositivos de drenagem; acúmulo de entulhos e sujeira nas valetas, saídas d'água e sarjetas; ruptura de meios-fios, banquetas, sarjetas e decidas d'água e obstruções nos drenos superficiais e profundos.
Obras de arte correntes	Bueiros obstruídos; desalinhados e insuficientes; bocas de bueiros assoreadas; erosão nas entradas e saídas dos bueiros e alas quebradas ou inexistentes.
Obras de arte especiais	Comprimento insuficiente da obra; guarda-corpos e guarda-rodas danificados; falta de pintura e sinalização; revestimento das pistas danificado; degeneração e deslocamento de fundações; pilares e vigas; deformação, fissuração e trincamento nos elementos estruturais; degeneração dos aparelhos de apoio; deformação e afundamento dos acessos.
Obras de proteção do corpo estradal	Instabilidade; erosão dos aterros e cortes .
Sinalização rodoviária	Desgaste das faixas e placas; retrorrefletividade deficiente; depredação e pichação; visibilidade deficiente.
Obras complementares	Falta de revestimento vegetal; falta de capina e poda; depredação das áreas plantadas; ausência de defensas; ausência de cercas; deterioração de defensas e cercas.

Fonte: Adaptado de RODRIGUES (2001).

2.2.3 O PAPEL DAS AGÊNCIAS REGULADORAS DE TRANSPORTE NA FISCALIZAÇÃO DE RODOVIAS

A Constituição da República Federativa do Brasil de 1998, em seu artigo 21 estabelece que é competência da União explorar, diretamente ou mediante autorização, concessão ou permissão, os serviços de transporte rodoviário interestadual e internacional de passageiros.

O Programa Estadual de Desestatização (PED) foi instituído pelo governo federal do Brasil por meio da Lei nº 8.031/90. Esse programa visava à privatização de empresas estatais de responsabilidade do governo, bem como a concessão de estradas. Nesse mesmo ano, foi instituída a Lei Federal nº 8987, que tratava da concessão de prestação de serviços públicos, de modo que entidades públicas ligadas ao setor de transporte passaram a praticar a privatização de algumas rodovias, a fim de alcançarem maior patamar de qualidade na conservação e ampliação da rede rodoviária. Desse modo, o Governo do Estado de São Paulo viabilizou a concessão à iniciativa privada de algumas rodovias pertencentes ao Departamento de Estradas de Rodagem–DER/SP. Com isso, fez-se necessária a criação de uma agência a fim de regular e fiscalizar todas as atividades delegadas de transporte do Estado. A Lei complementar nº 914 de 2002 do Estado de São Paulo instituiu a criação da Agência Reguladora de Serviços Públicos Delegados de Transporte do Estado de São Paulo – ARTESP. Por meio de editais de concessão criados por esta autarquia de regime especial, foram feitas licitações de concorrência, conforme a Lei Federal nº 8.666, para escolha das empresas concessionárias privadas que seriam responsáveis pela manutenção e ampliação do sistema rodoviário do Estado de São Paulo, remuneradas através da cobrança da tarifa de pedágio. São vários os papéis desempenhados por esta entidade pública: regulação da tarifa de pedágio, fiscalização das condições de sinalização, segurança e operação das rodovias concedidas, entre outros. No início do ano de 2020, a ARTESP contava com 20 lotes rodoviários concessionados, aguardando a conclusão do Rodoanel Norte para a inclusão de mais um lote.

No caso das rodovias concedidas do Estado de São Paulo, a ARTESP apresenta em seus contratos o item “serviços correspondentes às funções de conservação”. Nesse item, são descritos três tipos de conservação/manutenção da malha rodoviária como obrigação contratual por parte das Concessionárias: conservação de rotina; conservação/manutenção especial e conservação/manutenção de emergência. No caso das rodovias não concedidas do Estado de São Paulo, o próprio DER-SP é o responsável pela conservação de sua malha rodoviária.

No que diz respeito às rodovias federais concedidas, a Agência Reguladora de Transportes Terrestres (ANTT) é a autarquia federal brasileira responsável pela regulação dos serviços de exploração rodoviária. Dentre suas atribuições, realiza serviços de fiscalização de cada um dos elementos viários, podendo aplicar sanções às concessionárias que descumprirem os compromissos contratuais. A Resolução nº 4071 da ANTT de 2013, por exemplo, regulamenta as infrações sujeitas às penalidades de advertência e multa por inexecução contratual na exploração da infraestrutura rodoviária federal concedida. As penalidades de multa são classificadas em 5 (cinco) graus (ver Quadro 2 a seguir), com valores de multa crescentes de 1 a 5.

Quadro 2- Principais itens avaliados para aplicação de penalidade

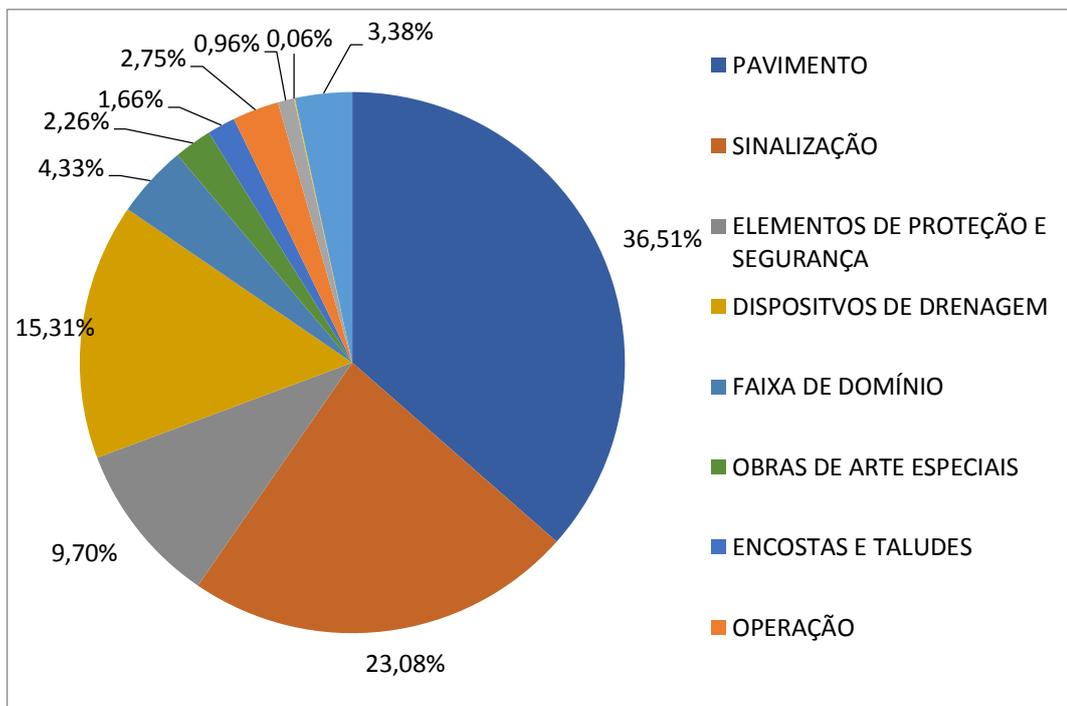
Penalidade	Item
ADVERTÊNCIA	1- deixar selagem em juntas de pavimento rígido ou trincas em desconformidade com o PER, por prazo superior a 72 (setenta e duas) horas, ou conforme prazo diverso previsto no Contrato de Concessão ou no PER ;
	2- deixar de manter marcos quilométricos ou mantê -los em más condições de visibilidade, por prazo superior a 7 (sete) dias, ou conforme prazo diverso previsto no Contrato de Concessão ou no PER;
	3- deixar meios-fios danificados, deteriorados ou ausentes por prazo superior a 72 (setenta e duas) horas, ou conforme prazo diverso previsto no Contrato de Concessão ou no PER
	4- deixar barreira de concreto de Obra-de-Arte Especial - OAE sem pintura por prazo superior a 72 (setenta e duas) horas, ou conforme prazo diverso previsto no Contrato de Concessão ou no PER
	5- deixar armaduras de OAE sem recobrimento por prazo superior a 48 (quarenta e oito horas);
GRUPO 1	6- deixar de repor ou manter tachas, tachões e ba lizadores refletivos danificados ou ausentes no prazo de 72 (setenta e duas) horas
GRUPO 2	7- deixar de corrigir depressões, abaulamentos (escorregamentos de massa asfáltica) ou áreas exsudadas na pista ou no acostamento, no prazo de 72 (setenta e duas) horas, ou conforme previsto no Contrato de Concessão e/ou PER
	8- deixar de corrigir/tapar buracos, painelas na pista ou no acostamento, no prazo de 24 (vinte e quatro) horas, ou conforme previsto no Contrato de Concessão e/ou PER;
	9- deixar de corrigir, no pavimento rígido, defeitos com grau de severidade alto, no prazo de 7 (sete) dias, ou conforme previsto no Contrato de Concessão e/ou PER
	10 -deixar de manter ou manter de forma não visível pelos usuários sinalização (vertical ou aérea) de indicação, de serviços auxiliares ou educativas, por prazo superior a 7 (sete) dias
	11- deixar de manter ou manter sinalização vertical provisória ou a sinalização de obras em desconformidade com as normas técnicas vigentes;
	12 - deixar de manter ou manter de forma não funcional dispositivo anti-ofuscante por prazo superior a 7 (sete) dias, ou conforme previsto no Contrato de Concessão ou no PER;
	13 - deixar com problemas de conservação elemento de OAE, exceto guarda-corpo, por prazo superior a 30 (trinta) dias ou conforme Contrato de Concessão e/ou PER;
	14 - deixar de reparar, limpar ou desobstruir sistema de drenagem e Obra-de-Arte Corrente-OAC por prazo superior a 72 (setenta e duas) horas, ou conforme previsto no Contrato de Concessão ou no PER
	14 - deixar de adotar providências para solucionar, ainda que de modo provisório, processo erosivo ou condição de instabilidade em talude, por prazo superior a 72 (setenta e duas) horas, ou deixar de implementar solução definitiva no prazo estabelecido pela ANTT;

Penalidade	Item
GRUPO 3	15 - liberar ao tráfego trecho de via com sinalização horizontal provisória ou definitiva em desconformidade com as normas técnicas vigentes
	16 - deixar de recompor barreira rígida ou defesa metálica danificada no prazo de 48 horas;
	17 - deixar de manter elemento de proteção e segurança ou mantê-lo em condição que comprometa sua funcionalidade;
GRUPO 4	18 -deixar ausente ou manter danificado dispositivo anti-ofuscante em segmento sob passarela, desde que essa obrigação tenha sido prevista no Contrato de Concessão ou PER;
	19 -permitir a ocorrência de áreas afetadas por trincas interligadas, conforme Contrato de Concessão e o previsto no PER
GRUPO 5	20 -deixar de manter ou manter sinalização vertical de regulamentação em desconformidade com as normas técnicas vigentes, por prazo superior ao previsto no Contrato de Concessão ou no PER;

Fonte: Adaptado de AGÊNCIA REGULADORA DE TRANSPORTES TERRESTRES (2013)

Como resultado da fiscalização desses elementos viários em rodovias concedidas no âmbito nacional, a Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT) apresenta, por exemplo, o número de Termo de Registro de Ocorrência, que são avisos de inadequações nos elementos rodoviários com prazo de correção previsto em dispositivo regulatório. O gráfico da Figura 5 denota a porcentagem de participação desse tipo de ocorrência em cada elemento constituinte das rodovias federais concedidas em relação ao número total de Termo de Registro de Ocorrência emitidos no ano de 2017.

Figura 5- Termo de Registro de Ocorrência ANTT- 2017



Fonte: Adaptado de AGÊNCIA REGULADORA DE TRANSPORTES TERRESTRES (2017)

2.3 MÉTODOS DE ANÁLISE DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

2.3.1 PRINCIPAIS MÉTODOS DE ANÁLISE DE FALHAS POTENCIAIS

De acordo com Laurenti (2010), os métodos de análise de falhas potenciais são oriundos do segmento de fabricação de produtos, tais como o da indústria automobilística. Segundo o autor, o desafio destas empresas é o de prever a maior quantidade de falhas potenciais nos estágios iniciais do processo de desenvolvimento de produtos. Adotar uma abordagem proativa de antecipação de falhas pode diminuir a quantidade de alterações de projeto e de testes em protótipo para avaliação e validação, necessários para o desenvolvimento do produto (LAURENTI, 2010).

Vários métodos e ferramentas podem ser utilizados no Processo de Desenvolvimento de Produto para antecipar falhas no projeto do produto e de seu processo de fabricação. O método mais utilizado na indústria é o FMEA.

2.3.1.1 FMEA (Análise do Modo e Efeitos de Falha)

A sigla FMEA é a abreviação para Failure Mode and Effects Analysis (Análise do Modo e Efeitos de Falha). Trata-se de um método de engenharia usado para definir, identificar e eliminar falhas conhecidas ou potenciais de um projeto de produto e/ou de seu processo de fabricação antes que elas cheguem ao cliente. Isto é feito em uma sessão de FMEA, por meio da qual são reunidas pessoas de diferentes áreas da empresa, com conhecimentos técnicos variados, para se determinar, de modo sistemático, todos os possíveis modos de falha potencial, os efeitos e as causas de cada modo de falha sobre o desempenho do produto, avaliar os riscos e especificar ações de melhoria (LAURENTI, 2010).

Um pequeno grupo, conhecido como time (ou equipe) de FMEA, formado por especialistas de diferentes disciplinas do ciclo de vida do produto, executa o FMEA em um ou mais sessões. Em uma sessão de FMEA o fluxo de trabalho é orientado por um formulário padrão. Nesses formulários, usualmente, a primeira coluna é reservada à descrição dos componentes do produto ou operações de fabricação e suas funções. As próximas colunas dizem respeito à identificação de modos de falha, seus efeitos e causas. Em seguida, realiza-se a avaliação dos riscos (severidade do efeito, probabilidade de ocorrência e detecção da causa ou de seu modo). As últimas colunas são reservadas para a proposição de ações de redução de risco e registro dos resultados. Cabe salientar que um componente pode ter uma ou mais funções e normalmente vários modos de falha, que, por sua vez, podem possuir diversos efeitos e causas (LAURENTI, 2010).

O processo de aplicação de FMEA se inicia com a identificação dos modos de falha, que pode ser feita por: estatísticas de falhas, experiência dos participantes da sessão de FMEA, checklists, brainstorming e análise sistemática de árvores de falhas, por exemplo. Em seguida, o passo seguinte é determinar os efeitos e causas dos modos de falha e avaliar os riscos. Avaliam-se a severidade do efeito da falha (índice S), a probabilidade de ocorrência da causa da falha (índice O) e a probabilidade de detecção da causa da falha ou de seu modo (índice D). Ver a definição destes índices e de seus respectivos valores no Quadro 3.

Quadro 3- Valores dos índices de ocorrência, severidade e detecção

ÍNDICE	OCORRÊNCIA		SEVERIDADE	DETECÇÃO
	Frequência Relativa	Descrição		
1	Menor que 1 em 500.000	Excepcional	Falha de menor importância e efeitos quase despercebidos	Muito alta probabilidade de detecção,
2	1 em 50.000 a 1 em 500.000	Muito poucas vezes	Provoca redução de performance do produto. Usuário perceberá falha e não ficará insatisfeito.	Alta probabilidade de detecção.
3	1 em 5.000 a 1 em 50.000	Poucas vezes	Provoca redução de performance do produto. Usuário perceberá falha e não ficará insatisfeito.	Alta probabilidade de detecção.
4	1 em 1.000 a 1 em 5.000	Ocasional	Produto sofrerá degradação progressiva. Usuário perceberá a falha e ficará insatisfeito.	Moderada probabilidade de detecção.
5	1 em 200 a 1 em 1.000	Ocasional	Produto sofrerá degradação progressiva. Usuário perceberá a falha e ficará insatisfeito.	Moderada probabilidade de detecção.
6	1 em 50 a 1 em 200	Ocasional	Produto sofrerá degradação progressiva. Usuário perceberá a falha e ficará insatisfeito.	Moderada probabilidade de detecção.

ÍNDICE	OCORRÊNCIA		SEVERIDADE	DETECÇÃO
	Frequência Relativa	Descrição		
7	1 em 15 a 1 em 200	Frequente	Produto não desempenha sua função. Usuário perceberá a falha e ficará muito insatisfeito.	Pequena probabilidade de detecção.
8	1 em 5 a 1 em 15	Frequente	Produto não desempenha sua função. Usuário perceberá a falha e ficará muito insatisfeito.	Pequena probabilidade de detecção.
9	1 em 2 a 1 em 5	Inevitável	Problemas são catastróficos e podem gerar danos. Usuário muito insatisfeito.	Muito pequena probabilidade de detecção.
10	Maior ou igual a 1 em 2	Inevitável	Problemas são catastróficos e podem gerar danos. Usuário muito insatisfeito.	Muito remota probabilidade de detecção.

Fonte: Adaptado de Helman e Andery (1995)

Ao se avaliar a severidade, por exemplo, se a falha gera perigo a pessoas, o índice de severidade recebe um valor alto. Já se a falha apenas diminui o conforto do usuário, recebe um valor baixo. A avaliação da ocorrência diz respeito a uma falha hipotética (potencial) ou que já vem ocorrendo in loco. O índice D diz respeito ao sucesso na detecção da causa da falha ou de seu modo. Quanto mais difícil se detectar uma falha, maior é o valor desse índice. A multiplicação dos três índices (S x O x D) resulta no índice de risco (RPN – Risk Priority Number) (LAURENTI, 2010). Os valores de S, O e D são atribuídos de 0 a 10.

Os resultados das sessões de FMEA são registrados no formulário (conforme o Quadro 4), o qual sempre deve ser revisado e atualizado.

Quadro 4- Formulário para aplicação do Método FMEA

FMEA															
<input type="checkbox"/> FMEA DO PRODUTO <input type="checkbox"/> Sistema <input type="checkbox"/> Sub-sistema <input type="checkbox"/> Sistema		<input type="checkbox"/> FMEA de Processo		Responsável Projeto				Responsável FMEA				FMEA nº			
Preparado por:				Data:				Aprovado por:				Data:			
Membros do Time						Nome do produto				Código					
Item/Função	Modos de falha potencial	Severidade do Efeito da Falha	S	Causas potenciais	Controle atual de projeto				RPN	Ações recomendadas	Responsáveis e data alvo de finalização	Resultado das ações			
					Probabilidade de Ocorrência	O	Detecção	D				Ações implementadas	S	O	D
A	B	C		D	E					F		G			

A - FMEA de projeto: nome do componente e sua função/ FMEA de processo: nome da operação e sua função

B – Busca por todos os possíveis/potenciais modos de falha

C – Busca por todos os possíveis/potenciais efeitos de falha

D – Busca por todas as possíveis/potenciais causas de falha

E – Definição/determinação de todos os controles existentes

F – Proposição de soluções e ações de redução de risco

G- Registro e avaliação dos resultados

Fonte: Adaptado de LAURENTI (2010)

2.3.1.2 FTA (Fault Tree Analysis)

A Análise da Árvore de Falhas (FTA – Fault Tree Analysis) é um procedimento estruturado a fim de identificar as causas externas e internas, que, quando ocorrem em combinação podem levar o produto a um estado, geralmente, de falha. Uma árvore de falha é uma representação gráfica de relações lógicas entre eventos de falhas. Utilizando-se de símbolos lógicos padronizados (normalmente encontrados em fluxogramas para representar uma sequência de eventos, conforme o Quadro 5), o FTA fornece resultados que promovem um melhor entendimento de causas que podem levar a um modo de falha. O FTA se inicia com um evento topo e procede por todas as causas conhecidas e possíveis que podem conduzir à ocorrência do evento topo (LAURENTI, 2010).

Quadro 5- Símbolos lógicos utilizados pelo Método FTA

SÍMBOLO	DESCRIÇÃO
	Descreve eventos (falhas)
	Representa uma falha de saída se todas as entradas existirem ao mesmo tempo
	Representa uma falha de saída se existir qualquer uma das falhas
	Descreve uma causa raiz potencial que não pode ser dividida (este é o nível mais baixo de abstração)
	Descreve uma falha que não pode ser corrigida pela equipe

Fonte: Adaptado de LAURENTI (2010)

A fim de se caracterizar o comportamento da falha de um sistema e/ou de elementos do sistema juntamente com suas conexões, o evento indesejado do sistema (evento topo - TOP) é inicialmente definido. No passo seguinte, são analisadas possíveis falhas do próximo nível inferior do sistema e como elas poderiam ser conectadas com a falha superior. Esse processo é repetido até o nível mais baixo do sistema ser atingido. São utilizados os

padrões lógicos de conexão, de modo a unir o evento principal às causas (LAURENTI, 2010).

2.3.2 PRINCIPAIS MÉTODOS DE ANÁLISE MULTICRITÉRIO

De acordo com Triantaphyllou (2002, apud VARGAS, 2010), um dos principais desafios das organizações está na sua capacidade de fazer escolhas certas e consistentes, de modo alinhado com seu direcionamento estratégico. Segundo o autor, é muito provável que um dos maiores desafios intelectuais da ciência e tecnologia seja representado pelo questionamento de como tomar decisões certas, dada uma situação específica. Vargas (2010) afirma que, devido à dinâmica do ambiente que se muda rapidamente, a tarefa de se fazer as escolhas certas, com base em critérios adequados e alinhados, torna-se um fator crítico de sucesso ou até mesmo de sobrevivência organizacional.

Antes de serem apresentados os métodos de análise multicritério, há de se conceituar sucintamente os seguintes axiomas (premissas que se admitem como universalmente verdadeiras): a teoria da utilidade, a transitividade e a ordenação. A Teoria da Utilidade se refere àquilo que se quer. O tomador de decisão tem uma preferência e construirá um modelo matemático que o auxilie a organizar as informações, de modo que representem aquilo que ele quer. A Transitividade é um axioma que diz que: se $P > Q$ e $Q \sim R$ $\rightarrow P > R$, ou seja, se P é preferível a Q e Q é, pelo menos, tão desejável quanto R , então P é preferível a R . Já as estruturas de preferência que são propostas pelos axiomas dos métodos de ordenação, também conhecidos como p_γ , não requerem as assunções da teoria da utilidade, ou seja, o cálculo da relação de ordem (matriz de ordem) é essencial para representar as preferências das alternativas neste tipo de abordagem (BERZINS, 2009).

Segundo Salomon et al. (1999), existem diversos Métodos Multicritérios de Apoio à Decisão (MMAD). Alguns permitem apenas a ordenação das alternativas, tais como o Método ELECTRE (Elimination and Choice Translating Reality), ao passo que outros métodos apresentam, além da ordenação, o desempenho global das alternativas em função da totalidade dos critérios considerados, tais como o método AHP (Analytic Hierarchy Process).

De acordo com Gomes (2006, apud BERZINS, 2009), os métodos de análise multicritério são divididos em duas escolas, a francesa e a americana. A escola francesa (na qual estão inseridos os métodos das famílias ELECTRE e PROMÈTHÉE) permite a incomparabilidade e não faz o uso da propriedade da transitividade. Desse modo, os modelos são mais flexíveis, com base em modelagem de preferência, e não utilizam estrutura hierárquica; a escola americana (em que estão inseridos os métodos AHP e

MAUT), por sua vez, não admite a incomparabilidade, ou seja, não admite que duas alternativas sejam incomparáveis, fazendo uso da transitividade. O Quadro 6 abaixo apresenta os principais métodos de análise multicritério.

Quadro 6- Métodos de Análise Multicritério

MÉTODO MULTICRITÉRIO	DESCRIÇÃO
Electre	A base do método é o conceito de superação: "existência de razões claras e positivas que justificam seja uma preferência, seja uma presunção de preferência em favor de uma das duas ações, mas sem que se estabeleça nenhuma separação significativa entre as situações de preferência forte, de preferência fraca e de indiferença".
Promèthèe	O Método PRÓMÉTHÉE admite a incomparabilidade, já os Métodos PRÓMÉTHÉE II e PRÓMÉTHÉE IV não aceitam a incomparabilidade, mas podem ser utilizados para um número infinito de alternativas. O Método PRÓMÉTHÉE III fornece a ordenação por intervalos.
Maut	Assume que todos os critérios podem ser agregados em um único valor chamado utilidade. O método utiliza a transitividade e não permite o emprego da incomparabilidade entre as alternativas. É utilizado para solucionar problemas de multicritérios com alternativas discretas, isto é, contenham um número limitado de alternativas e para problemas de otimização de multicritério.
Todim	O método não decide pela solução de valor máximo, mas sim por uma medida global de valor calculável, em que testa funções de perdas e ganhos a fim de construir uma função de diferença aditiva e fornecer medidas de dominância. É utilizado para ordenação de alternativa, permitindo a utilização da escala verbal na comparação binária.
Macbeth	É aplicado por meio de um software de interface amigável que permite a interação entre os agentes e os analistas da decisão. Tal método usa uma escala nominal predefinida, mas que possui maleabilidade. Além disso, esse método se propõe a resolver problemas de seleção e ordenação.
AHP	Ao se conhecer os elementos a serem medidos, cria-se uma escala de prioridades que deriva da comparação entre pares, ou comparação paritária. Este método é muito útil quando a decisão em multicritérios envolve benefícios, oportunidades, custos e riscos.

Fonte: Adaptado de BERZINS (2009)

2.3.2.1 AHP (Processo de Análise Hierárquica)

O método AHP se baseia na análise hierárquica dos dados, desenvolvido na década de 1970 por Thomas L. Saaty, sendo um dos primeiros métodos para tomada de decisão multicritério, considerando critérios quantitativos e qualitativos (SAATY, 2005 apud BERZINS, 2009). Segundo o autor, este método foi desenvolvido a partir da necessidade de se obter uma solução para o problema específico de planejamento de contingência. Seu uso possibilita a estruturação hierárquica, de modo que o objetivo principal a ser alcançado está relacionado com os critérios, subcritérios e alternativas. A partir daí são realizadas as comparações paritárias entre os vários elementos da hierarquia até se alcançar uma medida para cada alternativa.

O AHP se baseia em quatro axiomas (SAATY, 2005 apud BERZINS, 2009):

- Reciprocidade: a comparação entre dois elementos são feitas apenas uma vez, ou seja, se P pesa o dobro de Q, então Q pesará a metade do P;

$a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}} \rightarrow$ A comparação do atributo i em relação ao atributo j do critério "a" terá o valor inverso na comparação do atributo j com o atributo i, em relação ao mesmo critério;

$a_{ii} = 1 \rightarrow$ A comparação de um atributo com ele mesmo é igual a 1.

- Elementos homogêneos: essenciais na comparação e na utilização da escala fundamental;
- Estrutura hierárquica: No primeiro nível há critérios políticos ou estratégicos, que se expandem em subcritérios mais específicos até alcançar o critério terminal ou indicador de comportamento, formando uma árvore de decisão.
- Ordenação das expectativas, isto é, um problema p_γ , ou seja, que não requer a assunção da teoria da utilidade.

As etapas para a aplicação do método AHP são as seguintes (BERZINS, 2009), conforme o Quadro 7 a seguir.

Quadro 7- Etapas de aplicação do Processo de Análise Hierárquica (AHP)

ETAPA	DESCRIÇÃO
1	Organizar a hierarquia da decisão: a hierarquia ou árvore de decisão terá no seu topo o objetivo geral. Logo abaixo, terá os atributos (ou critérios) associados com o problema a ser resolvido. Tais atributos (ou critérios) podem ser subdivididos em subcritérios, no nível abaixo.
2	Realizar comparações par a par dos atributos e das alternativas (também conhecida como comparação paritária). Tal etapa é utilizada para determinar a importância relativa dos atributos e também para comparar quão preferível uma opção se destaca das demais. Vale destacar que, já que a comparação é entre pares, caso existam 4 critérios, sendo A, B, C e D, é necessário fazer a comparação de A com B, A com C, A com D, B com C, B com D e, finalmente, C com D. Não é necessário comparar B com A, por exemplo, uma vez que a metodologia utiliza julgamentos recíprocos.
3	As comparações serão transformadas em pesos (valores normalizados) e é preciso checar a consistência (razão da consistência) das comparações do tomador de decisão.
4	Utilizar os valores normalizados (pesos recebidos nas comparações) para obter pontos para as diferentes opiniões e tomar a decisão provisória.
5	Realizar uma análise de sensibilidade.

Fonte: Adaptado de BERZINS(2009)

Saaty sugere que a comparação entre pares seja realizada utilizando respostas verbais, por meio da escala fundamental, que foi criada por ele mesmo:

“As pessoas acham que é necessário uma escala física, com um zero e uma unidade fixa para medir objetos ou fenômenos. Isso não é verdade. Nós podemos confiar em escalas relativas que são muito precisas sem necessariamente ter um zero ou uma unidade, ao utilizar o nosso próprio conhecimento e julgamento que é, acima de tudo, o porquê queremos medir alguma coisa. No dia a dia fazemos isso o tempo todo, e fazemos inconscientemente, sem refletirmos sobre isso. Escalas físicas auxiliam nosso entendimento e utilidade para as coisas que sabemos como medir. Depois de medir alguma coisa com a escala física, ainda precisamos interpretar o seu significado e quão adequado ou inadequado este número é para satisfazer uma necessidade. Contudo, o número de coisas que não sabemos como medir é infinitamente maior do que as coisas que sabemos como medir, e é bastante improvável que iremos encontrar uma escala física com uma unidade fixa para medir tudo o que precisamos.” (SAATY, 2005, p. 1 apud BERZINS, 2009).

A Escala Fundamental (ver Quadro 8), própria ao método AHP para a comparação paritária, determina quantas vezes “mais dominante” um elemento é em relação ao outro, em relação a um mesmo critério. Esta escala funciona similar à proporção, contudo sem ter uma unidade própria ou um zero absoluto. Ela é utilizada para representar um julgamento. Na falta de uma escala existente e aceitável cujos valores possam ser utilizados para efetuar as comparações, estes números são inseridos em uma matriz recíproca. Esta metodologia leva a comparação de objetivos segundo a sua dominância relativa em relação a um atributo dado (BERZINS, 2009). Trata-se de uma escala de 1 a 9, sendo as leituras interpretadas como a contribuição que os dois elementos em comparação dão ao objetivo ou critério imediatamente acima, variando de 1 até 9, com os números 2, 4, 6, 8 representando graus de importância intermediários, e o símbolo > indicando o sentido crescente (BAGNASCHI, 2012).

Quadro 8- Escala numérica e verbal criada por Saaty

PONDERAÇÃO	VALOR NORMATIVO	DESCRIÇÃO
1	Igual importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância pequena de uma sobre a outra	A experiência e o juízo favorecem uma atividade em relação à outra.
5	Importância grande ou essencial	A experiência ou o juízo favorece fortemente uma atividade em relação à outra.
7	Importância muito grande ou demonstrada	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra. Pode ser demonstrada na prática.
9	Importância absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação à outra, com o mais alto grau de segurança.
2,4,6,8	Valores intermediários	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições.

Fonte: Adaptado de GOMES (2004, p. 48 apud BERZINS, 2009).

Após o preenchimento de todas as tabelas, a AHP as converte em um conjunto de pesos, em que são automaticamente normalizados à soma de 1. O peso de cada elemento é denominado por Saaty de prioridade. Tal conversão pode ser feita por diversos tipos de métodos, mas o AHP usa a abordagem matemática baseada em autovetor (SAATY, 2005 apud BERZINS, 2009).

Normalmente, devido à complexidade dos cálculos, são utilizados softwares que possibilitam a aplicação do AHP. Porém, para elucidar melhor a explicação, apresenta-se, com base na Tabela 1, um exemplo básico com o passo-a-passo da aplicação do método (SAATY, 2005 apud BERZINS, 2009).

Tabela 1- Exemplo de matriz de comparação paritária do Método AHP

Comparação de Políticos	B. CLINTON	M.THATCHER	G. BUSH	RESULTADOS NORMALIZAÇÃO		
B. CLINTON	1	3	7	1/1,48 = 0,67	0,71	0,54
M.THATCHER	1/3	1	5	(1/3)/1,48 = 0,23	0,24	0,38
G. BUSH	1/7	1/5	1	(1/7)/1,48 = 0,10	0,05	0,08
TOTAL (SOMA)	1,48	4,20	13,00	1,00	1,000	1,000

Fonte: Adaptado de SAATY (2005 apud BERZINS, 2009)

- Devido ao axioma da reciprocidade, um elemento comparado com ele mesmo é igual a 1, tal como pode ser observado na diagonal da tabela.
- O axioma da reciprocidade se aplica de igual modo às células de comparações entre os mesmos pares: Se B. Clinton tem preferência “3” em comparação com M. Thatcher, então M. Thatcher tem preferência 1/3 em relação a B. Clinton.
- Para se encontrar a prioridade de B. Clinton em relação aos outros políticos, deve-se:

- i) Somar todas as preferências de B. Clinton:

$$1 + \frac{1}{3} + \frac{1}{7} = 1,48$$

- ii) Dividir o valor da tabela inicial pelo resultado da soma:

$$\frac{1}{1,48} = 0,68$$

- iii) Repetir o mesmo procedimento para os demais políticos.
- iv) A soma das prioridades dos três políticos (valores da coluna) deve ser 1, ou próxima a 1, devido ao arredondamento.

$$0,68 + 0,24 + 0,08 = 1,00$$

- v) Em TOTAL, o maior valor é igual a 1 (ou 100%), e os demais são a proporção em relação ao maior valor.

- Se B. Clinton é igual a 1, então:
- M. Thatcher:

$$\frac{0,24}{0,68} = 0,35$$

- G. Bush:

$$\frac{0,08}{0,68} = 0,11$$

- vi) O próximo passo é medir a inconsistência do julgamento do tomador de decisão.

Primeiramente, para se medir a contribuição de cada critério para escolha do político, é calculado o vetor de prioridade ou vetor de Eigen. O vetor de Eigen apresenta os pesos relativos entre os critérios e é obtido de modo aproximado por meio da média aritmética dos valores de cada um dos critérios, ou seja, para o caso de B. Clinton, M. Thatcher e G. Bush seria calculado como:

$$\lambda_{Eigen,B.Clinton} = (0,67 + 0,71 + 0,54)/3 = 0,64$$

$$\lambda_{Eigen,M.Thatcher} = (0,23 + 0,24 + 0,39)/3 = 0,29$$

$$\lambda_{Eigen,G.Bush} = (0,10 + 0,05 + 0,08)/3 = 0,08$$

Assim, o autovetor máximo ($\lambda_{m\acute{a}x}$) é dado pelo somatório do produto de cada elemento do vetor de Eigen pelo total da respectiva coluna da matriz comparativa original, tal como abaixo (VARGAS, 2010):

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 0,64 * 1,48 + 0,29 * 4,20 + 0,08 * 13 = 3,21$$

O Índice de Consistência (CI) é o resultado do autovetor máximo ($\lambda_{m\acute{a}x}$) pelo número de elementos considerados na matriz (n) e dividido pela subtração n menos 1, conforme a Equação 1 (SAATY, 2005 apud BERZINS, 2009):

$$CI = \frac{\lambda_{m\acute{a}x} - n}{n - 1} \quad \text{Equação 1}$$

Logo, para o exemplo, o valor de CI seria dado por:

$$CI = \frac{3,21 - 3}{3 - 1} = 0,10$$

Visando verificar se o valor encontrado do Índice de Consistência é adequado, Saaty propôs o que foi denominado de Taxa de Consistência (CR). Ela é determinada pela razão entre o valor do Índice de Consistência (CI) e o Índice Randômico (IR), conforme a Equação 2 (SAATY, 2005 apud VARGAS, 2010):

$$CR = \frac{CI}{IR} \quad \text{Equação 2}$$

O Índice Randômico (IR) varia conforme o número de elementos na matriz (n), de acordo com o Quadro 9:

Quadro 9- Valores do Índice Randômico para matriz com n elementos.

Ordem da Matriz	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
IR	0	0	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49	1,52	1,54	1,56	1,58	1,59

Fonte: Adaptado de SAATY (2005 apud BERZINS, 2009)

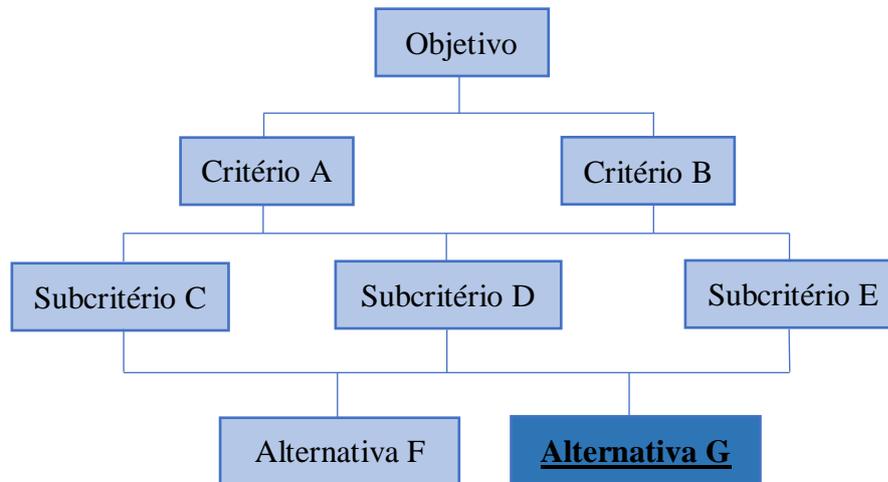
Saaty sugere que a Taxa de Consistência (CR) seja menor do que 0,1, ou seja, $CR < 10\%$. No entanto, Saaty reforça que minimizar a inconsistência não deve ser o objetivo principal da análise, uma vez que um conjunto de julgamentos errôneos sobre importância e preferência pode levar a uma consistência perfeita, porém não irá levar à melhor decisão (SAATY, 2005 apud BERZINS, 2009). Para o exemplo, a Taxa de Consistência (CR) seria:

$$CR = \frac{0,10}{0,52} = 0,19$$

Se a Taxa de Consistência (CR) ultrapassar o valor sugerido com máximo, devem-se encontrar os julgamentos “mais inconsistentes” da matriz e solicitar ao tomador de decisão para julgar estes itens novamente. Caso ele não queira trocar o julgamento deste item apontado, deve-se solicitar que ele modifique o julgamento da segunda maior inconsistência e assim por diante. Caso a Taxa de Consistência (CR) ainda não chegue a um nível aceitável, deve-se deixar este critério para ser julgado posteriormente, quando existir um maior entendimento sobre este problema (BERZINS, 2009).

Quanto à ordenação, esta é baseada na pontuação final das alternativas. Todos os caminhos do topo da árvore até a decisão final são percorridos. Desta forma, são visualizados todos os cursos de ação possíveis para uma determinada alternativa. Todas as prioridades em cada atributo já foram calculadas pelo método por meio da comparação paritária, realizada pelo tomador de decisão. Todas as prioridades de cada possível curso de ação para uma determinada alternativa serão multiplicados. A soma do resultado de todos os cursos de ação de uma determinada alternativa determinará a ordenação final das alternativas, conforme a Figura 6 a seguir.

Figura 6- Hierarquia Analítica com destaque do curso da alternativa G.



Fonte: Adaptado de BERZINS (2009)

Pontuação da Alternativa G:

Curso da Ação 1 \rightarrow (Prioridade de A x Prioridade de C x Prioridade de G)

Curso da Ação 2 \rightarrow + (Prioridade de A x Prioridade de D x Prioridade de G)

Curso da Ação 3 \rightarrow + (Prioridade de A x Prioridade de E x Prioridade de G)

Curso da Ação 4 \rightarrow + (Prioridade de B x Prioridade de C x Prioridade de G)

Curso da Ação 5 \rightarrow + (Prioridade de B x Prioridade de D x Prioridade de G)

Curso da Ação 6 \rightarrow + (Prioridade de B x Prioridade de E x Prioridade de G)

Assim, é realizada a pontuação de todas as alternativas, de modo a ordená-las ao final.

Quanto à análise de sensibilidade, esta é utilizada para examinar quão robusta a escolha de uma alternativa é em relação a mudanças na maneira como foi realizada a análise. Muitos desses julgamentos são áspers e rápidos e o tomador de decisão deverá se assegurar sobre quais julgamentos inserir (BERZINS, 2009).

De acordo com Goodwin e Wright (2000 apud BERZINS, 2009), existem algumas vantagens e desvantagens do uso do AHP. Dentre as vantagens, vale destacar: estruturação formal do problema; simplicidade na comparação entre pares; redundância (que permite checar a consistência), versatilidade (permite julgamento de importância e preferência, mas também da semelhança entre eventos) e possibilidade de aplicação da AHP quando a decisão é tomada em grupo. Dentre as desvantagens, vale destacar: conversão da escala verbal para escala numérica (dizer que A é fracamente mais importante que B pelo AHP será assumido automaticamente que o tomador de decisão considera A três

vezes mais importante que B, mas talvez não seja o caso); inconsistência imposta na escala de 1 a 9; o fato de que novas alternativas podem reverter o ordenamento das alternativas já existentes e, por último, o número de comparações necessárias pode ser muito grande (GOODWIN; WRIGHT, 2000 apud BERZINS, 2009).

Diante do exposto, deve-se atentar para o fato de que o propósito de um método de auxílio à decisão é o de trazer visões e entendimento de um problema, mas não é o de prescrever a solução correta. O processo de estruturação do problema exigido pelo AHP é muito mais útil ao tomador de decisão que o dado final gerado pelo próprio método, pois gera uma tradução acurada do julgamento do tomador de decisão (GOODWIN; WRIGHT, 2000 apud BERZINS, 2009).

2.4 PESQUISAS RELACIONADAS À ANÁLISE DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NA INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE RODOVIÁRIO

2.4.1 ANÁLISE DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM PAVIMENTO POR MEIO DO AHP

De acordo com Moazami et al. (2011), devido à existência de limitados orçamentos destinados a operações de manutenção em pavimentos, esses pesquisadores verificaram a necessidade do desenvolvimento de um programa de priorização compreensivo para escolher as seções rodoviárias com preferência de manutenção, a fim de satisfazer as necessidades ligadas à área de pavimentos. Desta forma, eles elaboraram um estudo com a abordagem da classificação por meio de um método denominado Analytic Hierachy Process (AHP), ou Processo de Análise Hierárquica, realizando a priorização da manutenção com auxílio de modelagem e levando em conta critérios importantes ao pavimento, tais como: índice de condição do pavimento (PCI), volume de tráfego (VDM), tipo de via, bem como seus subcritérios. Comparações paritárias entre critérios e subcritérios foram obtidas pela percepção de especialistas em Sistemas de Gerenciamento de Pavimentos, frente à importância de fatores quanto à prioridade de manutenção. Moazami et al. (2001) utilizaram os softwares MATLAB e Expert Choice para auxílio no cálculo de pesos relativos de critérios, subcritérios e de taxas de consistência para cada matriz de comparação paritária. Com isso, os autores conseguiram desenvolver um modo sistemático de calcular o índice de prioridade de manutenção de cada seção de pavimento, com base nas condições existentes (índice de condição do pavimento–PCI; volume de tráfego –VDM e tipo de via).

Segundo Moazami et al. (2011), a abordagem de classificação segundo o Processo de Hierarquia Analítica (AHP) é um dos mais efetivos e populares métodos no processo de tomada de decisão, especialmente quando o número de alternativas é elevado. Em seus estudos, esses pesquisadores consideraram a comparação paritária realizada por 200 especialistas em sistemas de manutenção de pavimentos.

A classificação feita para o índice de condição do pavimento (PCI) na pesquisa de Moazami et al. (2011) foi: Excelente (86-100), Muito Bom (71-85), Bom (56-70), Regular (41-55), Pobre (26-40), Muito Pobre (11-25) e Falido (0-10). A classificação do volume de tráfego (VDM) foi feita em carro de passageiro por hora por direção (cp/h): Volume Baixo (<433 cp/h), volume médio (entre 433 cp/h e 2660 cp/h), Volume Elevado (entre 2660cp/h e 6200 cp/h) e demais (> 6200 cp/h). Já o tipo de via foi subdividido em: via expressa, arterial e acesso.

O nível 1 da hierarquia compreende o alvo, ou seja, o objetivo de aplicação do método e o nível 2, todos os critérios que podem ser especificados, os quais incluem Índice de Condições do Pavimento (PCI), Volume de Tráfego (VDM) e Tipo de Via. Para cada tipo de critério, foram especificados subcritérios no nível 3. Todos os critérios e subcritérios no AHP na pesquisa foram feitos por meio de comparação paritária, contando com o preenchimento de questionários por 200 especialistas, conforme a escala numérica proposta por Saaty (MOAZAMI et al., 2011).

Para o estudo de Moazami et al. (2011), o julgamento final do grupo indicou que a importância do critério PCI sobre o VDM foi de 5 (fortemente preferido). De igual modo, a importância do critério PCI sobre o tipo de via apresentou a mesma preferência de 5. Já para a importância do critério VDM sobre tipo de via foi de 2 (preferência entre igual e moderada). As Taxas de Consistência (CR) obtidas após a aplicação do método AHP foram: 0,05 (critérios), 0,12 (subcritérios de PCI), 0,08 (subcritérios de VDM) e 0,10 (subcritérios de Tipo de Via). Esses autores concluíram que usando os índices de prioridade de manutenção encontrados no estudo, gestores de rodovia seriam capazes de priorizar a manutenção de seções rodoviárias distintas, baseados em suas condições.

De acordo com Parkasan et al. (2015), O valor do peso atribuído à prioridade de manutenção no pavimento para uma determinada seção é dado pela Equação 3:

$$IP = \sum_{i=1}^n \left\{ \frac{P_i}{P_{i,máx}} \times F_i \right\} \quad \text{Equação 3}$$

Em que:

IP – Índice de Prioridade (manutenção em pavimento)

i – item que está sendo avaliado no nível 1 (no caso variando de 1 a 8);

P_i – peso atribuído para o subitem do nível 2, para cada item i , em cada seção;

$P_{i,máx}$ – peso máximo atribuído ao subitem no nível 2, respectivo ao item i analisado;

F_i – peso atribuído ao item no nível 1

A fim de colocar em prática os resultados da análise AHP para priorização de manutenção em pavimentos asfálticos, Moazami et al. (2011) compararam 131 seções diferentes de pavimento em uma via localizada no município de Teerã, no Irã. Para simplificar esta aplicação, esses pesquisadores demonstraram a comparação para duas seções diferentes, traçando a ordem de prioridade na manutenção do pavimento. A primeira seção, a qual os pesquisadores denominaram de ramo 5 – seção 17, apresentava PCI igual a 3 (falho), volume de tráfego de 2135 cp/h (volume médio) e via do tipo arterial. A segunda seção, denominada pelos autores de ramo 7 – seção 3, apresentava PCI de 57 (muito bom), volume de tráfego (VDM) de 15953 cp/h (outros) e tipo de via arterial.

Ramo 5 – seção 17:

$$\frac{0,35}{0,35} \times 0,71 + \frac{0,14}{0,48} \times 0,179 + \frac{0,24}{0,70} \times 0,11 = 0,80$$

Ramo 7 – seção 3:

$$\frac{0,05}{0,35} \times 0,709 + \frac{0,48}{0,48} \times 0,18 + \frac{0,24}{0,70} \times 0,11 = 0,32$$

Logo, para esse exemplo, Moazami et al. (2011) concluíram que o Ramo 5, seção 17 apresentava prioridade na manutenção do pavimento em relação ao Ramo 7, seção 3.

Parkasan et al. (2015) também aplicaram o método AHP para a tomada de decisão na priorização de manutenção em pavimento, realizando o estudo de caso das vias urbanas da cidade de Noida, próximo a Deli, na Índia. Porém, esses pesquisadores acrescentaram alguns critérios em sua análise, em relação ao estudo de feito no Irã.

Conforme o estudo de Parkasan et al. (2015), os critérios para a análise do método AHP foram divididos da seguinte forma:

- O PSR (Present Serviceability Ratio), que no Brasil corresponde ao VSA (Valor de Serventia Atual), pode assumir valor entre 0 e 5 e representa a média da nota dada por avaliadores para o conforto ao rolamento de um veículo trafegando em

um determinado trecho (BERNUCCI et al., 2006). Nesse estudo, o PSR foi dividido em cinco categorias: muito bom (4-5), bom (3-4), regular (2-3), pobre (1-2) e muito pobre (0-1).

- Classe da via: arterial, sub-arterial, via coletora e via local.
- Qualidade de rodagem: foi obtida por meio do QI (Quociente de Irregularidade) e dividida em boa (2000 mm/km), média (3000 mm/km) e baixa (4000 mm/km).
- Condições de segurança: foi dividida em termos de resistência ao deslizamento e sub-dividida em boa (cerca de 65), usualmente satisfatória (55-65), satisfatória (45-55) e potencialmente escorregadia (abaixo de 45).
- Volume de tráfego: alto (>4500 VCPD), médio (450 – 4500 VCPD) e baixo (<450 VCPD) (VCPD – veículos comerciais por dia).
- Condições de drenagem: foi caracterizada em termos de tempo demandado para remoção de água livre e foi subdividida em excelente (2 horas), boa (1 dia), regular (7 dias), ruim (1 mês) e muito ruim (a água não será drenada).
- Importância para a comunidade: foram considerados os seguintes fatores: classe da via, tráfego em operação, disponibilidade de rotas alternativas durante manutenção e distâncias de prédios importantes e espaços públicos.
- Adequação estrutural: foi subdividido em boa (sem necessidade de recapeamento), regular (recapeamento necessário em camada única de concreto betuminoso) e pobre (recapeamento necessário em termos de concreto betuminoso e concreto betuminoso denso).

Parkasan et al. (2015) utilizaram o método AHP, considerando a aplicação de questionário a 46 especialistas, agrupados em: engenheiros, acadêmicos, gestores, supervisores, estudantes e profissionais não qualificadas em pavimentos. Após a comparação paritária entre os critérios e subcritérios, esses especialistas permitiram quantificar os pesos dados a cada um desses elementos em estudo, possibilitando o desenvolvimento do estudo de caso em 21 diferentes seções na via urbana de Noida, próximo a Deli, na Índia.

Com auxílio da versão 11 do software ExpertChoice, Parkasan et al. (2015) computaram todos os dados colhidos com os especialistas e, após atingirem uma Taxa de Consistência (CR) menor do que 10%, conforme proposto no método AHP, chegaram aos pesos para os critérios e subcritérios em estudo.

Parkasan et al. (2015) concluíram que os resultados obtidos por meio dos dados coletados, nesse estudo de caso, demonstraram ter boa consistência e possibilidade de replicação. Embora tenha havido algumas divergências de opiniões de especialistas acerca dos pesos atribuídos aos fatores, após alguns ajustes dos pesos no AHP, baseado na experiência desses especialistas, permitiram estabelecer um Índice de Prioridade para manutenção de pavimentos, o qual, segundo os autores, pode ser usado por agências de rodovias para estimar a ordem de prioridade em seus programas de manutenção. Entretanto, os autores pontuam que uma limitação do método AHP é que o mesmo peso será atribuído aos limites inferior e superior de um determinado critério/subcritério e, uma vez que a amplitude é pequena e fixada, isso pode conduzir a resultados menos precisos em alguns casos.

Ahmed; Vedagiri e Rao (2017) compararam o uso do método AHP (Analytical Hierarchy Process) e do método RCI (Road Condition Index) para priorização de manutenção em pavimento, considerando 28 seções das vias urbanas de Mumbai, na Índia. Segundo os autores, o AHP representou a aplicação de um método objetivo, já o RCI, representou a aplicação de um método subjetivo.

Para a aplicação do método AHP, Ahmed; Vedagiri e Rao (2017) elaboraram os dados segundo o critério de tipo de via, realizando a divisão das seções estudadas entre “via expressa” e “via principal”. Os subcritérios foram divididos em cinco tipos de anomalias no pavimento: trinca tipo couro de jacaré, remendo, afundamento tipo trilha de roda, buraco e desgaste ou desagregação.

Após a comparação paritária por parte de especialistas (profissionais do transporte) e a atribuição dos valores necessários à elaboração da matriz AHP, incluindo correlação entre os métodos estudados, Ahmed; Vedagiri e Rao (2017) concluíram que a utilização do método objetivo AHP gera resultados positivamente correlacionados com os resultados obtidos pelo método subjetivo RCI, de modo que o método AHP se mostrou adequado para a proposta de estimativa de priorização de manutenção em pavimento, considerando as anomalias de trinca tipo couro de jacaré, remendo, afundamento tipo trilha de roda, buraco e desgaste ou desagregação.

2.4.2 ANÁLISE DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM OBRAS DE ARTE ESPECIAIS POR MEIO DO FMEA E AHP

Amiri et al. (2019) afirmam que existem diversos fatores responsáveis pelo desgaste de Obras de Artes Especiais (OAE), dentre eles atmosfera, inundações, terremotos, sobrecarga, qualidade de projeto, execução e tipo de material utilizado, de modo que tais fatores reduzem a funcionalidade destas estruturas. Desta forma, os processos de

manutenção e reparo em OAE podem aumentar a durabilidade destas estruturas. Araújo e Panossian (2011), afirmam que, enquanto no Brasil não há uma especificação de Vida Útil para estruturas rodoviárias, nos Estados Unidos esta Vida Útil é normalizada em 75 anos e na Europa, em 100 anos.

Para analisar a prioridade de manutenção e reparo em Obras de Arte Especiais, Amiri et al. (2019) se basearam no método de análise multicritério. Após identificarem os fatores de risco aplicados a OAE, os autores determinaram os riscos críticos por meio do uso do método FMEA. Desta forma, esse estudo foi aplicado a três pontes em Babolsar (Irã), localizadas sobre o Rio Babolrood. Por meio da aplicação do AHP, cada um dos riscos recebeu determinado peso por especialistas, de modo a caracterizar a ordem de prioridade de manutenção (AMIRI et al., 2019).

Amiri et al. (2019) ressaltaram que uma das desvantagens do FMEA é o fato de que a multiplicação entre S, O e D muitas vezes não reflete a realidade de prioridade na ordem de manutenção. Por exemplo, o NPR calculado para dois modos de falhas com valores de severidade, ocorrência e detecção de (9,5,5) e (6,7,6) são iguais a 225 e 252. No entanto, o primeiro modo de falha deveria ter uma maior prioridade para ações de correção, devido à maior severidade.

Os riscos identificados por Amiri et al. (2019) para as pontes em Babolsar foram os seguintes:

- Projeto inapropriado de pontes e tipos de estruturas;
- Influência do uso de materiais na destruição de pontes;
- Execução inapropriada de pontes e inadequada qualidade da construção;
- Influência das condições atmosféricas na destruição de pontes;
- Influência de mudanças de temperatura e aparecimento de quebras em pontes;
- Influência da idade na destruição de pontes;
- Terremoto;
- Inundação e erosão na estrutura de sustentação de pontes;
- Densidade de sobrecargas devido ao tráfego.

Após a aplicação do método FMEA, Amiri et al. (2019) utilizaram o resultado obtido por este método para a aplicação do método AHP.

Amiri et al. (2019) concluíram que, dada a impossibilidade de exame de todos os riscos de forma minuciosa, o método FMEA permitiu, para o estudo de caso, a determinação

dos riscos críticos, a saber: terremoto, inundação, carregamento de tráfego nas pontes e idade da ponte. Além disso, após a definição desses riscos críticos e com base na análise multicritério AHP, Amiri et al. (2019) puderam demonstrar que, ao comparar três pontes em Babolsar, a primeira delas se apresentou em piores condições de operação. Segundo os autores, tendo em vista que esta ponte cumpre um papel vital na estrutura da cidade de Babolsar, no Irã, fazendo-se necessária a sua existência, seria plausível a construção de uma nova ponte próxima a esta primeira, dada a alta probabilidade de destruição desta ponte e a baixa efetividade em sua restauração (idade muito avançada). Os autores sugeriram, por exemplo, a utilização desta primeira ponte apenas como passagem para pedestres.

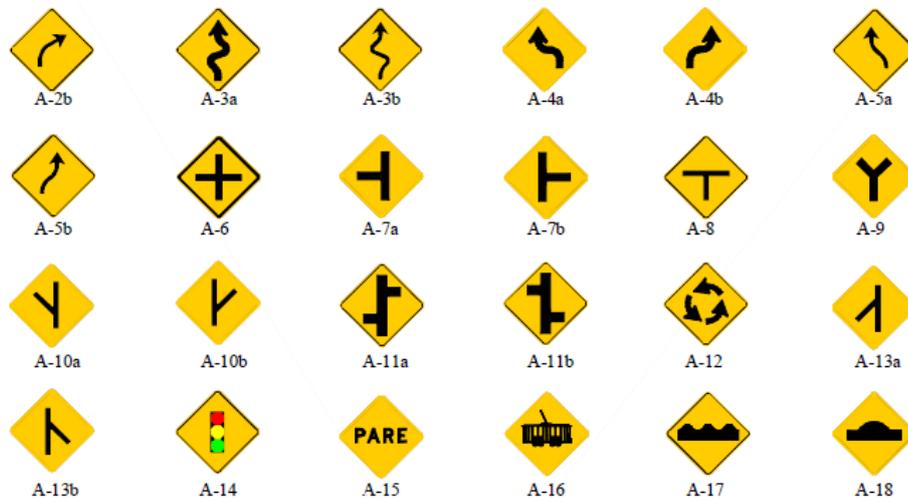
No que diz respeito à sinalização vertical, esta é separada em três tipos principais: sinalização vertical de regulamentação, sinalização vertical de advertência e sinalização vertical indicativa (ver Figura 7, Figura 8 e Figura 9).

Figura 7- Alguns exemplos de sinalização vertical de regulamentação



Fonte: DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO (2006)

Figura 8- Alguns exemplos de sinalização vertical de advertência



Fonte: DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO (2006)

Figura 9- Alguns exemplos de sinalização vertical de indicação

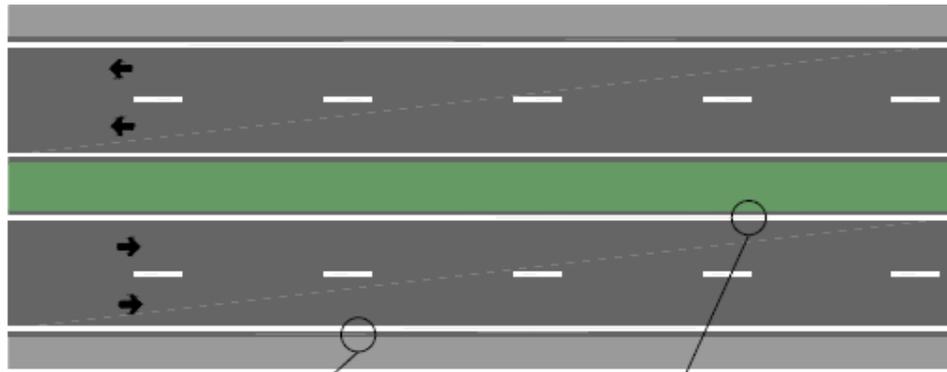


Fonte: DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO (2006)

Com relação à sinalização horizontal, esta diz respeito a todas as pinturas, bem como dispositivos auxiliares de solo. A sinalização horizontal, quanto à pintura de solo, é dividida em: linha de borda, linha simples seccionada (divisão de fluxos de mesmo sentido), linha simples contínua, linha de continuidade, marcas de canalização (zebrado e linha de

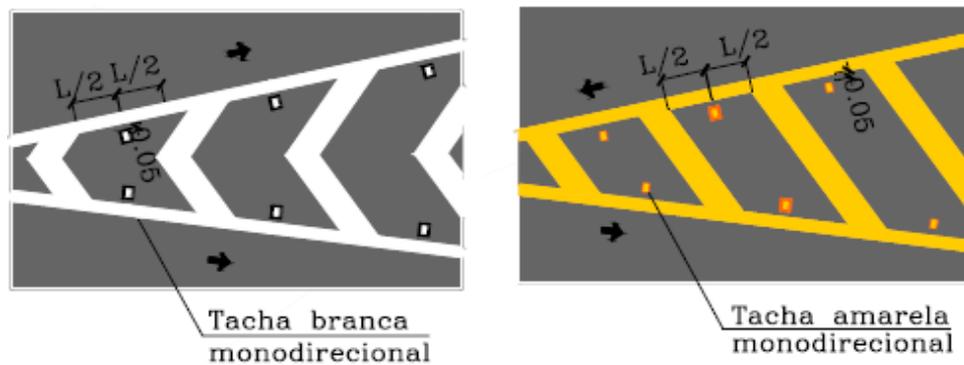
canalização), além das legendas de solo (pare, sinal de “Dê a preferência”, etc). Além disso, a sinalização horizontal conta com dispositivos auxiliares, tais como as tachas refletivas. As tachas refletivas podem ser monodirecionais ou bidirecionais e podem apresentar as cores branca ou amarela. A Figura 10 e a Figura 11 apresentam exemplo de sinalização horizontal.

Figura 10- Sinalização horizontal em trecho em tangente na rodovia



Fonte: DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO (2006)

Figura 11- Sinalização horizontal de marcas de canalização em bifurcações na rodovia



Fonte: DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO (2006)

2.4.3 USO DE BANCO DE DADOS PARA PLANEJAMENTO DE MANUTENÇÃO DA INFRAESTRUTURA RODOVIÁRIA ESTADUNIDENSE

De acordo com France–Mensah et al. (2017), o êxito na manutenção da infraestrutura rodoviária depende de investimentos significativos em termos de tempo, recursos humanos e recursos financeiros. Segundo os autores, nos Estados Unidos da América, o gasto anual com manutenção da infraestrutura rodoviária por meio de novos

projetos de construção, manutenção da via e atividades de reabilitação é da ordem de bilhões de dólares.

O crescimento da urbanização tem trazido aumento pela demanda de infraestrutura rodoviária, de modo que os sistemas de transporte têm se tornado mais complexos em resposta a esta demanda. Conseqüentemente, a necessidade de se otimizar a alocação de recursos limitados para dar manutenção e melhorar o estado da infraestrutura de transporte não pode ser super-enfatizado. Esses fatores, entre outros, afetam significativamente os fundos de despesas públicas para o desenvolvimento da infraestrutura rodoviária, suscitando, desta forma, uma avaliação por parte do poder público mais minuciosa no planejamento orçamentário e na alocação de recursos destinados à infraestrutura das rodovias (FRANCE-MENSAH et al., 2017).

Segundo Thill (2000), nos Estados Unidos, a necessidade de eficiência nas práticas de gestão pública de planejamento de transportes foi ressaltada pelas principais leis federais aprovadas nas últimas três décadas no país, tais como a lei de “Efeito de Eficiência do Transporte Público Intermodal” de 1991. Thill (2000) afirma que tais leis tomaram evidente a ênfase cada vez maior em práticas de gestão integradas e uso eficiente dos recursos norte-americanos. Estas leis também destacaram a necessidade de se investir em sistemas de transporte sob o ponto de vista do desenvolvimento econômico, sociocultural, tecnológico e sustentável. Tornou-se fundamental para o atendimento desses requisitos, o uso de dados para direcionar as agências de transporte a tomar decisões por meio de mais informações, considerando o planejamento e o gerenciamento da rodovia (THILL, 2000).

France–Mensah et al. (2017) afirmam que um dos problemas que os profissionais do ramo de transportes enfrentam é a tarefa onerosa de se organizar dados de rodovias em formas adequadas para o apoio de decisões relativas, dentre outros assuntos, à manutenção rodoviária. Tal fato tem gerado um aumento na demanda por práticas eficazes e desenvolvimento de ferramentas que possam integrar, gerenciar e analisar dados de rodovias.

Ao longo das últimas duas décadas, muitos departamentos de transportes norte americanos têm explorado o uso de sistemas de informação digital para o apoio nas decisões de gerenciamento rodoviário, tais como: Sistema de Informação de Gestão de Pavimento, Sistema de Informação de Gestão de Manutenção, entre outros.

Segundo dados apresentados pelo estudo de Rydholm e Luhr (2015), o Departamento de Transportes do Estado de Washington criou um banco de dados integrado para auxílio na visualização de dados e para priorização de tomadas de decisão no gerenciamento de pavimentos. Esse banco de dados reuniu dados de condições do

pavimento, dados de tráfego, dados de planejamento de preservação do pavimento e dados de planejamento de projetos. Tal ferramenta, conhecida como “Segment Viewer”, foi também fundida com dados de manutenção e dados de condições do pavimento, a fim de determinar rotinas de inspeção e reparos nas instalações rodoviárias do Estado. Rydholm e Luhr (2015) concluíram que as técnicas de visualização de dados comumente recomendadas para o gerenciamento de pavimentos, incluindo gráficos de pizza, gráficos de barra e mapas GIS (Geographic Information System, ou Sistema de Informação Geográfica), geralmente são mais úteis nos níveis de decisão estratégica e de negócios.

O Departamento Estadual de Transportes do Colorado criou também mapas interativos com dados relevantes sobre as suas rodovias estaduais. Nesse caso, foi utilizado o software ARCGIS, desenvolvido pela ESRI®. Um dos mapas interativos apresenta dados sobre as 351 Obras de Arte Especiais do estado do Colorado, nos Estados Unidos, com estratificação: em fase de projeto, projeto completo, em fase de construção, construção concluída e remanescente. É mostrada nesse mapa interativo também uma pontuação obtida pela inspeção destas Obras de Arte Especiais. Esta pontuação é diferente para a infraestrutura, superestrutura e para o tabuleiro. (COLORADO DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, 2019).

2.4.4 DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS DE GESTÃO DA INFRAESTRUTURA RODOVIÁRIA NO EXTERIOR

De acordo com Pepucha et al. (2014), no setor privado, líderes de indústria desenvolveram Sistemas de Gestão de Ativos sob medida, que permitiram a eles monitorar e avaliar o status e condição de seus ativos (desenvolvimento imobiliário, plantas físicas, inventários e investimentos) individualmente e coletivamente. Esses sistemas dão a eles as informações e ferramentas que eles precisam para reter suas competitividades. De modo similar, os oficiais do setor público responsáveis pela infraestrutura do Estado devem manter, substituir e preservar esses ativos. Eles têm que fazer o melhor uso desses limitados recursos e garantir a prestação de contas ao serviço público. Além disso, a necessidade de práticas mais eficientes tem se acentuado devido à recente tendência de privatização de algumas atividades ligadas ao desenvolvimento e à manutenção de infraestrutura do governo (Pepucha et al., 2014). Abaixo segue a Tabela 2 com o estado atual do uso de gestão de ativos viários por países estrangeiros:

Tabela 2- Resumo sobre aplicação de sistemas de gestão em rodovias em países estrangeiros.

PAÍS	Sistema de Gestão de Pavimento	Sistema de Gestão de Pontes	Outros Sistemas de Gestão	Sistema Integrado de Gestão de Ativos
Austrália	Sim	Sim	Não	Implantado no ocidente da Austrália
Bélgica	Sim	Sim	Não	não
Canadá	Sim	Em estudo	Manutenção, características da via	Sendo implantado
Finlândia	Sim	Sim	Manutenção de estradas, planejamento curto prazo, gestão de empreiteiros	Sendo estudado (Controle Financeiro Estado)
Hungria	Sim	Sim	Manutenção	Sendo estudado
Japão	Sim	Em estudo	Túnel, prevenção de desastres (em estudo)	Sendo estudado (Banco de Dados para todas as informações de rodovias nacionais em uso)
México	Sim	Sim	Manutenção da Rede viária (em estudo)	Não
Holanda	Sim	Sim	Gestão de meio-ambiente	Sendo estudado
Polônia	Sim	Sim	Gestão de neve	Não
Reino Unido	Sim	Sim	Gestão de manutenção de rotina e Gestão de meio ambiente e de neve	Contabilidade de recurso e orçamento (piloto) - Sendo estudado
Estados Unidos da América	Sim	Sim	Vários tipos de sistemas	Sendo estudado

Fonte: Adaptado de PEPUCHA et al. (2014)

3. METODOLOGIA

De acordo com Souza e Galiuzzi (2017), metodologia “pode significar procedimento, técnica ou meio de fazer algo de acordo com um plano”. Além disso, a metodologia pode ainda ser representada por um processo organizado, lógico e sistemático de pesquisa, instrução, investigação e apresentação (Souza e Galiuzzi, 2017). Segundo ABBAGNANO (2007, p. 668 apud Souza e Galiuzzi, 2017), o Dicionário de Filosofia apresenta dois significados para a palavra Método:

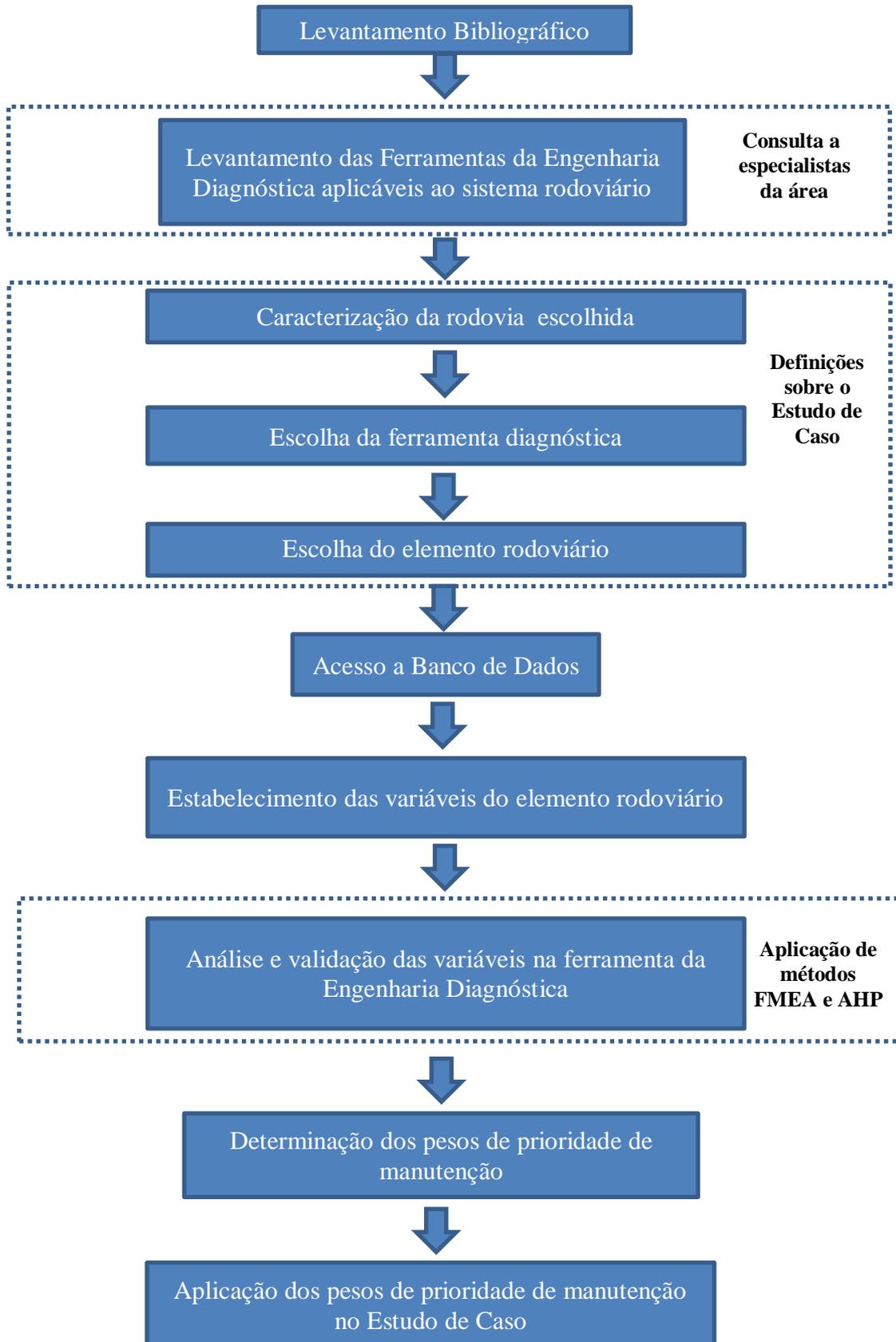
i. Qualquer pesquisa ou orientação de pesquisa; ii. Uma técnica particular de pesquisa. No primeiro significado, não se distingue de “investigação” ou “doutrina”. O segundo significado é mais restrito e indica um procedimento de investigação organizado, repetível e autocorrigível que garanta a obtenção de resultados válidos. {...} Tanto Platão quanto Aristóteles empregam esse termo em ambos os significados; no moderno e contemporâneo, prevalece o segundo.

No que diz respeito à classificação metodológica adotada neste trabalho, a metodologia da pesquisa, quanto ao **gênero** é prática; quanto ao **objetivo** é descritiva e exploratória; quanto à **abordagem** é mista (quantitativa/qualitativa); quanto à **natureza** é aplicada; quanto aos **procedimentos** é pesquisa bibliográfica, pesquisa documental, pesquisa de levantamento e estudo de caso.

Segundo Yin (2001, p. 32), “Um estudo de caso é uma investigação empírica que investiga um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto da vida real, especialmente quando os limites entre o fenômeno e o contexto não estão claramente definidos”. Ainda de acordo com Yin (2001, p. 35), “O estudo de caso, como outras estratégias de pesquisa, representa uma maneira de se investigar um tópico empírico seguindo-se um conjunto de procedimentos pré-especificados.”

Desta forma, pode-se elucidar a metodologia desta pesquisa por meio do fluxograma da Figura 12 a seguir:

Figura 12- Fluxograma esquemático da metodologia da pesquisa



Fonte: Próprio autor (2020)

3.1 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO SOBRE O TEMA ESTUDADO

O levantamento bibliográfico sobre o tema se fez necessário, à medida que permitiu o embasamento teórico da pesquisa. Além disso, como já existe um conceito de Engenharia Diagnóstica Predial no Brasil, procurou-se também, por meio de referências bibliográficas, traçar correlações e desvios quanto à aplicação das boas práticas edilícias na infraestrutura rodoviária. O objetivo desse levantamento bibliográfico foi o de caracterizar o tema de estudo e o de possibilitar o embasamento teórico necessário para a aplicação das ferramentas de Engenharia Diagnóstica em sistemas rodoviários.

Foi consultada a bibliografia internacional com a utilização do Portal de Periódicos da CAPES, além do Banco de Dados de Teses e Dissertações, para estudo da bibliografia nacional acerca do tema.

3.2 LEVANTAMENTO DAS FERRAMENTAS DA ENGENHARIA DIAGNÓSTICA APLICÁVEIS AO SISTEMA RODOVIÁRIO

Embora a aplicação das ferramentas da Engenharia Diagnóstica tenha se mostrado inicialmente possível em diversos elementos do sistema rodoviário, para validação das ferramentas passíveis de aplicação em rodovias, foram realizadas entrevistas não estruturadas com especialistas de diferentes áreas do segmento rodoviário (segurança viária, sinalização rodoviária, Obra de Arte Especial (OAE), pavimentação, drenagem, etc) da Agência Reguladora de Transportes – ARTESP. Além da verificação de possibilidade de aplicação das ferramentas diagnósticas, foi demonstrado o respectivo resultado esperado da aplicação destas ferramentas em cada elemento rodoviário.

3.3 CARACTERIZAÇÃO DA RODOVIA ESCOLHIDA PARA O ESTUDO DE CASO

A via escolhida como estudo de caso diz respeito a um trecho concedido da rodovia estadual da SP 310 - Washington Luís. Esse trecho é dividido entre duas concessionárias distintas, referentes aos lotes 08 e 09 do Programa de Concessões Rodoviárias do Estado de São Paulo.

As características que foram levadas em conta na escolha da rodovia foram: a extensão da rodovia concessionada (301,55km), o Volume Diário Médio (VDM de 8.725 ao longo do trecho concessionado), a classificação da rodovia (rodovia classe Ia - pista dupla com acessos não controlados) e a velocidade máxima permitida de 110 km/h.

3.4 ESCOLHA DA FERRAMENTA DIAGNÓSTICA PARA O ESTUDO DE CASO

Após o levantamento das ferramentas diagnósticas passíveis de aplicação ao segmento rodoviário, foi possível escolher a ferramenta diagnóstica para o Estudo de Caso. Nesse sentido, conforme a revisão bibliográfica, como há progressividade das ferramentas diagnósticas (vistoria, inspeção, auditoria, perícia e consultoria), buscou-se escolher uma ferramenta que não fosse tão superficial, tal como a vistoria (constatação fotográfica), mas que, ao mesmo tempo, não fosse tão complexa a ponto de exigir anos de experiência do autor da pesquisa, tal como a consultoria. Desta forma, como contribuição inicial à aplicação da Engenharia Diagnóstica ao segmento rodoviário, foi escolhida a ferramenta de inspeção, de modo a possibilitar uma análise de fatos e ocorrências relacionados a um determinado elemento do sistema rodoviário.

3.5 ESCOLHA DO ELEMENTO RODOVIÁRIO PARA O ESTUDO DE CASO

Por questões de engajamento do autor da pesquisa em análises de projetos e levantamento de não conformidades relacionadas à sinalização rodoviária, este elemento rodoviário foi escolhido para a aplicação da ferramenta diagnóstica de inspeção. Além disso, a sinalização rodoviária é um dos elementos que está intrinsecamente relacionado à segurança viária, sendo este também outro motivo de sua escolha.

3.6 ACESSO A BANCO DE DADOS

Após a definição da rodovia, bem como da ferramenta diagnóstica e do elemento rodoviário, pôde-se realizar o levantamento documental dos arquivos públicos da ARTESP, que foi feito por meio do Sistema Integrado de Informações ao Cidadão – SIC.SP (conforme Lei Federal nº 12.527/2011 de acesso à informação), de modo a possibilitar o desenvolvimento desta pesquisa (ver Figura 13). O acesso a estes dados também

possibilitou verificar quais os atuais modos de avaliação dos componentes rodoviários no que diz respeito à conservação dos padrões contratuais estipulados para a malha rodoviária concedida do Estado de São Paulo.

Figura 13- Sistema utilizado para coleta das informações junto à ARTESP.



Fonte: Disponível em: <<http://www.sic.sp.gov.br/>>. Acesso em: 12/12/2019.

3.7 ESTABELECIMENTO DAS VARIÁVEIS DO ELEMENTO RODOVIÁRIO PARA O ESTUDO DE CASO

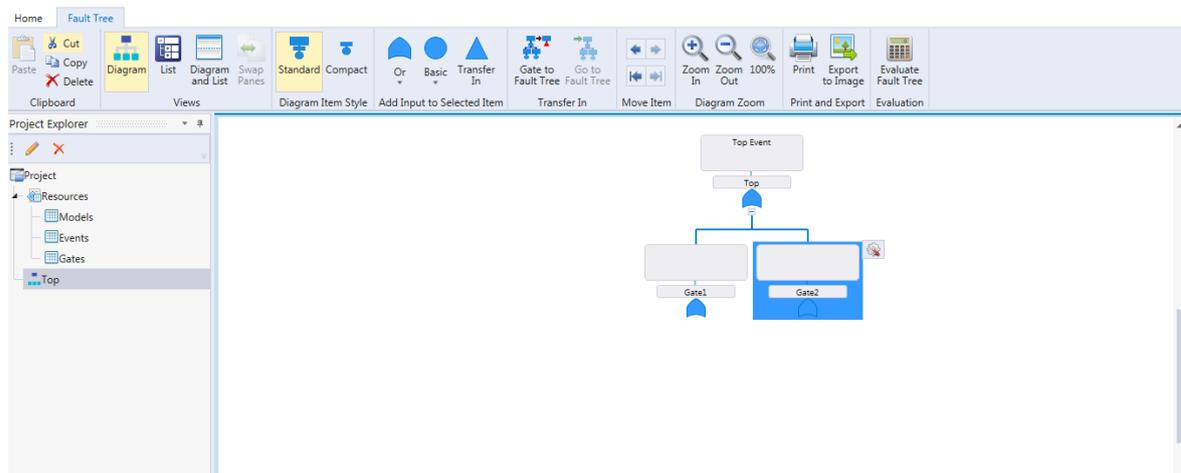
O acesso ao banco de dados público referente à sinalização rodoviária da SP 310 – Rodovia Washington Luís possibilitou a definição de quais variáveis e anomalias deste elemento rodoviário deveriam ser consideradas no Estudo de Caso, com base no levantamento documental de não-conformidades apontadas nos relatórios de inspeção da ARTESP.

As variáveis consideradas para a sinalização rodoviária foram as mesmas contidas nas diretrizes técnicas do Código de Trânsito Brasileiro – CTB, do Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito do CONTRAN, bem como do Manual de Sinalização Rodoviária do DER/SP.

Considerando as variáveis de fiscalização de sinalização rodoviária das rodovias concedidas do estado de São Paulo, com base nos dados fornecidos pela ARTESP, foi feita uma aplicação da ferramenta FTA (Fault Tree Analysis ou Análise da Árvore de Falhas), utilizando o software TopEvent FTA®, de modo a se discretizar os modos de falha que podem ocorrer nesse elemento rodoviário. Esse software, na sua versão livre, permite partir de um evento topo (top event) e, por meio de conexões lógicas (“e”/ “ou”) representadas por

símbolos diferentes conectam o evento topo aos eventos intermediários (intermediate event) que ocasionam a falha, de modo a criar como resultado final uma hierarquia ou uma árvore de falhas. A Figura 14 a seguir apresenta a tela de visualização do software TopEvent FTA®.

Figura 14- Visualização do software TopEvent FTA®



Fonte: Próprio autor (2020)

3.8 ANÁLISE E VALIDAÇÃO DAS VARIÁVEIS NAS FERRAMENTAS DA ENGENHARIA DIAGNÓSTICA PARA O ESTUDO DE CASO

De posse dos dados mensurados em campo, partiu-se para a análise e a validação das variáveis rodoviárias nas ferramentas de Engenharia Diagnóstica escolhidas, consonante ao Estado da Arte da Engenharia Diagnóstica. A análise e validação das variáveis nas ferramentas da Engenharia Diagnóstica foi feita por meio da utilização de ferramentas de priorização, tais como análise de modo de falhas potenciais (FMEA) e análise multicritério (AHP). Esta validação foi representada no capítulo 5 – Resultados e Análises.

A ferramenta de análise de falhas potenciais aplicada neste estudo foi a FMEA - Análise do Modo e Efeitos de Falha. As não conformidades observadas na inspeção da sinalização rodoviária da SP 310 foram classificadas conforme as anomalias levantadas em sinalização rodoviária, por meio do banco de dados da ARTESP.

Para cada um desses componentes, foi feita a definição de sua função, bem como as falhas possíveis (modo, efeito e causas), com base nos documentos fornecidos pela ARTESP (ver Quadro 10). A frequência representa a quantidade de não-conformidades observadas para cada item, na SP 310 – Rodovia Washington Luís, no trecho da

concessionária 1 (do km 227+800 ao km 454+300), considerando apenas os dados de janeiro de 2019.

Quadro 10- Definição das falhas possíveis em sinalização rodoviária

NOME DO COMPONENTE	FUNÇÃO DO COMPONENTE	FALHAS POSSÍVEIS			
		MODO	EFEITOS	CAUSAS	FREQUÊNCIA
Sinalização vertical ou horizontal?	Qual a serventia desta sinalização?	Como a falha se manifesta?	O que a falha na sinalização gera?	O que ocasiona a falha na sinalização?	Qual o número de ocorrência da falha na sinalização, no período?

Fonte: Próprio autor (2020)

Já a frequência relativa corresponde a divisão do número de não conformidades pelo número total do item avaliado, ou seja, total de unidades de placas e extensão total de sinalização horizontal. O índice de ocorrência foi obtido estatisticamente, com base na frequência relativa, conforme apresentado na revisão bibliográfica, por meio dos dados colhidos no relatório de inspeção da ARTESP para o período de um mês. Para a aplicação deste estudo, o risco foi traduzido como o peso da prioridade de manutenção em sinalização rodoviária, sendo calculado pela multiplicação dos índices de ocorrência, de gravidade e de detecção (OxGxD). O Quadro 11 a seguir apresenta a análise das falhas em sinalização rodoviária pelo método FMEA.

Quadro 11- Análise das falhas em sinalização rodoviária pelo método FMEA

NOME DO COMPONENTE	FUNÇÃO DO COMPONENTE	ANÁLISE				
		Frequência	Ocorrência	Gravidade	Detecção	Peso
Sinalização vertical ou horizontal?	Qual a serventia desta sinalização?	Número de falhas	Calculado pela frequência relativa	Atribuído pelos especialistas	Atribuído pelos especialistas	OxGxD

Fonte: Próprio autor (2020)

Quanto aos índices de severidade e de detecção de cada anomalia, foi feita primeiramente uma adaptação qualitativa dos valores apresentados na revisão bibliográfica para facilitar a atribuição de valores para o caso das anomalias em sinalização rodoviária. Esta adaptação se baseou na revisão bibliográfica realizada e na observação dos dados colhidos da ARTESP, descrevendo a correlação de cada valor com a característica de anomalia encontrada na sinalização rodoviária (ver Quadro 12 e Quadro 13). A atribuição

dos valores desses índices foi realizada com base em entrevistas não estruturadas com 02 especialistas em regulação de transportes (ambos com mais de 10 anos de experiência na área), os quais compõem a gerência de sinalização e segurança da Diretoria de Operações da ARTESP.

Quadro 12- Índice de Severidade para aplicação da FMEA

VALOR DO ÍNDICE DE SEVERIDADE		
Quantitativo	Qualitativo	DESCRIÇÃO
1	Nenhum	Falha sem efeito identificado
2	Muito pequeno	Sinalização necessita de adequação. Defeito evidenciado por usuários acurados (menos que 25%)
3	Pequeno	Sinalização necessita de adequação. Defeito evidenciado por 50% dos usuários.
4	Muito baixo	Sinalização necessita de adequação. Defeito evidenciado pela maioria dos usuários (mais que 75%).
5	Baixo	Sinalização operável, mas com nível de desempenho reduzido.
6	Moderado	Sinalização operável, mas não apresenta itens de conforto/conveniência . Usuários insatisfeitos.
7	Alto	Sinalização inoperável, mas ainda apresenta níveis de desempenho reduzido. Usuários muito insatisfeitos.
8	Muito Alto	Sinalização inoperável (perda das funções primárias)
9	Perigoso com aviso prévio	Índice de severidade muito alto quando o modo de falha potencial afeta a segurança viária, com aviso prévio.
10	Perigoso sem aviso prévio	Índice de severidade muito alto quando o modo de falha potencial afeta a segurança viária, sem aviso prévio.

Fonte: Próprio autor (2020)

Quadro 13- Índice de probabilidade de detecção para aplicação da FMEA.

VALOR DO ÍNDICE DE PROBABILIDADE DE DETECÇÃO		
Quantitativo	Qualitativo	DESCRIÇÃO
1	Quase certa	Controle de projeto quase que certamente detecta potencial causa, mecanismo e modo de falha subsequente (99,5% das falhas são detectadas)
2	Muito Alta	Chance muito elevada de que a inspeção do projeto detecte causa, mecanismo e modo de falha subsequente (95% das falhas são detectadas)
3	Alta	Chance elevada de que a inspeção do projeto detecte causa, mecanismo e modo de falha subsequente (90% das falhas são detectadas)

VALOR DO ÍNDICE DE PROBABILIDADE DE DETECÇÃO		
Quantitativo	Qualitativo	DESCRIÇÃO
4	Moderadamente Alta	Chance moderadamente alta de que a inspeção do projeto detecte causa, mecanismo e modo de falha subsequente (85% das falhas são detectadas)
5	Moderada	Chance moderada de que a inspeção do projeto detecte causa, mecanismo e modo de falha subsequente (80% das falhas são detectadas)
6	Baixa	Chance baixa de que a inspeção do projeto detecte causa, mecanismo e modo de falha subsequente (75% das falhas são detectadas)
7	Muito Baixa	Chance muito baixa de que a inspeção do projeto detecte causa, mecanismo e modo de falha subsequente (70% das falhas são detectadas)
8	Remota	Chance remota de que a inspeção do projeto detecte causa, mecanismo e modo de falha subsequente (65% das falhas são detectadas)
9	Muito Remota	Chance muito remota de que a inspeção do projeto detecte causa, mecanismo e modo de falha subsequente (60% das falhas são detectadas)
10	Quase impossível	Não existe controle atualmente. Defeito quase não pode ser detectado (< 55% das falhas são detectadas)

Fonte: Próprio autor (2020)

O método AHP foi aplicado apenas para as 04 (quatro) anomalias em sinalização vertical com maior índice de ocorrência para o mês de janeiro na SP 310. Estas anomalias foram: ausência de sinalização vertical, avaria em sinalização vertical, sinalização vertical fora de padrão e sinalização vertical encoberta. Para a aplicação desta metodologia, não foi realizada distinção entre sinalização de regulamentação, sinalização de advertência e sinalização indicativa.

Para a aplicação da metodologia de análise multicritério, mais especificamente a ferramenta de Processo de Análise Hierárquica (AHP), foi aplicado, primeiramente, um formulário para comparação paritária contendo as anomalias em sinalização vertical (vide Anexo). O formulário foi aplicado via Google® Forms a profissionais envolvidos com sinalização rodoviária, dentre eles: projetistas de sinalização, agentes de fiscalização de sinalização rodoviária, fabricantes de sinalização vertical (placas), especialistas em regulação de transportes da ARTESP, profissionais de concessionárias de rodovias do Estado de São Paulo, entre outros, totalizando 21 (vinte e um) profissionais do ramo.

Previamente, foi feita uma apresentação da finalidade de aplicação do formulário, explicando que a comparação deveria ser feita aos pares (de duas em duas anomalias), apenas considerando as quatro principais ocorrências de anomalias em sinalização vertical. Isso posto, cada profissional que respondeu ao formulário estabeleceu o peso da

comparação paritária (variando de 1 a 9), que deveriam ser atribuídos a esta prioridade, também apresentados nos anexos.

Foi utilizado o programa *TransparentChoice*®, ou “escolha transparente” em tradução livre, o qual permite utilizar a metodologia de análise multicritério AHP (Processo de Análise Hierárquica), de forma gratuita, para até 02 tomadores de decisão (ver Figura 15). Desta forma, foram atribuídos os pesos de prioridade de manutenção em sinalização vertical, considerando o valor predominante em cada uma das comparações paritárias, obtido por meio da compilação de dados de comparação paritária realizada pelos 21 (vinte e um) profissionais ligados à área de sinalização viária. O próprio programa *TransparentChoice*® permitiu estimar a taxa de consistência (CR) para que fosse comparado com o valor sugerido como máximo pelo método AHP.

Figura 15- Página de visualização do *TransparentChoice*® para aplicação do AHP

Decision: Prioridade em manutenção de Sinalização Rodoviária

This is a limited, free version of our [AHP software](#). Please check the [pricing page](#) to compare all versions. If anything is stopping you from upgrading your subscription please [click here](#) and let us know (we've made it really easy to send feedback).

Start Alternatives **Criteria** Scales Evaluation Results

+ Create criterion Collapse / Expand all

⚙	Prioridade de manutenção em sinalização vertical rodoviária - Comparação paritária considerando qual anomalia é ...	⬆
⚙	Ausência - Ausência de placa em rodovia	
⚙	Avaria - Placa danificada em rodovia	
⚙	Encoberta - Situação em que, devido ao crescimento da vegetação ou à implantação de obstáculo próximo à placa, esta ...	
⚙	Fora de padrão - A placa implantada não atende aos padrões do CTB, manuais de sinalização e normas técnicas	

Fonte: Disponível em: <<https://app.transparentchoice.com/>>. Acesso em: 12/12/2019

3.9 DETERMINAÇÃO DOS PESOS DE PRIORIDADE DE MANUTENÇÃO PARA O ESTUDO DE CASO

A prioridade de manutenção em sinalização rodoviária obtida pelo método FMEA é dada pela Equação 4:

$$IP_{trecho,AHP} = \sum_{i=1}^n P_{i,trecho,FMEA} \quad \text{Equação 4}$$

Em que:

IP é o valor do Índice de Prioridade de manutenção em sinalização rodoviária para o trecho em estudo;

$P_{i,Trecho,FMEA}$ é o Peso (RPN ou Risco) obtido para cada anomalia (i) pela Análise do Modo e Efeitos de Falha (FMEA), para o trecho a ser analisado. Esse valor é o resultado da multiplicação entre os índices de ocorrência, severidade e detecção. A escala desse valor é de 0 a 1.000 (um mil).

n é o número total de anomalias no trecho.

Já a prioridade de manutenção em sinalização rodoviária obtida pelo Método AHP é dada por meio da Equação 5:

$$IP_{trecho,AHP} = \sum_{i=1}^n P_{i,trecho,AHP} \quad \text{Equação 5}$$

Em que:

IP é o valor do Índice de Prioridade de manutenção em sinalização rodoviária para o trecho em estudo;

$P_{i,Trecho,AHP}$ é o Peso obtido para cada anomalia (i) pelo Processo de Análise Hierárquica (AHP), para o trecho a ser analisado. Como esse valor corresponde ao resultado da normalização da matriz de comparação paritária, sua escala é de 0 a 100%.

n é o número total de anomalias no trecho.

3.10 APLICAÇÃO DOS PESOS DE PRIORIDADE DE MANUTENÇÃO NO ESTUDO DE CASO

Para exemplificar a forma de aplicação dos pesos de prioridade de manutenção em sinalização rodoviária, tanto os obtidos pelo método FMEA quanto os obtidos pelo método AHP, foram escolhidos trechos da SP 310 – Rodovia Washington Luís, de ambas as concessionárias, para avaliação da ordem de prioridade de manutenção.

4. ESTUDO DE CASO

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA MALHA RODOVIÁRIA DO ESTADO DE SÃO PAULO

De acordo com CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (2018a), o Estado de São Paulo apresenta os seguintes dados socioeconômicos: 645 municípios; área de 248.219,60 km²; população (estimativa 2018) de 45.538.936; densidade demográfica (hab/km²) de 166,25, PIB total (Trilhão) de R\$ 1,9; PIB Per Capita de R\$ 43.695; Agropecuária representando 1,62%, Indústria 21,93% e Serviços 76,45%, Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) de 0,819, Frota de 28.748.431 veículos; extensão de rodovia pavimentada de 24.981km, das quais 1.122km são Federal e 23.859km são Estadual Transitória, Estadual e Municipal.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO DE CASO: RODOVIA SP 310 WASHINGTON LUÍS

A via escolhida como estudo de caso diz respeito a um trecho concedido da rodovia estadual Washington Luís (SP 310). Esse trecho é dividido entre duas concessionárias distintas, referentes aos lotes 08 e 09 do Programa de Concessões Rodoviárias do Estado de São Paulo.

No ano de 2018, de acordo com CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (2018a), a ligação São Paulo SP – Limeira SP, que é feita pelas rodovias SP 310/BR 364 e SP 348, foi considerada a número 1 no ranking das ligações rodoviárias do Brasil, obtendo a classificação ótima para esse trecho. Já para a ligação do trecho de Limeira - SP a São José do Rio Preto – SP, que é feita pelas rodovias SP 310/BR-364, SP 310/BR-456 e SP330/BR-050, a posição no ranking foi a de número 7, também com classificação ótima. Entende-se por ligação rodoviária:

“ {...} uma extensão formada por uma ou mais rodovias federais ou estaduais pavimentadas, com grande importância socioeconômica e volume significativo de veículos de cargas e/ou de passageiros, interligando territórios de uma ou mais Unidades da Federação”. (CNT, 2018, p. 22)

Ainda segundo CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (2018a), dos 24 (vinte e quatro) km pesquisados da SP 310 – Rodovia Washington Luís, para o ano de 2018, esta rodovia recebeu a classificação “Bom” para todos os requisitos avaliados, a saber: Estado Geral, Pavimento, Sinalização, Geometria da Via.

Quanto à caracterização do tráfego na rodovia SP 310, a evolução do Volume Diário Médio entre os anos de 2015 a 2018 é mostrada conforme o Quadro 14 abaixo:

Quadro 14- Volume Diário Médio na SP 310 – Rod. Washington Luís

Concessionária	Km	Sentido	VDM 2015	VDM 2016	VDM 2017	VDM 2018
1	181,4	Norte	13.635	12.752	12.928	14.045
1	181,4	Sul	13.540	12.717	13.012	14.010
1	216,8	Norte	11.664	10.959	11.218	11.847
1	216,8	Sul	11.769	10.968	11.208	11.800
2	282,4	Norte	7.388	7.173	7.496	7.890
2	282,4	Sul	7.467	7.141	7.516	7.859
2	346,4	Norte	4.940	4.149	4.187	4.605
2	346,4	Sul	4.955	4.115	4.130	4.540
2	398,5	Norte	5.157	4.874	4.962	5.361
2	398,5	Sul	5.155	4.847	4.927	5.294

Fonte: Disponível em:

<<http://www.der.sp.gov.br/WebSite/MalhaRodoviaria/VolumeDiario.aspx>>. Acesso em:

01/02/2020

Apenas como parâmetro, nesse mesmo período, a frota de veículos do Município de São Carlos subiu de 167.621 (cento e sessenta e sete mil e seiscentos e vinte e um) veículos em 2015 para 183.646 (cento e oitenta e três mil e seiscentos e quarenta e seis) veículos em 2018 (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2020).

4.2.1 Lote 09 do Programa de Concessões Rodoviárias de São Paulo – SP 310

De acordo com o Edital de Licitação nº14/CIC/97 da ARTESP (AGÊNCIA REGULADORA DE SERVIÇOS PÚBLICOS DELEGADOS DE TRANSPORTE DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2019a), referente ao lote 09 do Programa de Concessões de São Paulo, o sistema rodoviário deste trecho compreende o km 227+800 ao km 454+300 da SP-310, totalizando 226,500 km de extensão, sendo caracterizado por uma rodovia de pista dupla, com duas faixas de rolamento em cada pista, com sequência quilométrica no sentido de Limeira a São José do Rio Preto. Ainda conforme esse edital, a rodovia faz parte de uma importante malha rodoviária do interior do Estado de São Paulo, servindo uma área adensada com diversas cidades importantes próximas ao seu traçado, tais como: São Carlos, Ibaté, Araraquara, Matão, Taquaritinga, Fernando Prestes, Santa Adélia, Pindorama, Catanduva, Catingué, Uchoa, Ibirá, São José do Rio Preto e Mirassol.

Esse trecho tem início em São Carlos, no km 227+800 (dispositivo de cruzamento com a SP-215) e término no município de Mirassol, no km 454+300, constituída com seção transversal tipo de duas pistas com duas faixas de tráfego por sentido, cada uma com 3,50m de largura (Edital de Licitação nº14/CIC/97, 1997).

Conforme o Edital de Licitação n 14/CIC/97 (AGÊNCIA REGULADORA DE SERVIÇOS PÚBLICOS DELEGADOS DE TRANSPORTE DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2019a):

“o canteiro central apresenta largura média de 13,00m, gramado, com dispositivos de drenagem e inclinações que funcionam como separador de pistas. As curvas horizontais possuem raio mínimo de 600m e as curvas verticais côncavas, raio mínimo de 2.500m, as convexas, raio mínimo de 6.000m. As rampas possuem inclinação máxima de 6%. Os acostamentos têm largura média de 2,70m e suas principais interseções são em desnível, com controle total de acessos em toda a sua extensão.”

Segundo o Edital de Licitação citado, para o ano de 1997, “as características físicas e geométricas da rodovia duplicada apresentam ótimo padrão de construção (ver Figura 16), o que faz a velocidade diretriz de projeto da rodovia, assim como a permitida, serem de 100 km/h”. A velocidade máxima permitida para a rodovia hoje em dia é de 110 km/h (AGÊNCIA REGULADORA DE SERVIÇOS PÚBLICOS DELEGADOS DE TRANSPORTE DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2019b).

Figura 16- Seção típica da SP 310 no trecho da Concessionária 1



Fonte: Disponível em: < <https://www.google.com.br/maps/@-21.9920795,-47.8822853,3a,75y,306.78h,80.27t/data=!3m6!1e1!3m4!1sZAXZ1gKOyl0Hop3z5R2OCA!2e0!7i13312!8i6656>>. Acesso em: 01/02/2020

4.2.2 Lote 08 do Programa de Concessões Rodoviárias de São Paulo – SP 310

Esse trecho foi inicialmente construído em 1955, com uma única pista, duas faixas de rolamento, uma em cada sentido, e com sequência quilométrica no sentido de Cordeirópolis a São Carlos. Esse trecho tem grande importância na interligação da malha rodoviária estadual, uma vez que interliga a SP 330- Rodovia Anhanguera com o norte do Estado, servindo uma área com elevado adensamento, com municípios tais como Rio Claro, São Carlos e Araraquara. Tendo em vista o desenvolvimento regional e o aumento do tráfego, houve a necessidade de sua duplicação, a qual foi executada em 1973 (Edital de Licitação nº16/CIC/97, 1997).

Segundo o Edital de Licitação citado, as características físicas e geométricas da rodovia duplicada apresentam ótimo padrão de construção, o que faz a velocidade diretriz de projeto da rodovia, assim como a permitida, serem de 100 km/h”. Na verdade, a velocidade máxima permitida para a rodovia hoje em dia é de 110 km/h. Desde o início desse trecho em Cordeirópolis, no km 153+350 (na SP 330- Rodovia Anhanguera), a rodovia é constituída com seção transversal tipo de duas pistas com duas faixas de tráfego por sentido, cada uma com 3,50m de largura (Edital de Licitação nº16/CIC/97, 1997).

Conforme o Edital de Licitação nº16/CIC/97 (AGÊNCIA REGULADORA DE SERVIÇOS PÚBLICOS DELEGADOS DE TRANSPORTE DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2019a):

“O canteiro central possui uma largura variável de 9,00 m à 22,00 m, gramado, com dispositivos de drenagem e inclinações que funcionam como separador de pistas. As curvas horizontais possuem raio mínimo de 1.000,00 m, curvas verticais côncavas com raio mínimo de 3.000,00 m e as convexas com raio mínimo de 5.000,00 m. O gabarito mínimo vertical é de 5,50 m, e as rampas possuem inclinação máxima de 5,5%. Os acostamentos tem largura de 2,70 m. Suas principais interseções são em desnível, com controle parcial de acessos, oferecendo níveis de segurança e de conforto adequados.”

De acordo com o Edital de Licitação nº16/CIC/97 da ARTESP ((AGÊNCIA REGULADORA DE SERVIÇOS PÚBLICOS DELEGADOS DE TRANSPORTE DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2019a), referente ao lote 08 do Programa de Concessões de São Paulo, o sistema rodoviário deste trecho compreende o km 153+250, em Cordeirópolis, até o km 227+800 da SP-310, em São Carlos, totalizando 74,550 km de extensão (ver Figura 17).

Figura 17- Seção típica da SP 310 no trecho da Concessionária 2



Fonte: Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/@-22.1035755,-47.8241728,3a,75y,343.27h,88.08t/data=!3m6!1e!13m4!1sJW5mMZURCfGWTBo10oeT2Q!2e0!7i13312!8i6656>>. Acesso em: 01/02/2020

4.3 LEVANTAMENTO DE ANOMALIAS EM SINALIZAÇÃO RODOVIÁRIA DA SP 310

Para a análise da inspeção da sinalização da rodovia SP 310, foram utilizados, inicialmente, os dados colhidos no mês de janeiro de 2019 pela ARTESP.

As não conformidades observadas na inspeção da sinalização rodoviária da SP 310 foram classificadas em dois códigos A e B, de modo a facilitar a apresentação da quantidade de anomalias em itens e subitens. O código A representa as variáveis em sinalização rodoviária. Já o código B representa as anomalias em cada uma dessas variáveis. Os valores e a descrição de cada um destes códigos são apresentados na Tabela 3 e na Tabela 4 a seguir:

Tabela 3- Variáveis em Sinalização Rodoviária

Valores e descrição para código A	
1	Sinalização Vertical de Regulamentação
2	Sinalização Vertical de Advertência
3	Sinalização Vertical - demais placas
4	Sinalização Horizontal - Pintura
5	Sinalização Horizontal - Tacha

Fonte: Adaptado de AGÊNCIA REGULADORA DE SERVIÇOS PÚBLICOS DELEGADOS DE TRANSPORTE DO ESTADO DE SÃO PAULO (2019b)

Tabela 4- Manifestações patológicas em Sinalização Rodoviária

Valores e descrição para código B	
01	avaria
02	ausência
03	fora de padrão
04	suja
05	encoberta
06	baixa visibilidade / película inadequada
07	conflitante/apagada com tinta preta

Fonte: Adaptado de AGÊNCIA REGULADORA DE SERVIÇOS PÚBLICOS DELEGADOS DE TRANSPORTE DO ESTADO DE SÃO PAULO (2019b)

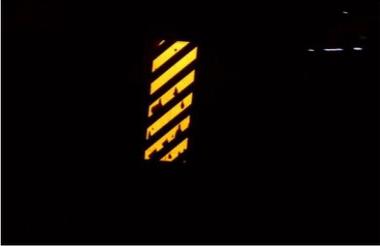
Dessa forma, foi feito o levantamento das anomalias na sinalização do corredor SP 310 para o mês de janeiro de 2019, contemplando as duas concessionárias responsáveis por todo o trecho concedido. O quantitativo destas anomalias em sinalização rodoviária foi reunido e computado para a análise e é demonstrado no apêndice.

Alguns registros desses tipos de anomalias na SP 310, somente considerando o mês de janeiro de 2019 para a Concessionária do lote 8 (concessionária 1) do Programa de Concessões do Estado de São Paulo são mostrados na Figura 18. Já a Figura 19 apresenta algumas anomalias em sinalização vertical e horizontal para o lote 9 (concessionária 2) do Programa de Concessões do Estado de São Paulo.

As não conformidades apontadas pela ARTESP em sua inspeção se baseiam no Código de Trânsito Brasileiro (CTB), regulamentado pela Lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997, no Manual de Sinalização Rodoviária do DER/SP e no Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito do CONTRAN. Todas estas não conformidades podem gerar sanções, tal como multa, às concessionárias que não as superarem em determinados períodos estipulados em seus respectivos contratos de concessão.

Figura 18- Evidências de manifestações patológicas (não conformidades) em Sinalização Rodoviária para concessionária 1 (lote 08)

CÓDIGO A	CÓDIGO B	EVIDÊNCIA FOTOGRÁFICA	KM	CORREÇÃO
1	01		231,400	
3	02		257,000	
3	03		444,450	
1	06		302,100	
1	05		258,300	

CÓDIGO A	CÓDIGO B	EVIDÊNCIA FOTOGRÁFICA	KM	CORREÇÃO
3	06		234,250	
4	01		416,650	
4	02		351,400	
4	01		435,100	
5	02		416,500	

Fonte: Adaptado de AGÊNCIA REGULADORA DE SERVIÇOS PÚBLICOS DELEGADOS DE TRANSPORTE DO ESTADO DE SÃO PAULO (2019b)

Figura 19- Evidências de manifestações patológicas (não conformidades) em Sinalização Rodoviária para concessionária 2 (lote 09)

CÓDIGO A	CÓDIGO B	EVIDÊNCIA FOTOGRÁFICA	KM	CORREÇÃO
2	03		196,980	Concessionária não havia corrigido até o retorno da fiscalização em 15 dias.
1	02		190,350	Concessionária não havia corrigido até o retorno da fiscalização em 15 dias.
1	01		169,450	Concessionária não havia corrigido até o retorno da fiscalização em 15 dias.
3	01		153,500	Concessionária não havia corrigido até o retorno da fiscalização em 15 dias.

CÓDIGO A	CÓDIGO B	EVIDÊNCIA FOTOGRÁFICA	KM	CORREÇÃO
1	05		161,215	
4	01		181,600	Concessionária não havia corrigido até o retorno da fiscalização em 15 dias.
5	02		200,100	Concessionária não havia corrigido até o retorno da fiscalização em 15 dias.
4	07		174,650	Concessionária não havia corrigido até o retorno da fiscalização em 15 dias.

Fonte: Adaptado de AGÊNCIA REGULADORA DE SERVIÇOS PÚBLICOS DELEGADOS DE TRANSPORTE DO ESTADO DE SÃO PAULO (2019b)

5. RESULTADOS E ANÁLISES

5.1.1 *APLICAÇÃO DA FERRAMENTA DE VISTORIA EM RODOVIAS*

Ao se analisar a aplicação das ferramentas diagnósticas no setor rodoviário, após o questionamento de especialistas de diferentes áreas (segurança viária, sinalização rodoviária, Obra de Arte Especial (OAE), pavimentação, etc), verificou-se que o uso da ferramenta de vistoria é de fácil aplicação ao setor rodoviário, uma vez que, como apresentado na revisão da literatura, tal ferramenta busca apenas constatar fatos, gerando-se relatórios com registros fotográficos.

5.1.2 *APLICAÇÃO DA FERRAMENTA DE INSPEÇÃO EM RODOVIAS*

Quanto à aplicação da ferramenta de inspeção, não foi encontrada objeção à sua aplicação no setor rodoviário. Embora tenha se verificado que para alguns elementos já existe inclusive diretrizes técnicas para a análise do profissional responsável pela inspeção, muitos elementos carecem de diretrizes qualitativas e quantitativas para a aplicação da ferramenta de inspeção, sendo esta uma das ferramentas da Engenharia Diagnóstica que mais se adequam à necessidade de priorização de conservação da infraestrutura rodoviária.

Uma parceria entre o Departamento de Estradas de Rodagem de São Paulo – DER/SP, o Banco Mundial - Global Road Safety Facility (Instalação Global de Segurança Rodoviária), a Boomblerg Philanthropies e o iRAP (Programa Internacional de Avaliação Viária) gerou um relatório técnico, em 2014, sobre a segurança viária no estado de São Paulo. A avaliação de risco relacionada à infraestrutura rodoviária envolveu levantamentos detalhados de campo e a codificação de 50 atributos viários, em um intervalo de 100 metros ao longo da malha rodoviária de 4.250 km de rodovias do estado de São Paulo, permitindo a criação da classificação por estrelas. A classificação por estrelas mostrou que, para o trecho de malha rodoviária em que as variáveis estudadas (ocupantes de veículos, motociclistas, pedestres e ciclistas) eram passíveis de aplicação, a maior parte do trecho foi classificada com 2 ou menos estrelas (INTERNATIONAL ROAD ASSESSMENT PROGRAMME, 2014).

Outra aplicação bem difundida para a ferramenta de inspeção em rodovias diz respeito à inspeção em Obras de Arte Especiais (OAEs). A normativa técnica que prescreve

os requisitos e os critérios desse tipo de inspeção é a ABNT NBR 9452:2019 – Inspeção de Pontes, Viadutos e Passarelas de Concreto - Procedimentos.

Além disso, a ABNT NBR 9452:2019 define quatro tipos de inspeção: cadastral, rotineira, especial e extraordinária. A inspeção cadastral é a primeira inspeção realizada na obra, devendo ser realizada logo após a conclusão desta. A inspeção rotineira é uma inspeção de acompanhamento periódico, visual, com ou sem a utilização de equipamentos e/ou recursos especiais. É nesse tipo de inspeção que deve ser verificada a evolução de anomalias já observadas anteriormente, bem como novas ocorrências, reparos, etc. A inspeção especial deve possuir uma periodicidade de 5 anos. Trata-se de uma inspeção pormenorizada e deve contemplar mapeamento gráfico e quantitativo das anomalias, com o intuito de se elaborar o diagnóstico e prognóstico da estrutura. Por fim, a inspeção extraordinária é gerada por uma demanda não programada, devendo apresentar relatório específico.

5.1.3 APLICAÇÃO DA FERRAMENTA DE AUDITORIA EM RODOVIAS

Após o acompanhamento das atividades de especialistas ligados ao ramo de transportes, principalmente quanto às atividades da ARTESP, verificou-se que a ferramenta diagnóstica de auditoria apresenta também grande potencial de utilização em rodovias, principalmente se forem levadas em conta as diversas normas técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas atinentes ao setor rodoviário, seja quanto ao pavimento, obra de arte especial, obra de arte corrente, sinalização, dispositivos de segurança, projeto geométrico, dentre outros elementos. A auditoria pode ser caracterizada pelas análises técnicas de uma parte (que serve de amostra) de qualquer componente rodoviário ao longo de um determinado trecho da via, para verificação da correta instalação, manutenção, conservação, etc. Como exemplo podem ser citadas as análises técnicas de uma amostra dos dispositivos de contenção viária (defensas metálicas ou barreiras rígidas de concreto), dos terminais absorvedores de energia, dos amortecedores de impacto, dos telefones de Call Box, entre outros, sempre tendo por base uma diretriz contratual e/ou normativa para comparação. Para o caso das rodovias concedidas do estado de São Paulo, por exemplo, quando determinado item normativo ou contratual não é atendido, são elaboradas não-conformidades, as quais seguem os trâmites administrativos até gerarem uma notificação e multa para a Concessionária.

5.1.4 APLICAÇÃO DA FERRAMENTA DE PERÍCIA EM RODOVIAS

Quanto à aplicação da ferramenta de perícia, verificou-se que sua principal aplicação em rodovias se dá para o caso de análise técnica de acidentes em rodovia, notadamente para os casos de acidentes fatais. Não foi encontrada, no entanto, entraves à aplicação desta ferramenta para a verificação de responsável por anomalias construtivas, de manutenção, conservação em elementos rodoviários, sendo mais usual para esses casos, no entanto, a aplicação da consultoria técnica, uma vez que, além da investigação, análise e estabelecimento do diagnóstico (relacionando o efeito à causa e origem), a finalidade da consultoria é a de dar o prognóstico, prescrevendo as soluções para os problemas.

5.1.5 APLICAÇÃO DA FERRAMENTA DE CONSULTORIA EM RODOVIAS

A consultoria pode ser utilizada, além do caso de anomalias construtivas, para os casos em que se busca uma resposta sobre o atendimento técnica de algum componente na rodovia, por exemplo: tacha refletiva feito com material a base de vidro, junta de dilatação com lábio polimérico, suporte colapsível para placas, entre outros.

A definição das ferramentas da Engenharia Diagnóstica aplicadas à infraestrutura rodoviária, bem como das variáveis consideradas nestas ferramentas, constituem-se na diretriz para a definição do estudo de caso da pesquisa.

5.1.6 FERRAMENTAS DA ENGENHARIA DIAGNÓSTICA APLICÁVEIS A RODOVIAS

Após a realização da revisão bibliográfica sobre o assunto e, de posse dos dados documentais, foi possível relacionar as ferramentas da Engenharia Diagnóstica que são passíveis de aplicação à infraestrutura rodoviária. Ressalta-se que não foram criadas novas ferramentas da Engenharia Diagnóstica para aplicação em rodovia, mas sim utilizadas as ferramentas atualmente existentes.

Abaixo segue o Quadro 15 com os potenciais usos das ferramentas de Engenharia Diagnóstica para a infraestrutura rodoviária, após avaliação das atividades cotidianas de especialistas em regulação de transportes da Agência Reguladora de Serviços Públicos Delegados de Transporte do Estado de São Paulo (ARTESP):

Quadro 15- Ferramentas da Engenharia Diagnóstica aplicáveis aos elementos rodoviários

FERRAMENTA DA ENGENHARIA DIAGNÓSTICA	ELEMENTO SISTEMA RODOVIÁRIO	RESULTADO
1 - VISTORIA	A - Obra de Arte Especial	RELATÓRIO - Apenas um relatório fotográfico, escrito.
	B - Pavimento	
	C - Segurança Viária	
	D - Sinalização	
	E - Dispositivos de Drenagem	
	F - Equipamentos operacionais	
2 - INSPEÇÃO	A - Obra de Arte Especial	LAUDO - análise técnica baseada em boas práticas e ferramentas de análise de prioridade.
	B - Pavimento	LAUDO - análise técnica baseada em boas práticas e ferramentas de análise de prioridade.
	C - Segurança Viária	LAUDO - análise técnica baseada nas BOAS PRÁTICAS e ferramentas de análise de prioridade, tal como irap.
	D - Sinalização	LAUDO - análise técnica baseada em boas práticas e ferramentas de análise de prioridade, tal como irap.
	E - Dispositivos de Drenagem	LAUDO - análise técnica baseada em boas práticas e ferramentas de análise de prioridade.
	F - Equipamentos operacionais	LAUDO - análise técnica baseada em boas práticas e ferramentas de análise de prioridade.

FERRAMENTA DA ENGENHARIA DIAGNÓSTICA	ELEMENTO SISTEMA RODOVIÁRIO	RESULTADO
3 - AUDITORIA	A - Obra de Arte Especial	LAUDO - Atestamento técnico baseado na ABNT NBR 9452:2019, IPR DNIT (2004), Especificações ARTESP.
	B - Pavimento	LAUDO - Atestamento técnico baseada em normas técnicas ABNT.
	C - Segurança Viária	LAUDO - Atestamento técnico baseada nas normas ABNT e normas internacionais.
	D - Sinalização	LAUDO - Atestamento técnico baseada nas normas técnicas ABNT.
	E - Dispositivos de Drenagem	LAUDO - Atestamento técnico baseada nas normas técnicas ABNT.
	F - Equipamentos operacionais	LAUDO - Atestamento técnico baseada nas normas técnicas ABNT.
4 - PERÍCIA	Aplicado principalmente em caso de acidentes	LAUDO - Apuração das origens de um acidente.
5 - CONSULTORIA	Aplicado principalmente em caso de litígios entre a Concessionária e o Poder Concedente/ Agência Reguladora, bem como em casos de aprovação de inovação tecnológica.	PARECER - Prescrição técnica de um fato, condição, etc.

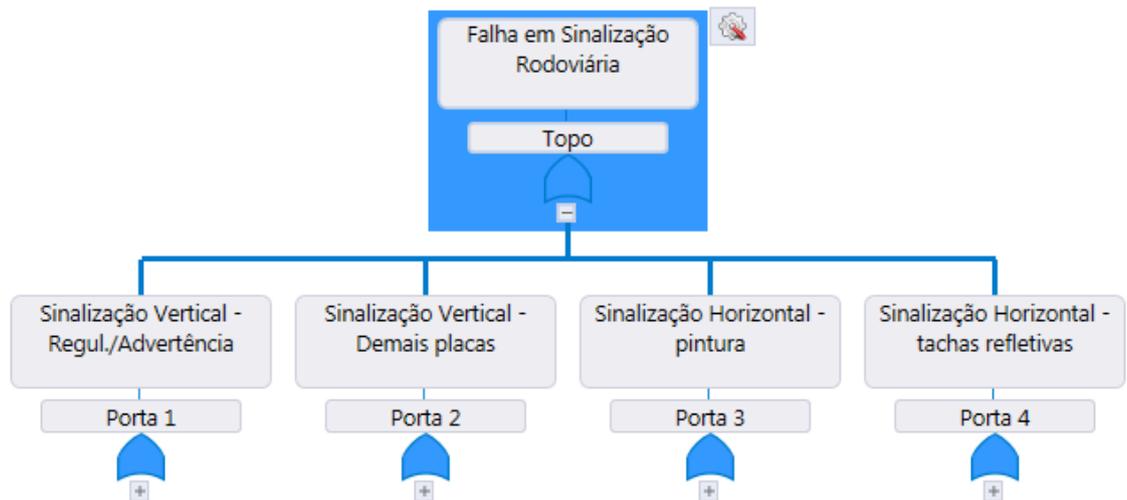
Fonte: Próprio autor (2020)

5.2 RESULTADOS DA INSPEÇÃO EM SINALIZAÇÃO RODOVIÁRIA

5.2.1 VARIÁVEIS CONSIDERADAS NA INSPEÇÃO DA SINALIZAÇÃO RODOVIÁRIA

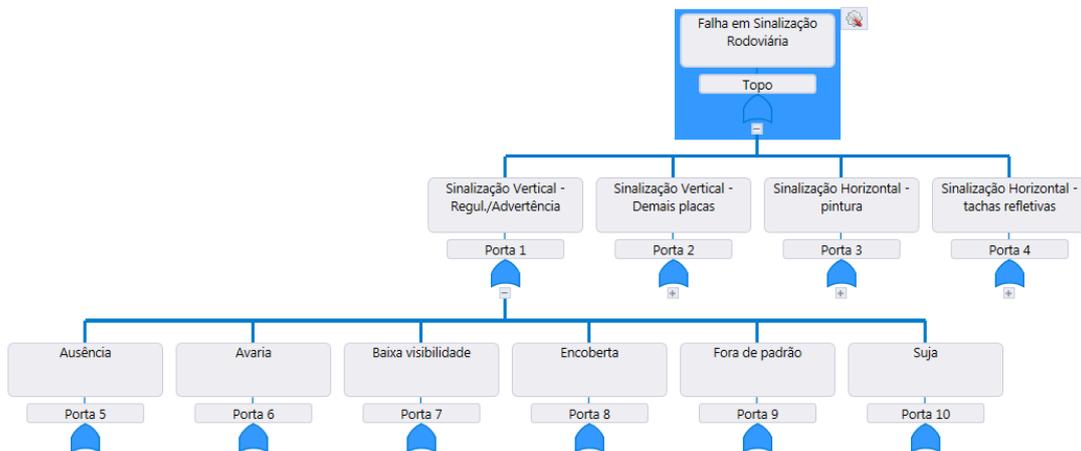
O diagrama de árvore (FTA) construído se inicia com um evento topo (Falha em Sinalização Rodoviária) e procede por todas as causas conhecidas e possíveis (portas lógicas) que podem conduzir à ocorrência desse evento topo. As conexões lógicas utilizadas foram a do tipo “ou”, o que quer dizer que a ocorrência de um desses eventos, mesmo que separadamente, conduz à ocorrência do evento topo. As figuras a seguir (Figura 20 a Figura 24) apresentam os resultados dos diagramas de árvore de falhas em sinalização rodoviária.

Figura 20- Diagrama de árvore para Falha em Sinalização Rodoviária – nível 1.



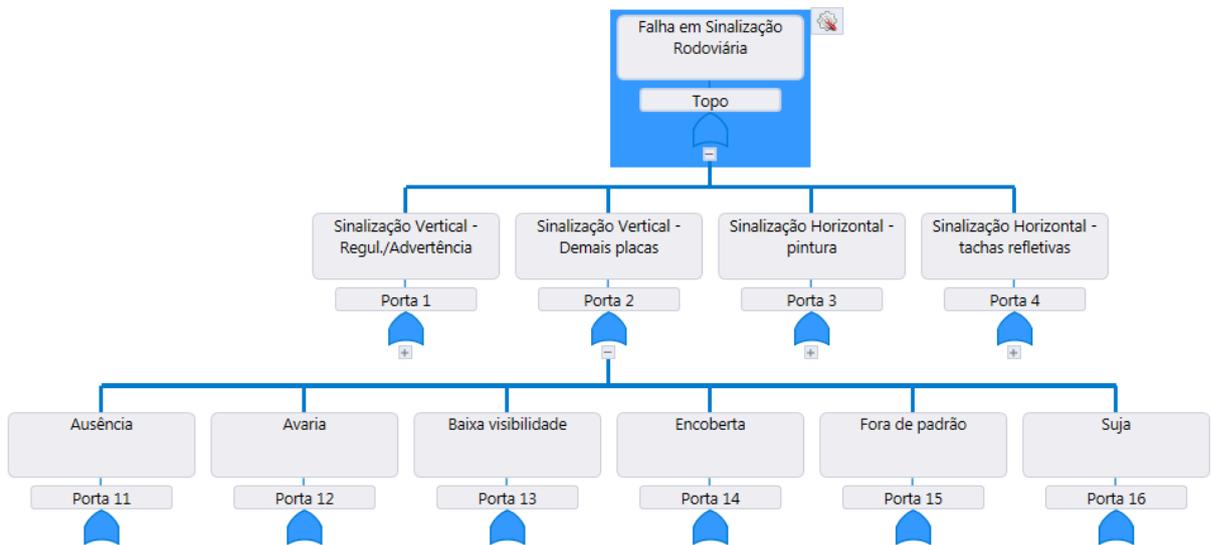
Fonte: Próprio autor (2020)

Figura 21- Diagrama de árvore para Falha em Sinalização Rodoviária – nível 2 – Sinalização Vertical de Regulamentação/Advertência.



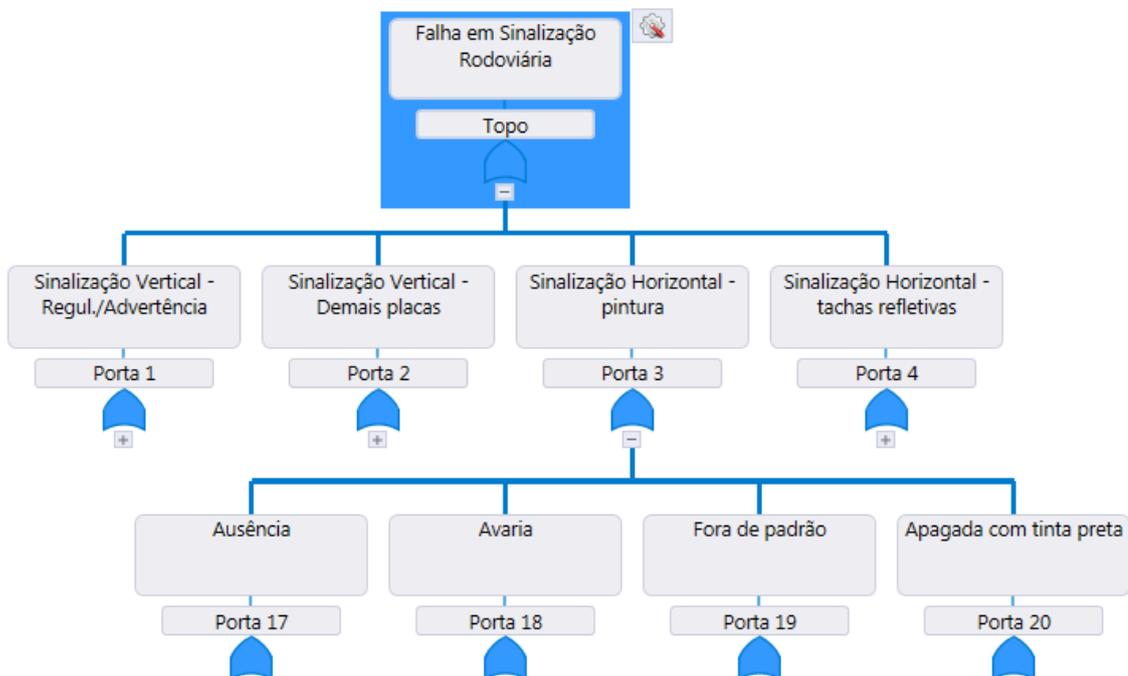
Fonte: Próprio autor (2020)

Figura 22- Diagrama de árvore para Falha em Sinalização Rodoviária – nível 2 – Sinalização Vertical – Demais placas.



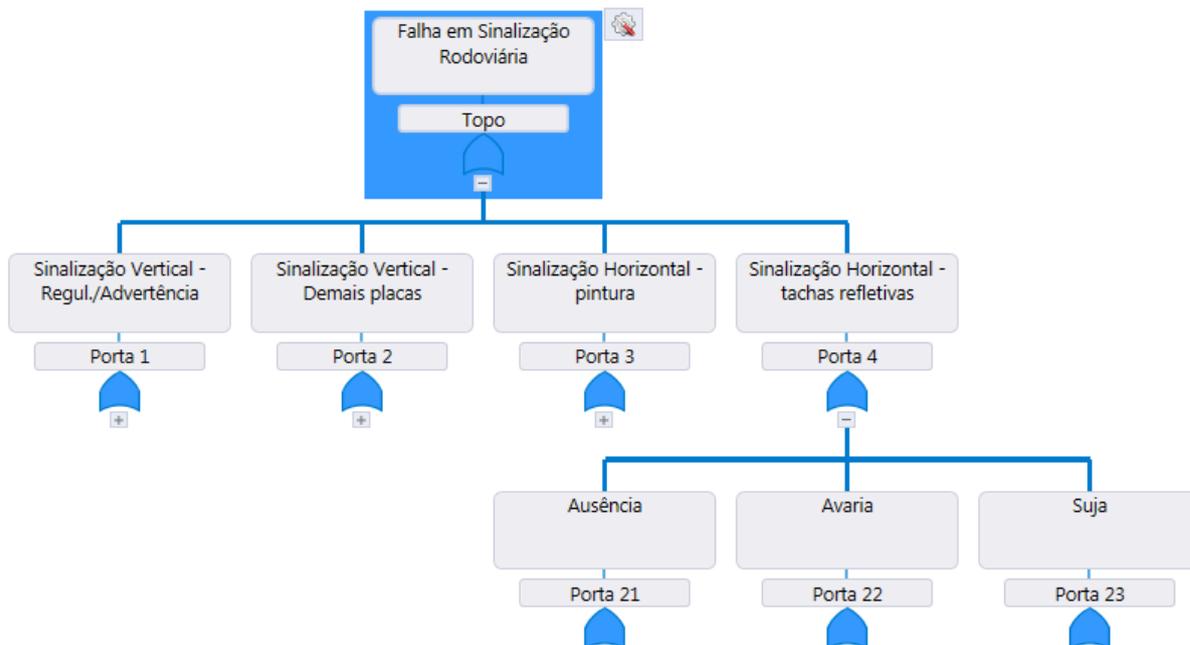
Fonte: Próprio autor (2020)

Figura 23- Diagrama de árvore para Falha em Sinalização Rodoviária – nível 2 – Sinalização Horizontal – Pintura.



Fonte: Próprio autor (2020)

Figura 24- Diagrama de árvore para Falha em Sinalização Rodoviária – nível 2 – Sinalização Horizontal – Tachas refletivas.



Fonte: Próprio autor (2020)

5.2.2 RESULTADOS PARA A CONCESSIONÁRIA 1 DA SP 310

De posse dos dados de inspeção em sinalização rodoviária na SP 310 – Rodovia Washington Luís, referente à Concessionária 1, apenas para o mês de janeiro de 2019, foi possível representar a relação dos tipos de anomalias mais comuns encontradas por categoria de sinalização. De acordo com os dados fornecidos pela ARTESP, o número de placas (sinalização vertical) no trecho da SP 310 da concessionária 1 é de 5.077 unidades. Já a extensão da sinalização horizontal no trecho da SP 310 da concessionária 1 é de 1.922,73 km, considerando a soma da extensão da sinalização horizontal conforme o Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito do CONTRAN, Vol. IV: linha de borda, linhas do eixo da rodovia, marcas de canalização e demais pinturas de solo (legendas, linhas de retenção, entre outras). A Tabela 5 abaixo apresenta um resumo dos tipos de anomalias por categoria de sinalização rodoviária. A anomalia do tipo sujeira não foi observada em sinalização vertical durante o mês de janeiro para esta concessionária.

Tabela 5- Anomalias em sinalização rodoviária em trecho da concessionária 1 da SP 310 (mês de janeiro/2019)

Categoria de sinalização	Tipos de anomalias					Total Geral
	Avaria	Ausência	Fora de Padrão	Encoberta	Baixa Visibilidade	
Sinalização Vertical de Regulamentação	14	15	7	2	2	40
Sinalização Vertical - Demais Placas	24	14		3	10	51
Sinalização Vertical de Advertência	3			1	2	6
Sinalização Horizontal - pintura	1	1				2
Sinalização Horizontal - tacha		2				2
Total Geral	42	32	7	6	14	101

Fonte: Próprio autor (2020)

O total de anomalias em sinalização rodoviária para a Concessionária 1 da SP 310 – Rodovia Washington Luís, considerando apenas o mês de janeiro de 2019, foi de 101 unidades. Os resultados demonstraram que houve predominância da anomalia em sinalização vertical – demais placas, com 51 apontamentos de não conformidades em campo, o que representa 50% das anomalias, seguido de 40% para sinalização vertical de regulamentação, 6% para sinalização vertical de advertência, 2% de sinalização horizontal – pintura e 2% de sinalização horizontal – tacha refletiva.

Quanto à distribuição das anomalias no geral, considerando-se o quantitativo total de anomalias no mês de janeiro de 2019, verificou-se que, para o trecho da concessionária 1 em estudo, houve predominância da anomalia do tipo avaria em sinalização vertical – demais placas (marcador de perigo, sinalização vertical indicativa, etc), com 24% do total de não conformidades apontadas. A segunda anomalia que mais ocorreu nesse período foi a de ausência de sinalização vertical de regulamentação, com 15% dos apontamentos, seguida pela anomalia de ausência de sinalização vertical – demais placas e avaria em sinalização vertical de regulamentação, ambas com 14% dos apontamentos. Em seguida, figurou a anomalia de baixa visibilidade em sinalização vertical – demais placas, com 10% dos casos. Já para a sinalização horizontal, houve apenas 4% apontamentos de não conformidades, considerando o período de análise e o trecho em estudo. Desses 4% de apontamentos, a anomalia ausência figurou com 3% do total de não conformidades (1%

para ausência de pintura e 2% para ausência de tacha refletiva), restando apenas 1% dos apontamentos para a anomalia de avaria em sinalização horizontal (ver Tabela 6).

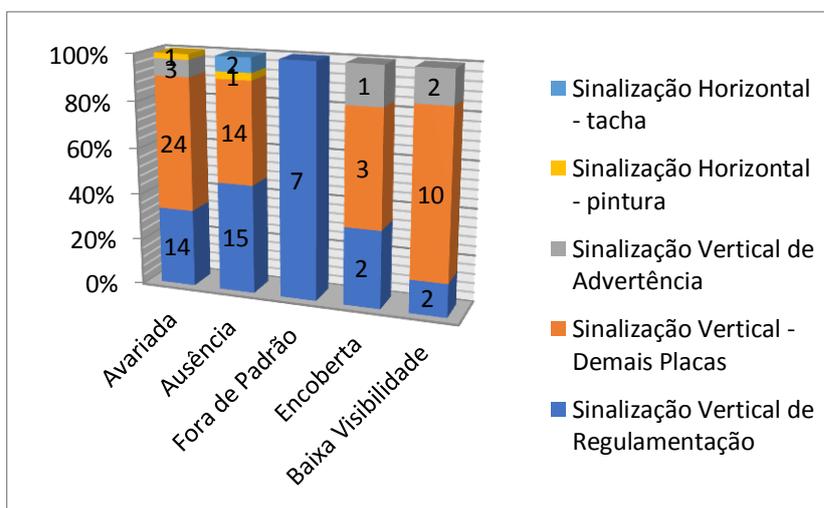
Tabela 6- Distribuição percentual de anomalias em relação ao total de apontamentos (concessionária 1)

Categoria de sinalização	Tipos de anomalias					Total Geral
	Avaria	Ausência	Fora de Padrão	Encoberta	Baixa Visibilidade	
Sinalização Vertical de Regulamentação	14%	15%	7%	2%	2%	40%
Sinalização Vertical - Demais Placas	24%	14%	0%	3%	10%	50%
Sinalização Vertical de Advertência	3%	0%	0%	1%	2%	6%
Sinalização Horizontal - pintura	1%	1%	0%	0%	0%	2%
Sinalização Horizontal - tacha	0%	2%	0%	0%	0%	2%
Total Geral	42%	32%	7%	6%	14%	100%

Fonte: Próprio autor (2020)

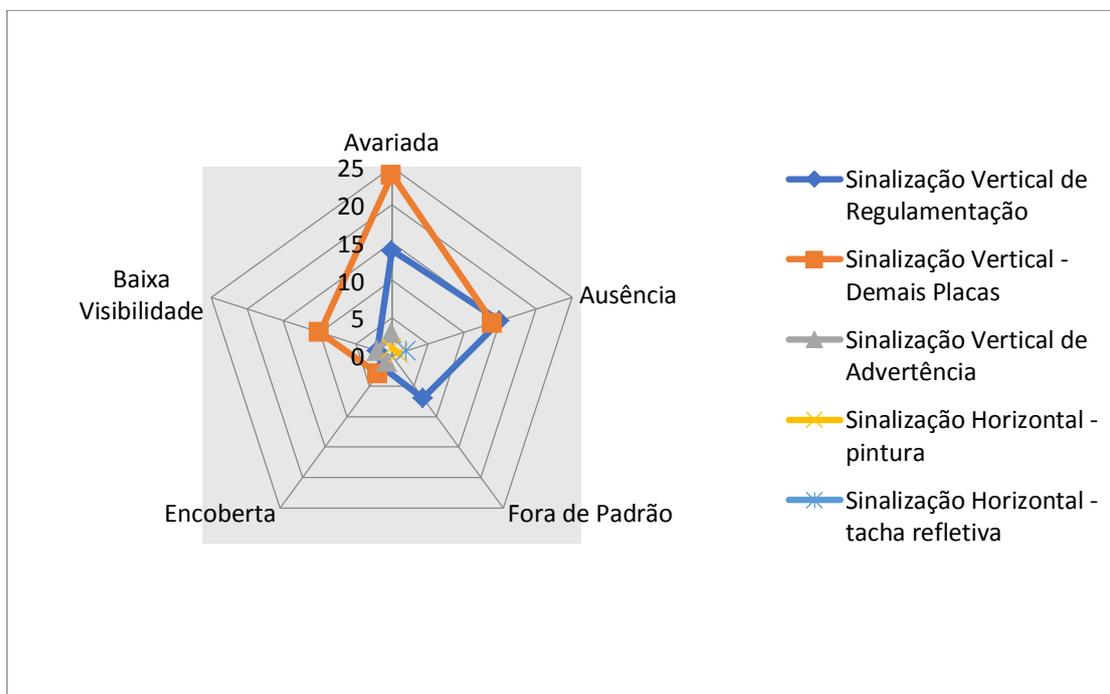
Para facilitar a visualização dos resultados, foi elaborado o gráfico da Figura 25, de modo a representar a distribuição de anomalias por categoria de sinalização rodoviária. Ressalta-se que a anomalia “sujeira” não foi observada praa a Concessionária 1 no mês considerado. Além disso, foi elaborado o gráfico Figura 26, de modo a representar a distribuição de anomalias por categoria de sinalização rodoviária.

Figura 25- Representação gráfica de distribuição de anomalias por categoria de sinalização rodoviária da concessionária 1



Fonte: Próprio autor (2020)

Figura 26- Gráfico de radar com anomalias para sinalização rodoviária da concessionária 1



Fonte: Próprio autor (2020)

5.2.3 RESULTADOS PARA A CONCESSIONÁRIA 2 DA SP 310

De modo análogo, com os dados de inspeção em sinalização rodoviária na SP 310 – Rodovia Washington Luís, referente à Concessionária 2, apenas para o mês de janeiro de 2019, foi possível representar a relação dos tipos de anomalias mais comuns encontradas por categoria de sinalização. De acordo com os dados fornecidos pela ARTESP, o número de placas (sinalização vertical) no trecho da SP 310 da concessionária 2 é de 2472 unidades. Já a extensão da sinalização horizontal no trecho da SP 310 da concessionária 2 é de 629,80 km, considerando a soma da extensão da sinalização horizontal conforme o Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito do CONTRAN, Vol. IV linha de borda, linhas do eixo da rodovia, marcas de canalização e demais pinturas de solo (legendas, linhas de retenção, entre outras). A Tabela 7 abaixo apresenta um resumo dos tipos de anomalias por categoria de sinalização rodoviária. A anomalia do tipo baixa visibilidade não foi observada em sinalização vertical durante o mês de janeiro para esta concessionária.

Tabela 7- Anomalias em sinalização rodoviária em trecho da concessionária 2 da SP 310 (mês de janeiro/2019)

Categoria de sinalização	Tipos de anomalias						Total Geral
	Avaria	Ausência	Fora de Padrão	Suja	Encoberta	Conflitante	
Sinalização Vertical de Regulamentação	4	8	4		1		17
Sinalização Vertical - Demais Placas	3	1	1				5
Sinalização Vertical de Advertência	11	25	12		1		49
Sinalização Horizontal - pintura	13	83	1	18		2	117
Sinalização Horizontal - tacha	1	2					3
Total Geral	32	119	18	18	2	2	191

Fonte: Próprio autor (2020)

O total de anomalias em sinalização rodoviária para a Concessionária 2 da SP 310 – Rodovia Washington Luís, considerando apenas o mês de janeiro de 2019, foi de 191 unidades. Os resultados demonstraram que houve predominância da anomalia em pintura de sinalização horizontal, com 117 apontamentos de não conformidades em campo, o que representa 60% das anomalias, seguido de 26% para sinalização vertical de advertência, 9% para sinalização vertical de regulamentação, 3% de sinalização vertical – demais placas e 2% de sinalização horizontal – tacha refletiva.

Quanto à distribuição das anomalias no geral, considerando-se o quantitativo total de anomalias no mês de janeiro de 2019, verificou-se que, para o trecho da concessionária 2 em estudo, houve predominância da anomalia do tipo ausência de pintura em sinalização horizontal, com de 43 % do total de não conformidades apontadas. A segunda anomalia que mais ocorreu nesse período foi a de ausência de sinalização vertical de advertência, com 13 % dos apontamentos. Quanto às não conformidades apontadas em sinalização horizontal, a anomalia de sujeira em pintura de sinalização horizontal apareceu com 9 % dos apontamentos. As anomalia de avaria em tacha refletiva de sinalização horizontal foi constatada em apenas 1% dos casos (ver Tabela 8).

Tabela 8- Distribuição percentual de anomalias em relação ao total de apontamentos (concessionária 2)

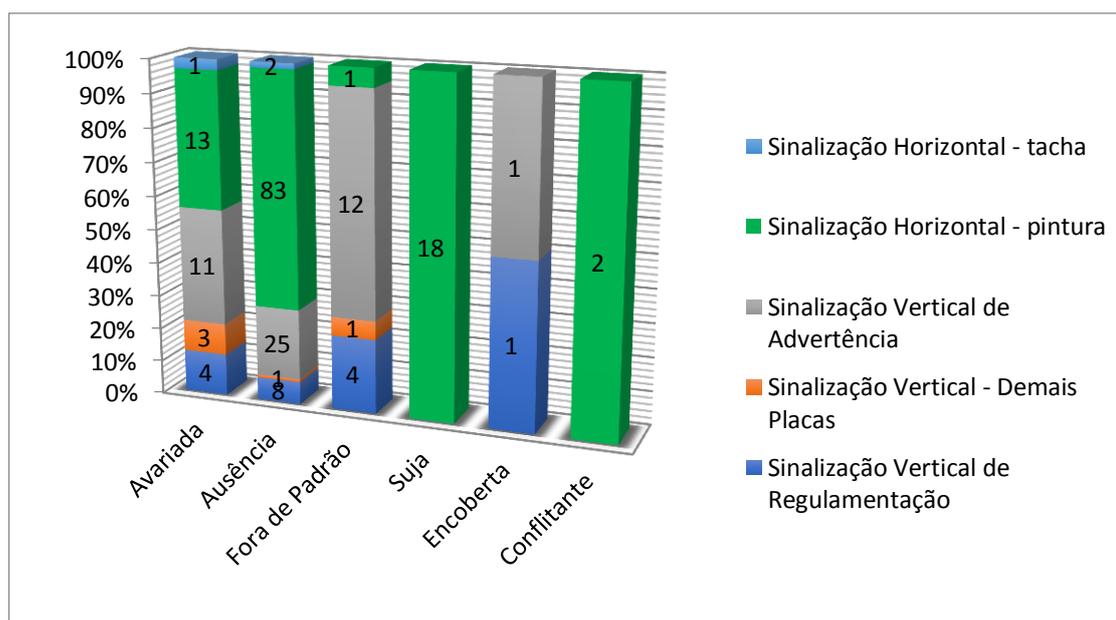
Categoria de sinalização	Tipos de anomalias						Total Geral
	Avaria	Ausência	Fora de Padrão	Suja	Encoberta	Conflitante	
Sinalização Vertical de Regulamentação	2%	4%	2%	0%	1%	0%	9%
Sinalização Vertical - Demais Placas	2%	1%	1%	0%	0%	0%	3%
Sinalização Vertical de Advertência	6%	13%	6%	0%	1%	0%	26%
Sinalização Horizontal - pintura	7%	43%	1%	9%	0%	1%	60%
Sinalização Horizontal - tacha	1%	1%	0%	0%	0%	0%	2%
Total Geral	49%	32%	7%	4%	8%		100%

Fonte: Próprio autor (2020)

Para facilitar a visualização dos resultados, foi elaborado o gráfico da Figura 27, de modo a representar a distribuição de anomalias por categoria de sinalização rodoviária. Ressalta-se que a anomalia “baixa visibilidade” não foi observada para a Concessionária 2 no mês considerado.

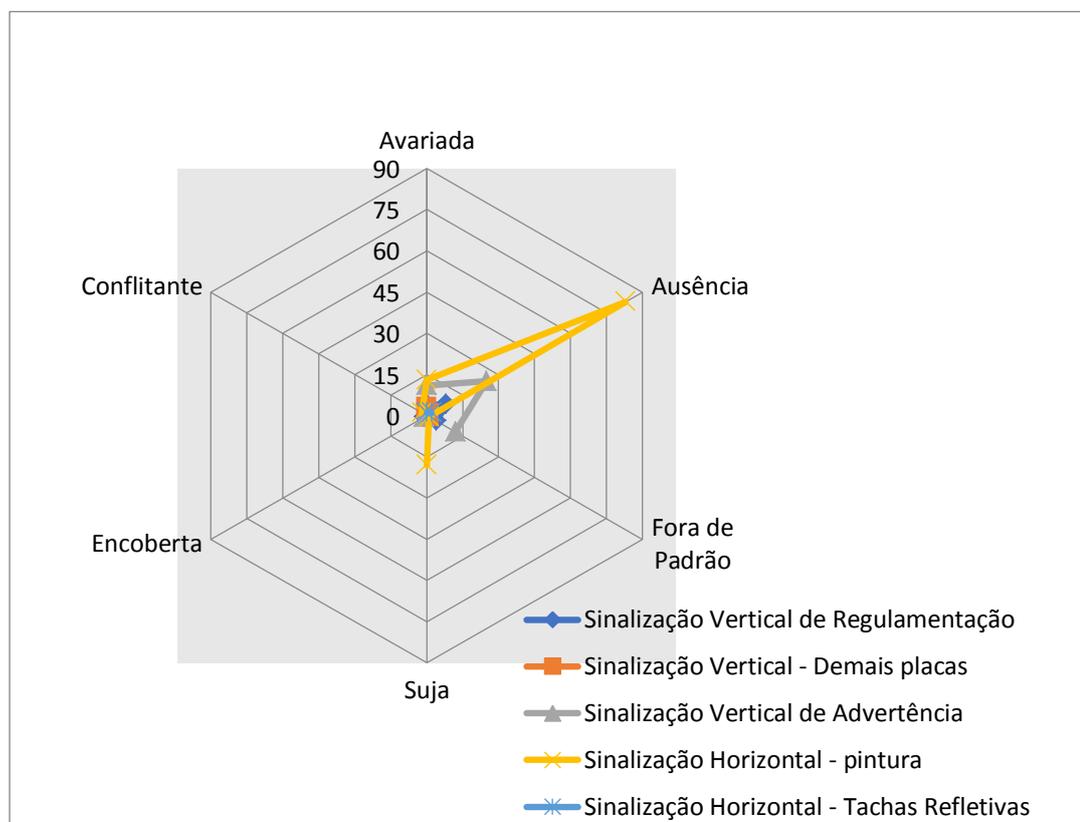
Além disso, foi elaborado o gráfico da Figura 28, de modo a representar a distribuição de anomalias por categoria de sinalização rodoviária.

Figura 27- Representação gráfica de distribuição de anomalias por categoria de sinalização rodoviária da concessionária 2



Fonte: Próprio autor (2020)

Figura 28- Gráfico de radar com anomalias para sinalização rodoviária da concessionária 2



Fonte: Próprio autor (2020)

5.2.4 ANÁLISE COMPARATIVA DOS RESULTADOS DE NÃO CONFORMIDADES EM SINALIZAÇÃO PARA AS DUAS CONCESSIONÁRIAS DA SP 310

Quanto à distribuição das anomalias no trecho concedido da SP 310 – Rodovia Washington Luís, considerando-se apenas o quantitativo total de anomalias no mês de janeiro de 2019, verificou-se que, para o trecho da concessionária 1 em estudo, houve predominância de anomalia em sinalização vertical, com 96% do total de não conformidades apontadas em sinalização rodoviária para esse trecho. Já para o trecho da concessionária 2 em estudo, houve predominância de anomalia em sinalização horizontal, com 62% do total de não conformidades apontadas em sinalização rodoviária para esse trecho. Além disso, enquanto para o trecho da concessionária 1 a anomalia que mais teve ocorrência foi a ausência em sinalização vertical – demais placas, para o trecho da concessionária 2, a anomalia mais frequente foi a ausência de pintura em sinalização horizontal.

Esses números, abordados de uma forma geral, não possibilitam aos tomadores de decisão ligados à conservação em sinalização rodoviária a adotarem medidas para tratarem o risco (mitigar, evitar, etc) de surgimento de novas anomalias nesse elemento rodoviário, nem mesmo decidirem sobre a ordem de prioridade de manutenção em sinalização

rodoviária. No entanto, o levantamento periódico do quantitativo de não conformidades em sinalização rodoviária pode indicar uma tendência de surgimento de anomalias em determinado trecho rodoviário.

De posse de dados fornecidos pela ARTESP, pode-se perceber que uma das metodologias que os especialistas em regulação de transportes da agência utilizam para a verificação da tendência de surgimento de anomalias em sinalização rodoviária é a comparação do Índice de Não Conformidades (I_{NC}) observadas mensalmente. Esse índice é calculado conforme a Equação 6 abaixo:

$$I_{NC} = \frac{NC \times 10^6}{VDM \times Extensão \times Período} \quad \text{Equação 6}$$

Em que:

I_{NC} é o Índice de Não Conformidades observadas no mês;

NC é o número de não conformidades observadas no mês;

VDM é o Volume Diário Médio ponderado para o trecho analisado;

$Extensão$ é o comprimento do trecho analisado (km);

$Período$ é considerado o número de dias analisados no mês;

Logo, são apresentados a seguir os valores desse índice para cada uma das concessionárias (1 e 2), considerando as não conformidades em sinalização rodoviária para o mês de janeiro de 2019 e os dados de VDM ponderado fornecidos pela ARTESP:

Para a concessionária 1 (lote 9), considerando não conformidades em sinalização vertical:

$$I_{NC} = \frac{97 \times 10^6}{22.727 \times 226,50 \times 31} = 0,61$$

Para a concessionária 1 (lote 9), considerando não conformidades em sinalização horizontal:

$$I_{NC} = \frac{4 \times 10^6}{22.727 \times 226,50 \times 31} = 0,03$$

Para a concessionária 2 (lote 8), considerando não conformidades em sinalização vertical:

$$I_{NC} = \frac{71 \times 10^6}{32.746 \times 74,55 \times 31} = 0,95$$

Para a concessionária 2 (lote 8), considerando não conformidades em sinalização horizontal:

$$I_{NC} = \frac{120 \times 10^6}{32.746 \times 74,55 \times 31} = 1,60$$

Dessa forma, de posse do histórico fornecido pela ARTESP das não conformidades em sinalização rodoviária para o período de uma 12 meses (de fevereiro de 2018 a janeiro de 2019), foram obtidos pelo Quadro 16 e pelo Quadro 17Quadro 17- a seguir:

Quadro 16- Quantidade de não conformidades mensal por concessionária

mês/an o	CONCESSIONÁRIA 1		CONCESSIONÁRIA 2	
	QUANTIDADE DE NC		QUANTIDADE DE NC	
	Sinalização Vertical	Sinalização Horizontal	Sinalização Vertical	Sinalização Horizontal
fev/18	131	20	41	10
mar/18	102	39	46	21
abr/18	65	50	30	8
mai/18	94	95	47	39
jun/18	109	66	47	12
jul/18	74	143	48	21
ago/18	140	43	46	32
set/18	118	21	51	12
out/18	106	6	46	22
nov/18	53	10	79	74
dez/18	108	12	52	13
jan/19	97	4	71	120

Fonte: Adaptado de AGÊNCIA REGULADORA DE SERVIÇOS PÚBLICOS DELEGADOS DE TRANSPORTE DO ESTADO DE SÃO PAULO (2019b)

Quadro 17- Índice de não conformidades mensal por concessionária

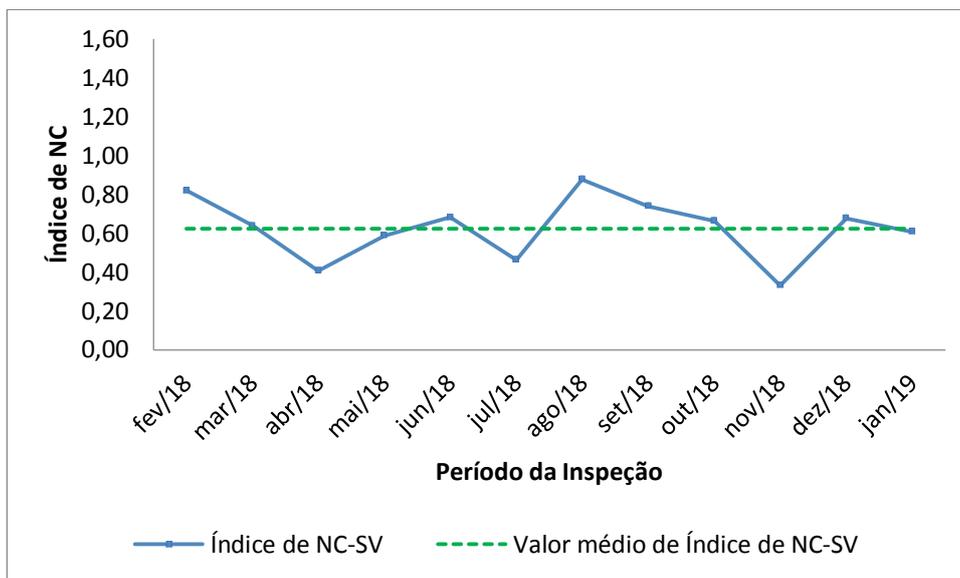
mês/ ano	CONCESSIONÁRIA 1		CONCESSIONÁRIA 2	
	ÍNDICE DE NC		ÍNDICE DE NC	
	Sinalização Vertical	Sinalização Horizontal	Sinalização Vertical	Sinalização Horizontal
fev/18	0,82	0,13	0,55	0,13
mar/18	0,64	0,24	0,61	0,28
abr/18	0,41	0,31	0,40	0,11
mai/18	0,59	0,60	0,63	0,52
jun/18	0,68	0,41	0,63	0,16
jul/18	0,46	0,90	0,64	0,28
ago/18	0,88	0,27	0,61	0,43
set/18	0,74	0,13	0,68	0,16
out/18	0,66	0,04	0,61	0,29
nov/18	0,33	0,06	1,05	0,99
dez/18	0,68	0,08	0,69	0,17
jan/19	0,61	0,03	0,95	1,60

Fonte: Adaptado de AGÊNCIA REGULADORA DE SERVIÇOS PÚBLICOS DELEGADOS DE TRANSPORTE DO ESTADO DE SÃO PAULO (2019b)

O histórico de não conformidades mostra que o mês de janeiro de 2019 apresentou diferentes realidades para as concessionárias 1 e 2 da rodovia SP 310. O valor médio do Índice de Não Conformidades em sinalização vertical (Índice de NC-SV), para a concessionária 1, foi de 0,63, o que equivale a aproximadamente a 100 não conformidades, bem próximo do valor para o mês de janeiro de 2019: 97 não conformidades (vide a

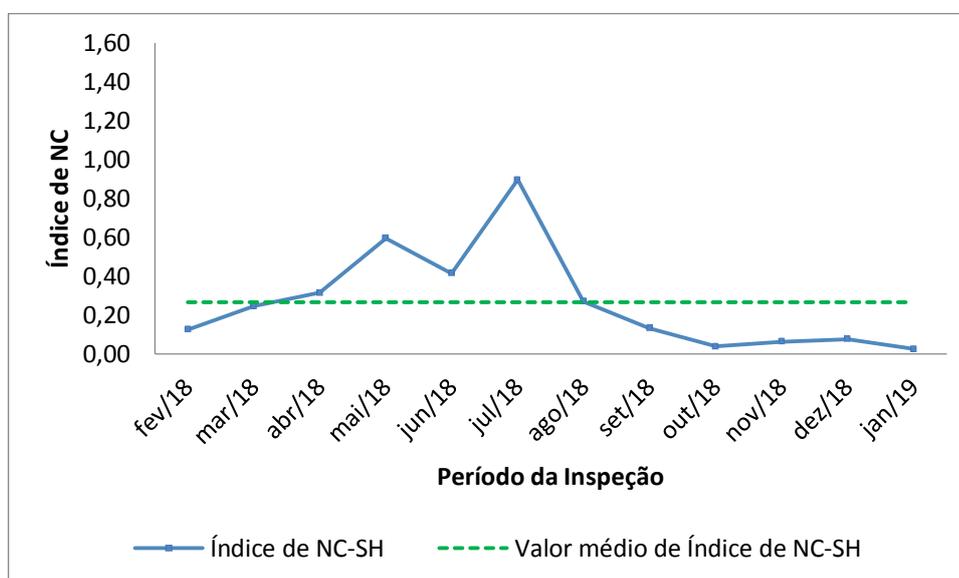
Figura 29). Já o valor médio do Índice de Não Conformidades em sinalização horizontal (Índice de NC-SH), para a concessionária 1, foi de 0,27 (aproximadamente 43 não conformidades), o que representa 0,24 pontos acima do respectivo valor obtido para o mês de janeiro de 2019: 0,03 (4 não conformidades), conforme a Figura 30. Para a concessionária 2, O valor médio do Índice de Não Conformidades em sinalização vertical (Índice de NC-SV) foi de 0,67 (aproximadamente 50 não conformidades), o que corresponde a 0,28 pontos abaixo do respectivo valor obtido para o mês de janeiro de 2019: 0,95 (71 não conformidades), de acordo com a Figura 31. Ainda se tratando desta concessionária, o valor médio do Índice de Não Conformidades em sinalização horizontal (Índice de NC-SH) foi de 0,43 (aproximadamente 32 não conformidades), o que representa 1,17 pontos abaixo do respectivo valor obtido para o mês de janeiro de 2019: 1,60 (120 não conformidades), como pode ser visto pela Figura 32.

Figura 29- Índices de Não Conformidades em sinalização vertical para concessionária 1 da SP 310



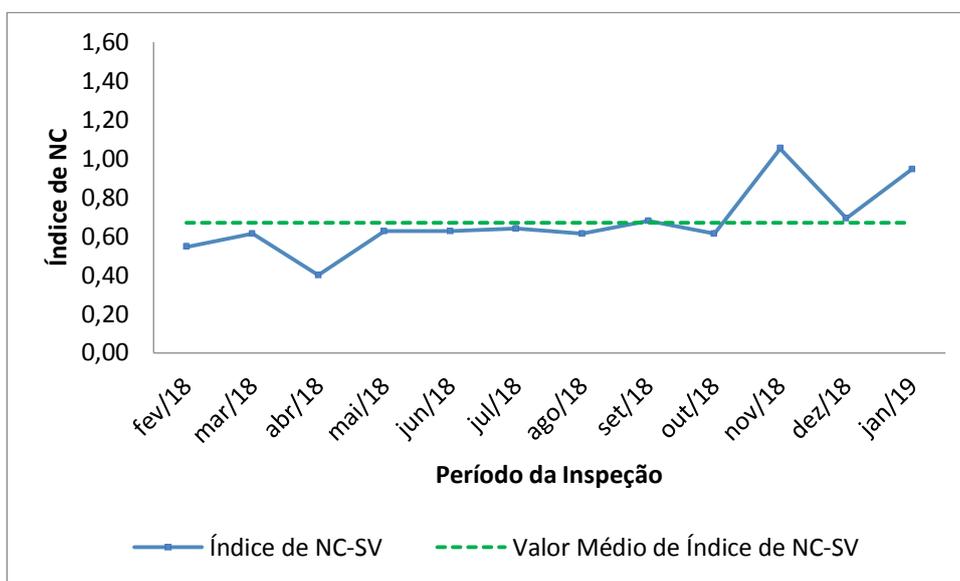
Fonte: Próprio autor (2020)

Figura 30- Índices de Não Conformidades em sinalização horizontal para concessionária 1 da SP 310



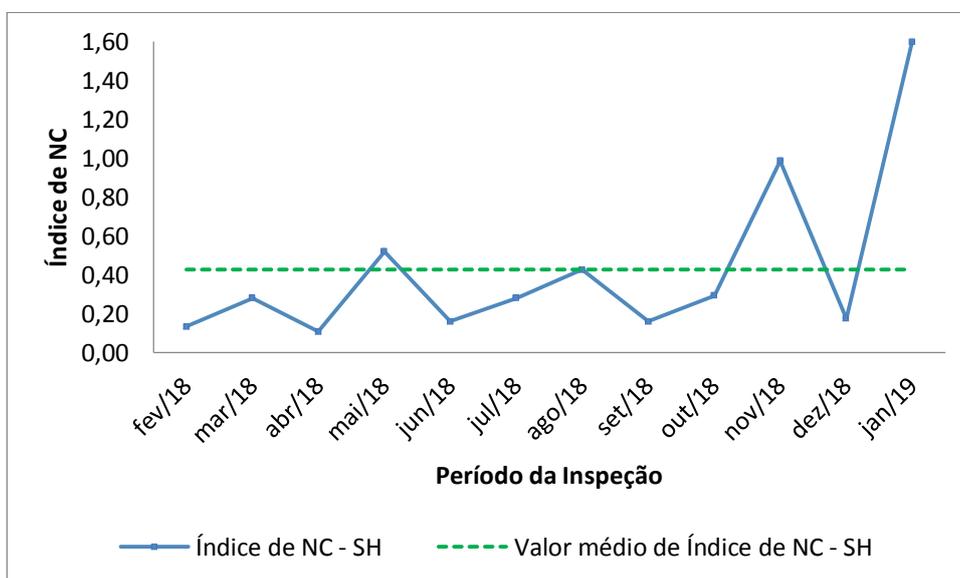
Fonte: Próprio autor (2020)

Figura 31- Índices de Não Conformidades em sinalização vertical para concessionária 2 da SP 310



Fonte: Próprio autor (2020)

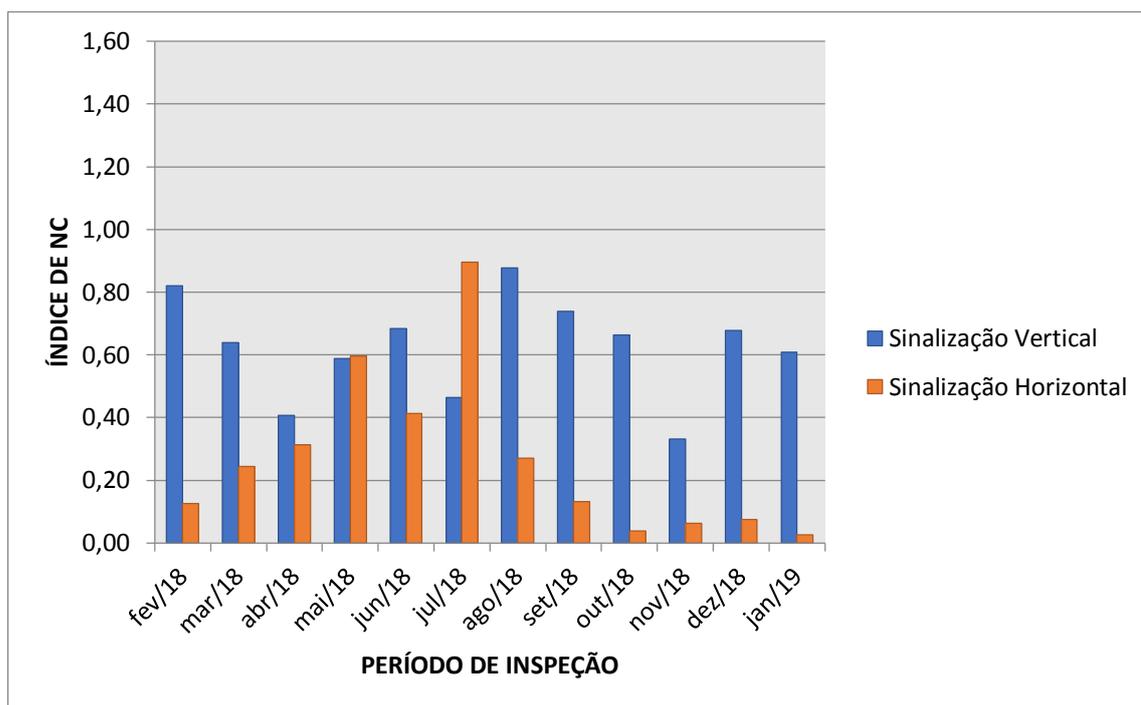
Figura 32- Índices de Não Conformidades em sinalização horizontal para concessionária 2 da SP 310



Fonte: Próprio autor (2020)

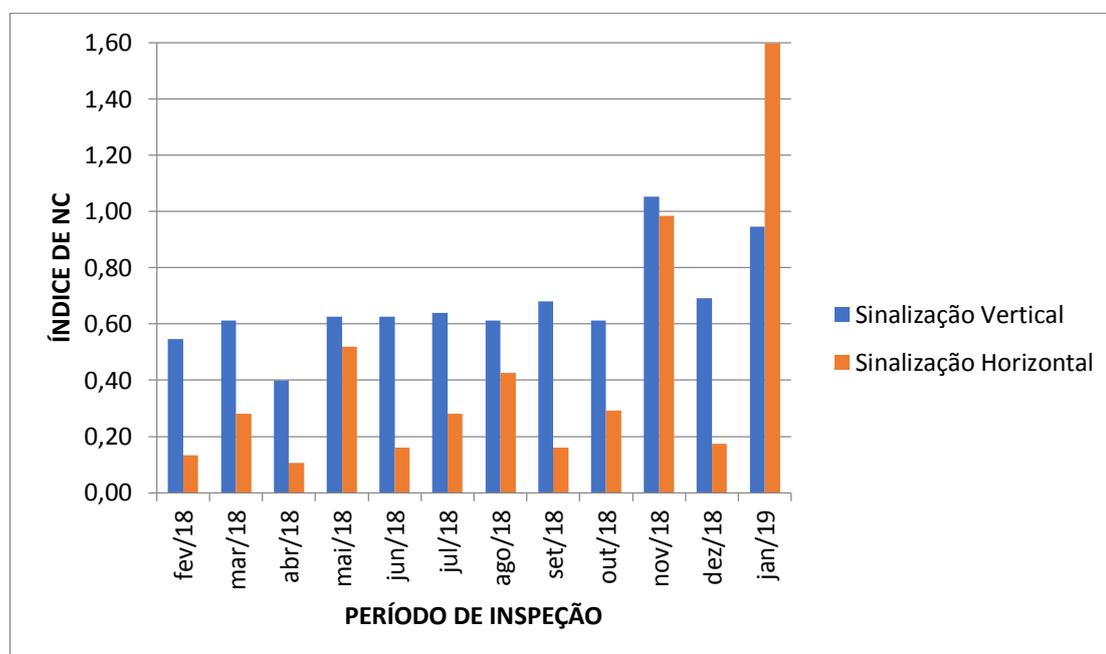
Para se permitir uma comparação visual entre os Índices de Não Conformidades em sinalização vertical e horizontal, para cada concessionária da SP 310, foram gerados também os gráficos da Figura 33 e da Figura 34 a seguir:

Figura 33- Gráfico de Índice de Não Conformidades mensal para concessionária 1



Fonte: Próprio autor (2020)

Figura 34- Gráfico de Índice de Não Conformidades mensal para concessionária 2



Fonte: Próprio autor (2020)

Enquanto para a Concessionária 1 o número de não conformidades em sinalização vertical para o mês de janeiro de 2019 foi amplamente superior ao número de não

conformidades em sinalização horizontal, para a Concessionária 2 o número de não conformidades em sinalização horizontal superou o número de não conformidades em sinalização vertical. Percebe-se, porém, que esta superação do número de não conformidades ocorreu pontualmente, visto que, nos demais meses de 2018, tanto para a concessionária 1 quanto para a concessionária 2, o número de anomalias, mês a mês, foi maior para a sinalização vertical do que para a sinalização horizontal. Até mesmo por esse motivo, para a aplicação da metodologia AHP no estudo de caso, foram consideradas apenas as anomalias em sinalização vertical, somado ao fato de que, reduzindo as variáveis, a matriz de comparação paritária também seria menor. Para a aplicação da FMEA, por ser um método de mais fácil aplicação, foram consideradas as anomalias em sinalização vertical e horizontal.

5.3 RESULTADO DA APLICAÇÃO DA FERRAMENTA DE ANÁLISE DE FALHAS POTENCIAIS À SINALIZAÇÃO RODOVIÁRIA

Os resultados qualitativos da ferramenta de análise do modo e efeitos de falha (FMEA) aplicada à sinalização rodoviária, no que diz respeito ao nome e função do componente da sinalização rodoviária, bem como do modo, efeitos e causas possíveis para as falhas neste componente, são apresentados pelo Quadro 18 a seguir:

Quadro 18- Resultados qualitativos da FMEA à sinalização rodoviária

ITEM	NOME DO COMPONENTE	FUNÇÃO DO COMPONENTE	FALHAS POSSÍVEIS		
			MODO	EFEITOS	CAUSAS
1	SINALIZAÇÃO VERTICAL DE REGULAMENTAÇÃO	Apresentar os sinais de regulamentação aos usuários da rodovia	Placa Avariada	Sinal Imperceptível ao usuário	Vandalismo/Acidentes
			Ausência de Placa	Usuário não é advertido	Falta de Previsão em Projeto/Inexecução de Obra
			Placa fora de Padrão	Comprometimento da Advertência ou Regulação	Erro de Projeto/Execução
			Placa suja	Sinal Imperceptível ao usuário	Falta de Limpeza das placas
			Placa Encoberta	Sinal Imperceptível ao usuário	Falta de manutenção no local
			Placa c/ baixa Visibilidade	Sinal Imperceptível ao usuário	Erro de Projeto/Execução

ITEM	NOME DO COMPONENTE	FUNÇÃO DO COMPONENTE	FALHAS POSSÍVEIS		
			MODO	EFEITOS	CAUSAS
2	SINALIZAÇÃO VERTICAL DE ADVERTÊNCIA	Apresentar os sinais de advertência aos usuários da rodovia	Placa Avariada	Sinal Imperceptível ao usuário	Vandalismo/Acidentes
			Ausência de Placa	Usuário não é advertido	Falta de Previsão em Projeto/Inexecução de Obra
			Placa fora de Padrão	Comprometimento da Advertência ou Regulação	Erro de Projeto/Execução
			Placa suja	Sinal Imperceptível ao usuário	Falta de Limpeza das placas
			Placa Encoberta	Sinal Imperceptível ao usuário	Falta de manutenção no local
			Placa c/ baixa Visibilidade	Sinal Imperceptível ao usuário	Erro de Projeto/Execução
3	SINALIZAÇÃO VERTICAL - DEMAIS PLACAS	Apresentar os sinais de regulamentação e advertência aos motoristas	Placa Avariada	Sinal Imperceptível ao usuário	Vandalismo/Acidentes
			Ausência de Placa	Usuário não é advertido	Falta de Previsão em Projeto/Inexecução de Obra
			Placa fora de Padrão	Comprometimento da Advertência ou Regulação	Erro de Projeto/Execução
			Placa suja	Sinal Imperceptível ao usuário	Falta de Limpeza das placas
			Placa Encoberta	Sinal Imperceptível ao usuário	Falta de manutenção no local
			Placa c/ baixa Visibilidade	Sinal Imperceptível ao usuário	Erro de Projeto/Execução
4	PINTURA DE SINALIZAÇÃO HORIZONTAL	Apresentar os sinais de solo referentes ao tráfego rodoviário	Pintura Avariada	Perda de noção de espaço	Desgaste/Vandalismo
			Ausência de Pintura	Perda de noção de espaço	Erro de Projeto/Execução
			Pintura fora de padrão	Dificuldade em distinguir os sinais	Erro de Projeto/Execução
			Pintura suja	Dificuldade em visualizar os sinais	Falta de Limpeza

ITEM	NOME DO COMPONENTE	FUNÇÃO DO COMPONENTE	FALHAS POSSÍVEIS		
			MODO	EFEITOS	CAUSAS
4	PINTURA DE SINALIZAÇÃO HORIZONTAL	Apresentar os sinais de solo referentes ao tráfego rodoviário	Pintura encoberta	Dificuldade em visualizar os sinais	Falta de manutenção no local
			Pintura com baixa visibilidade	Dificuldade em visualizar os sinais	Erro de Execução/Falta de manutenção no local
			Pintura encoberta/apagada com tinta preta	Dificuldade em visualizar os sinais	Erro de Execução/Falta de manutenção no local
5	SINALIZAÇÃO HORIZONTAL - TACHAS REFLETIVAS	Aumentar a visibilidade noturna referente à sinalização de solo	Tachas refletivas avariadas	Dificuldade em visualizar os sinais	Desgaste/Vandalismo
			Ausência de tachas refletivas	Perda de noção de espaço	Erro de Projeto/Execução
			Tachas refletivas fora de padrão	Dificuldade em distinguir os sinais	Erro de Projeto/Execução

Fonte: Próprio autor (2020)

O Quadro 19 e o 20 apresentam os resultados da aplicação da análise do modo e efeitos de falha (FMEA) para a Concessionária 1, enquanto o Quadro 21 e o Quadro 22 apresentam os resultados desta aplicação para a Concessionária 2 da SP 310 – Rodovia Washington Luís, após levantadas as ocorrências de anomalias em sinalização rodoviária, considerando apenas o mês de janeiro de 2019.

Quadro 19- Aplicação de FMEA à Sinalização Rodoviária da Concessionária 1

ITEM	NOME DO COMPONENTE	MODO	ANÁLISE				
			Frequência	Ocorrência	Gravidade	Detecção	Peso
1	SINALIZAÇÃO VERTICAL DE REGULAMENTAÇÃO	Placa Avariada	14	5	7	3	105
		Ausência de Placa	15	5	9	8	360
		Placa fora de Padrão	7	5	4	6	120
		Placa suja	0	0	5	2	0
		Placa Encoberta	2	4	8	3	96
		Placa c/ baixa Visibilidade	2	4	7	3	84
2	SINALIZAÇÃO VERTICAL DE ADVERTÊNCIA	Placa Avariada	3	4	5	3	60
		Ausência de Placa	0	0	8	8	0
		Placa fora de Padrão	0	0	3	6	0
		Placa suja	0	0	4	2	0
		Placa Encoberta	1	0	6	3	0
		Placa c/ baixa Visibilidade	2	4	7	3	84
3	SINALIZAÇÃO VERTICAL - DEMAIS PLACAS	Placa Avariada	24	5	6	3	90
		Ausência de Placa	14	5	8	8	320
		Placa fora de Padrão	0	0	3	6	0

ITEM	NOME DO COMPONENTE	MODO	ANÁLISE				
			Frequência	Ocorrência	Gravidade	Deteccção	Peso
3	SINALIZAÇÃO VERTICAL - DEMAIS PLACAS	Placa suja	0	0	5	2	0
		Placa Encoberta	3	4	7	3	84
		Placa c/ baixa Visibilidade	10	5	7	3	105
4	PINTURA DE SINALIZAÇÃO HORIZONTAL	Pintura Avariada	1	4	4	5	80
		Ausência de Pintura	1	4	9	7	252
		Pintura fora de padrão	0	0	4	8	0
		Pintura suja	0	0	4	3	0
		Pintura encoberta	0	0	8	3	0
		Pintura com baixa visibilidade	0	0	4	4	0
		Pintura encoberta/apa gada com tinta preta	0	0	6	4	0
5	SINALIZAÇÃO HORIZONTAL - TACHAS REFLETIVAS	Tachas refletivas avariadas	0	0	3	5	0
		Ausência de tachas refletivas	2	5	8	3	120
		Tachas refletivas fora de padrão	0	0	3	8	0

Fonte: Próprio autor (2020)

Quadro 20- Prioridade de manutenção em sinalização rodoviária pelo FMEA

ITEM	MODO DE FALHA	PESO	PRIORIDADE (RPN)
SINALIZAÇÃO VERTICAL - REGULAMENTAÇÃO	Ausência de Placa	360	1
SINALIZAÇÃO VERTICAL - DEMAIS PLACAS	Ausência de Placa	320	2
PINTURA DE SINALIZAÇÃO HORIZONTAL	Ausência de Pintura	252	3
SINALIZAÇÃO VERTICAL - REGULAMENTAÇÃO	Fora de padrão	120	4
SINALIZAÇÃO HORIZONTAL - TACHAS REFLETIVAS	Ausência de tachas refletivas	120	4
SINALIZAÇÃO VERTICAL - REGULAMENTAÇÃO	Placa Avariada	105	5
SINALIZAÇÃO VERTICAL - DEMAIS PLACAS	Placa c/ Baixa Visi	105	5
SINALIZAÇÃO VERTICAL - REGULAMENTAÇÃO	Placa Encoberta	96	6
SINALIZAÇÃO VERTICAL - DEMAIS PLACAS	Placa Avariada	90	7
SINALIZAÇÃO VERTICAL - REGULAMENTAÇÃO	Placa c/ Baixa Visi	84	8
SINALIZAÇÃO VERTICAL - ADVERTÊNCIA	Placa c/ Baixa Visi	84	8
SINALIZAÇÃO VERTICAL - DEMAIS PLACAS	Placa Encoberta	84	8
PINTURA DE SINALIZAÇÃO HORIZONTAL	Pintura avariada	80	9
SINALIZAÇÃO VERTICAL - ADVERTÊNCIA	Placa Avariada	60	10
DEMAIS ANOMALIAS	-	0	11

Fonte: Próprio autor (2020)

Quadro 21- Aplicação de FMEA à Sinalização Rodoviária da Concessionária 1

ITEM	NOME DO COMPONENTE	MODO	ANÁLISE				
			Frequência	Ocorrência	Gravidade	Deteccção	Peso
1	SINALIZAÇÃO VERTICAL DE REGULAMENTAÇÃO	Placa Avariada	4	5	7	3	105
		Ausência de Placa	8	5	9	8	360
		Placa fora de Padrão	4	5	4	6	120
		Placa suja	0	0	5	2	0
		Placa Encoberta	1	4	8	3	96
		Placa c/ baixa Visibilidade	0	0	7	3	0
2	SINALIZAÇÃO VERTICAL DE ADVERTÊNCIA	Placa Avariada	3	5	5	3	75
		Ausência de Placa	1	4	8	8	256
		Placa fora de Padrão	1	4	3	6	72
		Placa suja	0	0	4	2	0
		Placa Encoberta	0	0	6	3	0
		Placa c/ baixa Visibilidade	0	0	7	3	0
3	SINALIZAÇÃO VERTICAL - DEMAIS PLACAS	Placa Avariada	11	5	6	3	90
		Ausência de Placa	25	6	8	8	384

ITEM	NOME DO COMPONENTE	MODO	ANÁLISE				
			Frequência	Ocorrência	Gravidade	Detecção	Peso
3	SINALIZAÇÃO VERTICAL - DEMAIS PLACAS	Placa fora de Padrão	12	5	3	6	90
		Placa suja	0	0	5	2	0
		Placa Encoberta	1	4	7	3	84
		Placa c/ baixa Visibilidade	0	0	7	3	0
4	PINTURA DE SINALIZAÇÃO HORIZONTAL	Pintura Avariada	13	6	4	5	120
		Ausência de Pintura	83	7	9	7	441
		Pintura fora de padrão	1	4	4	8	128
		Pintura suja	18	6	4	3	72
		Pintura encoberta	0	0	8	3	0
		Pintura com baixa visibilidade	0	0	4	4	0
		Pintura encoberta/apa gada com tinta preta	2	5	6	4	120
5	SINALIZAÇÃO HORIZONTAL - TACHAS REFLETIVAS	Tachas refletivas avariadas	1	4	3	5	60
		Ausência de tachas refletivas	2	5	8	3	120
		Tachas refletivas fora de padrão	0	0	3	8	0

Fonte: Próprio autor (2020)

Quadro 22- Prioridade de manutenção em sinalização rodoviária pelo FMEA

ITEM	MODO DE FALHA	PESO	PRIORIDADE
PINTURA DE SINALIZAÇÃO HORIZONTAL	Ausência de pintura	441	1
SINALIZAÇÃO VERTICAL - DEMAIS PLACAS	Ausência de Placa	384	2
SINALIZAÇÃO VERTICAL - REGULAMENTAÇÃO	Ausência de Placa	360	3
SINALIZAÇÃO VERTICAL - ADVERTÊNCIA	Ausência de Placa	256	4
PINTURA DE SINALIZAÇÃO HORIZONTAL	Pintura fora de padrão	128	5
SINALIZAÇÃO VERTICAL - REGULAMENTAÇÃO	Placa fora de Padrão	120	6
PINTURA DE SINALIZAÇÃO HORIZONTAL	Pintura Avariada	120	6
PINTURA DE SINALIZAÇÃO HORIZONTAL	Pintura encoberta/apagada com tinta preta	120	6
SINALIZAÇÃO HORIZONTAL - TACHAS REFLETIVAS	Ausência de tachas refletivas	120	6
SINALIZAÇÃO VERTICAL - REGULAMENTAÇÃO	Placa Avariada	105	7
SINALIZAÇÃO VERTICAL - REGULAMENTAÇÃO	Placa Encoberta	96	8
SINALIZAÇÃO VERTICAL – DEMAIS PLACAS	Placa Avariada	90	9
SINALIZAÇÃO VERTICAL - DEMAIS PLACAS	Placa fora de Padrão	90	9
SINALIZAÇÃO VERTICAL - DEMAIS PLACAS	Placa Encoberta	84	10
SINALIZAÇÃO VERTICAL - ADVERTÊNCIA	Placa Avariada	75	11
PINTURA DE SINALIZAÇÃO HORIZONTAL	Pintura suja	72	12
SINALIZAÇÃO VERTICAL - ADVERTÊNCIA	Placa fora de Padrão	72	12
SINALIZAÇÃO HORIZONTAL - TACHAS REFLETIVAS	Tachas refletivas avariadas	60	13
DEMAIS ANOMALIAS	-	0	14

Fonte: Próprio autor (2020)

Quanto à aplicação desses resultados, foram selecionados como amostra dois trechos de 5,0 km da SP 310 – Rodovia Washington Luís, para cada uma das concessionárias. Ambos os trechos apresentaram anomalias em sinalização vertical e horizontal, conforme os dados obtidos para o mês de janeiro de 2019.

Para a concessionária 1, foram comparados os dados do trecho compreendido entre o km 347+000 e o km 352+000 (trecho 1) e o trecho compreendido entre o km 431+000 e o km 436+000 (trecho 2). As anomalias encontradas no primeiro trecho foram: i) ausência de sinalização vertical – demais placas (marcador de perigo MP-1), ii) ausência de sinalização vertical – demais placas (marcador de perigo MP-3) e iii) ausência de sinalização horizontal – pintura. Já para o segundo trecho, as anomalias encontradas foram: : i) avaria em sinalização vertical de advertência (sinal A-37 – altura limitada), ii) sinalização vertical –

demais placas – com baixa visibilidade (orientação de aproximação- Oap), iii) avaria em sinalização vertical de regulamentação (sinal R-27 – veículos pesados à direita), iv) avaria em sinalização horizontal – pintura. Dessa forma, a soma dos pesos de prioridade para cada um desses trechos, obtida pelo método de análise de falhas potenciais, representado pela Análise do Modo e Efeitos de Falha (FMEA), é dada por:

Logo:

$$IP_1 = \sum_{i=1}^3 P_{i,trecho 1} = P_{1,trecho 1} + P_{2,trecho 1} + P_{3,trecho 1} = 320 + 320 + 252 = 892$$

$$IP_2 = \sum_{i=1}^4 P_{i,trecho 2} = P_{1,trecho 2} + P_{2,trecho 2} + P_{3,trecho 2} + P_{4,trecho 2} = 60 + 105 + 105 + 80 = 350$$

Logo, para esses dois trechos da concessionária 1 em questão, a prioridade de manutenção seria dada para o primeiro trecho (entre o km 347+000 e 352+000) da SP 310 – Rodovia Washington Luís. Embora esta aplicação tenha sido realizada para um trecho de 5km, poderia facilmente ser aplicada para trechos maiores, sendo que o número de ocorrência de cada anomalia deveria ser multiplicada pelo seu respectivo peso encontrado pela aplicação do método de análise do modo e efeitos de falha (FMEA). Poderiam, portanto, ser analisados trechos de 5km, 10 km, entre outros, em relação à prioridade de manutenção em sinalização vertical rodoviária. Todas estas anomalias do trecho analisado da Concessionária 1 estão mostradas no Quadro 23 a seguir.

Quadro 23- Trechos comparados da Concessionária 1 – prioridade de manutenção pela FMEA

Localização			Não-conformidades (NC)				Correção
Item	km	Pista	Cód. A	Cód. B	Descrição	Evidência fotográfica	Evidência fotográfica
1	347+300	Sul	3	2	Ausência de placa MP-1		

Localização			Não-conformidades (NC)				Correção
Item	km	Pista	Cód. A	Cód. B	Descrição	Evidência fotográfica	Evidência fotográfica
2	348+600	Norte	3	2	Ausência de placa MP-3		
3	351+400	Sul	4	2	Sinalização horizontal insuficiente - pintura "PARE"		
4	431+550	Norte	2	6	Placa A-37 avariada (película danificada)		
5	434+850	Norte	3	6	Placa Oap com má visibilidade noturna		Concessionária não havia corrigido até o retorno da fiscalização em 15 dias.

Localização			Não-conformidades (NC)				Correção
Item	km	Pista	Cód. A	Cód. B	Descrição	Evidência fotográfica	Evidência fotográfica
6	435+070	Norte	1	1	Placa R-27 fora de prumo		
7	435+100	Sul	4	1	Sinalização horizontal apagada - zebrado		

Fonte: Adaptado de AGÊNCIA REGULADORA DE SERVIÇOS PÚBLICOS DELEGADOS DE TRANSPORTE DO ESTADO DE SÃO PAULO (2019b)

Para a concessionária 2, foram comparados os dados do trecho compreendido entre o km 168+000 e o km 173+000 (trecho 1) e o trecho compreendido entre o km 174+000 e o km 179+000 (trecho 2), conforme o Quadro 24. As anomalias encontradas no primeiro trecho foram: : i) avaria em sinalização vertical; ii) ausência de sinalização vertical; iii) sinalização vertical encoberta; iv) pintura de sinalização horizontal fora de padrão; v) pintura de sinalização horizontal suja; vi) avaria em sinalização horizontal – tacha refletiva. Já para o segundo trecho, as anomalias encontradas foram: : i) avaria em sinalização vertical; ii) sinalização vertical fora de padrão; iii) ausência de sinalização vertical; iv) avaria em sinalização horizontal – pintura; v) ausência de pintura em sinalização horizontal; vi) pintura de sinalização horizontal apagada. Dessa forma, a soma dos pesos de prioridade para cada um desses trechos, obtida pelo método de análise de falhas potenciais, representado pela Análise do Modo e Efeitos de Falha (FMEA), é dada por:

$$\sum_{i=1}^{17} P_{i,trecho 1} = 384 * 4 + 360 * 2 + 128 + 105 + 90 * 2 + 84 + 75 * 3 + 72 * 2 + 60 = 3182$$

$$\sum_{i=18}^{33} P_{i,trecho 2} = 441 + 384 * 6 + 120 * 5 + 105 * 2 + 90 + 75 = 3720$$

Em que:

P_i é o Peso atribuído a cada anomalia, obtido pela Análise do Modo e Efeitos de Falha (FMEA), para o trecho a ser analisado.

Logo, para esses dois trechos da concessionária 2 em questão, a prioridade de manutenção seria dada para o segundo trecho (entre o km 174+000 e 179+000) da SP 310 – Rodovia Washington Luís. Embora esta aplicação tenha sido realizada para um trecho de 5km, poderia facilmente ser aplicada para trechos maiores, sendo que o número de ocorrência de cada anomalia deveria ser multiplicada pelo seu respectivo peso encontrado pela aplicação do método de análise do modo e efeitos de falha (FMEA). Poderiam, portanto, ser analisados trechos de 5km, 10 km, entre outros, em relação à prioridade de manutenção em sinalização vertical rodoviária. Todas estas anomalias do trecho analisado da Concessionária 2 estão mostradas no Quadro 24 a seguir.

Quadro 24- Trechos comparados da Concessionária 2 – prioridade de manutenção pela FMEA

Localização			Não-conformidades (NC)				Correção
Item	km	Pista	Cód. A	Cód. B	Descrição	Evidência fotográfica	Evidência fotográfica
1	168+500	Norte	3	1	Sinalizaçã o Vertical avariada (Marcador de Perigo)		Concessionária não havia corrigido até o retorno da fiscalização em 15 dias.

Localização			Não-conformidades (NC)				Correção
Item	km	Pista	Cód. A	Cód. B	Descrição	Evidência fotográfica	Evidência fotográfica
2	169+450	Norte	5	1	Tachas sem retrorefletividade.		Concessionária não havia corrigido até o retorno da fiscalização em 15 dias.
3	170+030	Norte	2	1	Sinalização vertical de advertência avariada.		Concessionária não havia corrigido até o retorno da fiscalização em 15 dias.
4	170+990	Norte	3	2	Ausência de Marcador de Perigo (MP-2)		Concessionária não havia corrigido até o retorno da fiscalização em 15 dias.
5	171+120	Norte	3	2	Ausência de Marcador de Perigo (MP-2)		Concessionária não havia corrigido até o retorno da fiscalização em 15 dias.

Localização			Não-conformidades (NC)				Correção
Item	km	Pista	Cód. A	Cód. B	Descrição	Evidência fotográfica	Evidência fotográfica
6	171+130	Norte	3	1	Sinalizaçã o vertical danificada.		Concessionária não havia corrigido até o retorno da fiscalização em 15 dias.
7	171+260	Norte	3	2	Ausência de Marcador de Perigo (MP-2)		Concessionária não havia corrigido até o retorno da fiscalização em 15 dias.
8	171+400	Norte	1	2	Ausência de Placa de Regulame ntação R-24a		Concessionária não havia corrigido até o retorno da fiscalização em 15 dias.
9	171+800	Norte	3	5	Sinalizaçã o vertical encoberta por vegetação		

Localização			Não-conformidades (NC)				Correção
Item	km	Pista	Cód. A	Cód. B	Descrição	Evidência fotográfica	Evidência fotográfica
10	171+900	Norte	2	1	Sinalizaçã o vertical de advertênci a avariada.		
11	173+250	Norte	1	2	Ausência de Placa de Regulame ntação R-24b		Concessionária não havia corrigido até o retorno da fiscalização em 15 dias.
12	173+250	Norte	2	1	Ausência de Placa de Regulame ntação R-3		Concessionária não havia corrigido até o retorno da fiscalização em 15 dias.
13	173+080	Sul	4	3	Sinalizaçã o horizontal incompleta (fora de padrão)		Concessionária não havia corrigido até o retorno da fiscalização em 15 dias.

Localização			Não-conformidades (NC)				Correção
Item	km	Pista	Cód. A	Cód. B	Descrição	Evidência fotográfica	Evidência fotográfica
14	173+010	Sul	4	4	Sinalização horizontal prejudicada (linha de borda-LBO)		
15	172+970	Sul	3	2	Ausência de Marcador de Perigo (MP-2)		
16	172+960	Sul	4	4	Sinalização horizontal prejudicada com detritos (linha de borda-LBO)		
17	169+450	Sul	1	1	Sinalização vertical de regulamentação avariada.		Concessionária não havia corrigido até o retorno da fiscalização em 15 dias.

Localização			Não-conformidades (NC)				Correção
Item	km	Pista	Cód. A	Cód. B	Descrição	Evidência fotográfica	Evidência fotográfica
18	174+420	Norte	4	2	Ausência de sinalização horizontal - marca de sinalização (zebrado)		Concessionária não havia corrigido até o retorno da fiscalização em 15 dias.
19	174+480	Norte	3	2	Ausência de Marcador de Perigo (MP-2)		Concessionária não havia corrigido até o retorno da fiscalização em 15 dias.
20	174+580	Norte	2	1	Sinalização vertical de advertência avariada.		Concessionária não havia corrigido até o retorno da fiscalização em 15 dias.
21	174+585	Norte	1	1	Sinalização Vertical de Regulamentação avariada. (R-1)		Concessionária não havia corrigido até o retorno da fiscalização em 15 dias.

Localização			Não-conformidades (NC)				Correção
Item	km	Pista	Cód. A	Cód. B	Descrição	Evidência fotográfica	Evidência fotográfica
22	174+585	Norte	1	1	Sinalização Vertical de Regulamentação avariada. (R-24a)		Concessionária não havia corrigido até o retorno da fiscalização em 15 dias.
23	174+650	Norte	4	7	Sinalização horizontal antiga aparente.		Concessionária não havia corrigido até o retorno da fiscalização em 15 dias.
24	174+750	Norte	1	3	Sinalização vertical de regulamentação (R-24a) fora de prumo.		
25	175+030	Norte	3	2	Ausência de Marcador de Perigo (MP-2)		Concessionária não havia corrigido até o retorno da fiscalização em 15 dias.

Localização			Não-conformidades (NC)				Correção
Item	km	Pista	Cód. A	Cód. B	Descrição	Evidência fotográfica	Evidência fotográfica
26	176+700	Norte	3	2	Ausência de Marcador de Perigo (MP-2)		Concessionária não havia corrigido até o retorno da fiscalização em 15 dias.
27	177+200	Sul	4	1	Sinalização horizontal desgastada (Linha de Borda)		Concessionária não havia corrigido até o retorno da fiscalização em 15 dias.
28	176+900	Sul	4	1	Sinalização horizontal desgastada (Linha de Borda)		Concessionária não havia corrigido até o retorno da fiscalização em 15 dias.
29	176+770	Sul	4	1	Sinalização horizontal desgastada (Linha de Borda)		Concessionária não havia corrigido até o retorno da fiscalização em 15 dias.

Localização			Não-conformidades (NC)				Correção
Item	km	Pista	Cód. A	Cód. B	Descrição	Evidência fotográfica	Evidência fotográfica
30	176+500	Sul	3	2	Ausência de Marcador de Perigo (MP-2)		Concessionária não havia corrigido até o retorno da fiscalização em 15 dias.
31	176+400	Sul	3	2	Ausência de Marcador de Perigo (MP-2)		Concessionária não havia corrigido até o retorno da fiscalização em 15 dias.
32	176+380	Sul	3	2	Ausência de Marcador de Perigo (MP-2)		Concessionária não havia corrigido até o retorno da fiscalização em 15 dias.
33	176+280	Sul	3	3	Sinalização vertical com diagramação incorreta.		Concessionária não havia corrigido até o retorno da fiscalização em 15 dias.

Fonte: Adaptado de AGÊNCIA REGULADORA DE SERVIÇOS PÚBLICOS DELEGADOS DE TRANSPORTE DO ESTADO DE SÃO PAULO (2019b)

A FMEA (Análise do Modo e Efeitos de Falha) levou em conta a ocorrência das anomalias em sinalização rodoviária, por isso apresentou resultados distintos para cada uma das duas empresas concessionárias da SP 310. A concessionária 1 apresentou apenas 04 (quatro) anomalias em sinalização horizontal, sendo 3 (três) anomalias em pintura e 1 (uma) anomalia em tacha refletiva, considerando o mês de janeiro de 2019. Porém, ao se comparar esse os dados desse mês com o período do ano de 2018, o número de anomalias em sinalização horizontal no mês de janeiro de 2019 foi abaixo da média da concessionária 1, fato que, de certa forma, deve ser tomado como ressalva para o resultado do índice de ocorrência (O) na aplicação da FMEA (Análise do Modo e Efeitos de Falha) à prioridade de manutenção em sinalização rodoviária para este trecho da SP 310. Já o número de anomalias em sinalização vertical para a concessionária 1, no mês de janeiro de 2019, esteve bem próximo da média encontrada para o ano de 2018, algo que gerou um índice de ocorrência (O) mais coerente para esse trecho da SP 310.

A concessionária 2, por outro lado, apresentou um número de anomalias em sinalização horizontal significativo para o mês de janeiro de 2019, acima da média registrada para o ano de 2018, resultando em um valor de índice de ocorrência (O) acima do comum para esse trecho da SP 310. Também para a concessionária 2 houve um índice de ocorrência de anomalia em sinalização vertical para o mês de janeiro de 2019 um pouco acima do valor médio do ano de 2018.

O dado comum às concessionárias, no entanto, foi o de predominância de ausência de sinalização, vertical ou horizontal, como prioridade de manutenção obtida pela aplicação do método FMEA. Para a sinalização vertical, a anomalia em placas de regulamentação foi a que mais apresentou elevado índice de risco (R). Isso se deveu pela elevada severidade (S) atribuída às anomalias ligadas a este tipo de sinalização, quando comparado às anomalias em sinalização de advertência e demais placas, já que o índice de detecção (D) foi o mesmo, independente do tipo de placa. Para a sinalização horizontal, tanto o índice de severidade (S) quanto o índice de detecção (D) foram maiores para as anomalias em pintura de sinalização horizontal do que para anomalias em tachas refletivas.

5.4 RESULTADO DA APLICAÇÃO DA FERRAMENTA DE ANÁLISE MULTICRITÉRIO PARA A SINALIZAÇÃO RODOVIÁRIA

De forma a gerar uma matriz de comparação paritária mais enxuta e reduzir o número de perguntas do formulário, para a aplicação da AHP foram consideradas apenas as seguintes anomalias em sinalização vertical: avaria, ausência, fora de padrão e encoberta.

As anomalias “baixa visibilidade” e “sujeira” foram desconsideradas nesta comparação paritária, utilizando-se como critério o fato de que, ao se considerarem as anomalias em sinalização vertical para as duas concessionárias da SP 310, “baixa visibilidade” e “sujeira” foram as anomalias que apresentaram menores percentuais de ocorrência para o mês de janeiro de 2019 (14% para baixa visibilidade e 0,00% para sujeira).

Tanto o formulário quanto os resultados gráficos das respostas ao Google® Forms estão contidas no apêndice desta pesquisa. Após colher a resposta dos 21 (vinte e um) profissionais ligados à sinalização rodoviária, foi possível verificar que:

- 1) Quanto à experiência na área, 38% dos profissionais possuem mais de 10 anos de experiência com sinalização rodoviária, seguidos de 33 % com experiência de 0 a 5 anos e 29% com experiência de 5 a 10 anos na área.
- 2) Quanto à prioridade de manutenção entre as anomalias: ausência de sinalização vertical e avaria em sinalização vertical, 71% responderam que a prioridade deve ser dada para a ausência de sinalização, seguidos por 24% que acreditam que estas anomalias têm a mesma importância e de 5% que responderam que a avaria é prioridade de manutenção.
- 3) Quanto à prioridade de manutenção entre as anomalias: ausência de sinalização vertical e sinalização vertical encoberta, 57% responderam que ambas as anomalias apresentam a mesma importância quanto à manutenção, seguido de 33% que responderam que a prioridade de manutenção deve ser dada à ausência de sinalização vertical e 10% que responderam que a prioridade de manutenção deve ser dada à sinalização vertical encoberta.
- 4) Quanto à prioridade de manutenção entre as anomalias: ausência de sinalização vertical e sinalização vertical fora de padrão, 90% responderam que a ausência de sinalização vertical é prioridade de manutenção, enquanto 10% responderam que a prioridade é a manutenção em sinalização vertical fora de padrão.
- 5) Quanto à prioridade de manutenção entre as anomalias: avaria em sinalização vertical e sinalização vertical encoberta, 57% responderam que a prioridade deve ser dada para a sinalização vertical encoberta, enquanto 43% responderam que ambas as anomalias apresentam a mesma importância quanto à manutenção.
- 6) Quanto à prioridade de manutenção entre as anomalias: avaria em sinalização vertical e sinalização vertical fora de padrão, 62% responderam que a prioridade deve ser dada à avaria em sinalização vertical, enquanto 24% responderam que ambas as anomalias apresentam a mesma importância quanto à manutenção e

14% responderam que a prioridade deve ser dada na manutenção de sinalização vertical fora de padrão.

- 7) Quanto à prioridade de manutenção entre as anomalias: sinalização vertical encoberta e sinalização vertical fora de padrão, 86% responderam que a prioridade deve ser dada à sinalização vertical encoberta, enquanto 9% responderam que ambas as anomalias apresentam a mesma importância quanto à manutenção e 5% responderam que a prioridade deve ser dada na manutenção de sinalização vertical fora de padrão.

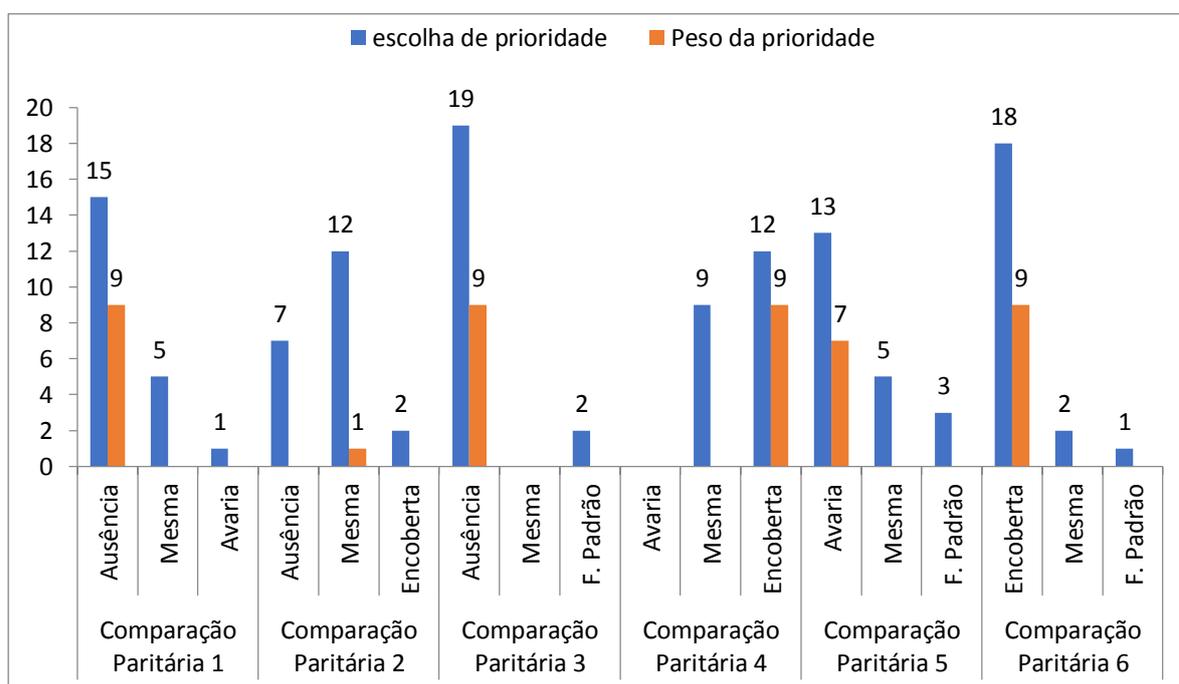
Além disso, o Quadro 25, bem como a Figura 35 apresentam um resumo das respostas ao questionário por parte dos profissionais que responderam o formulário proposto.

Quadro 25- Resultado obtido pela aplicação do formulário aos profissionais ligados à sinalização rodoviária

Profissional	Experiência (anos)	Ausência ou Avaria?	P1	Ausência ou encoberta ?	P2	Ausência ou Fora de Padrão?	P3	Avaria ou Encoberta ?	P4	Avaria ou Fora de Padrão?	P5	Encoberta ou Fora de Padrão?	P6
1	>10	Ausência	5	Ausência	3	Ausência	9	Mesma	1	Avaria	5	Encoberta	5
2	5 a 10	Ausência	5	Ausência	5	Ausência	5	Mesma	1	Mesma	1	Mesma	1
3	>10	Ausência	9	Mesma	1	Ausência	9	Encoberta	9	Fora de Padrão	7	Encoberta	9
4	0 a 5	Ausência	9	Encoberta	9	Ausência	9	Encoberta	9	Avaria	5	Encoberta	9
5	0 a 5	Ausência	8	Ausência	5	Ausência	8	Encoberta	5	Avaria	4	Encoberta	5
6	>10	Ausência	9	Mesma	1	Ausência	9	Encoberta	9	Mesma	1	Encoberta	9
7	0 a 5	Ausência	8	Mesma	1	Ausência	8	Encoberta	8	Fora de Padrão	4	Encoberta	8
8	0 a 5	Ausência	9	Mesma	1	Ausência	9	Encoberta	9	Avaria	7	Encoberta	9
9	>10	Ausência	6	Mesma	1	Ausência	6	Encoberta	5	Avaria	5	Encoberta	5
10	>10	Ausência	6	Mesma	1	Ausência	7	Encoberta	4	Avaria	5	Encoberta	5
11	5 a 10	Mesma	1	Mesma	1	Ausência	8	Encoberta	6	Avaria	7	Encoberta	7
12	5 a 10	Mesma	1	Mesma	1	Ausência	9	Mesma	1	Avaria	7	Encoberta	7
13	>10	Ausência	8	Mesma	1	Ausência	8	Encoberta	7	Avaria	5	Encoberta	8
14	5 a 10	Mesma	1	Mesma	1	Ausência	9	Mesma	1	Avaria	8	Encoberta	8
15	0 a 5	Ausência	9	Mesma	1	Ausência	9	Mesma	1	Mesma	1	Encoberta	9
16	0 a 5	Mesma	1	Encoberta	5	Fora de Padrão	5	Mesma	1	Fora de Padrão	6	Fora de Padrão	5
17	0 a 5	Avaria	5	Ausência	5	Ausência	5	Encoberta	4	Mesma	1	Encoberta	4
18	0 a 5	Ausência	8	Ausência	8	Ausência	8	Encoberta	8	Avaria	7	Encoberta	7
19	>10	Ausência	6	Mesma	1	Fora de Padrão	5	Mesma	1	Avaria	7	Encoberta	7
20	5 a 10	Mesma	1	Ausência	9	Ausência	9	mesma	1	Avaria	7	Encoberta	9
21	>10	Ausência	9	Ausência	9	Ausência	9	Mesma	1	Mesma	1	Mesma	1

Fonte: Próprio autor (2020)

Figura 35- Pesos atribuídos pelos 21 profissionais



Fonte: Próprio autor (2020)

Após a colocação destes valores no *TransparentChoice*®, obteve-se como retorno uma Taxa de Consistência (CR) de 19,20%, superior ao limite de 10,00% proposto por Saaty (ver detalhes desses resultados nos apêndices). Além disso, o programa mostrou que duas comparações paritárias estavam proporcionando essa inconsistência elevada: Avaria x Encoberta e Avaria x Fora de Padrão.

Considerando a inviabilidade de reavaliação do questionário aos 21 (vinte e um) especialistas inúmeras vezes até que a referida Taxa de Consistência (CR) atingisse a sua meta, foi realizada, pelo próprio autor desta pesquisa, uma segunda rodada de comparação paritária apenas para os dois pares com inconsistência elevada (Avariada x Encoberta e Avariada x Fora de Padrão), tendo por base entrevistas não estruturadas com especialistas em regulação de transportes da Agência Reguladora de Transportes do Estado de São Paulo (ARTESP).

Desse modo, a combinação possível e coerente que atendeu a recomendação do índice de inconsistência foi: prioridade de manutenção em sinalização vertical encoberta sobre sinalização vertical avariada com peso 5 e prioridade de sinalização vertical avariada sobre sinalização vertical fora de padrão também com peso 5. Isso quer dizer que a placa encoberta tem prioridade forte de manutenção em relação à placa avariada. Esta, por sua

vez, tem prioridade forte de manutenção em relação à placa fora de padrão apresentada no Quadro 26 abaixo.

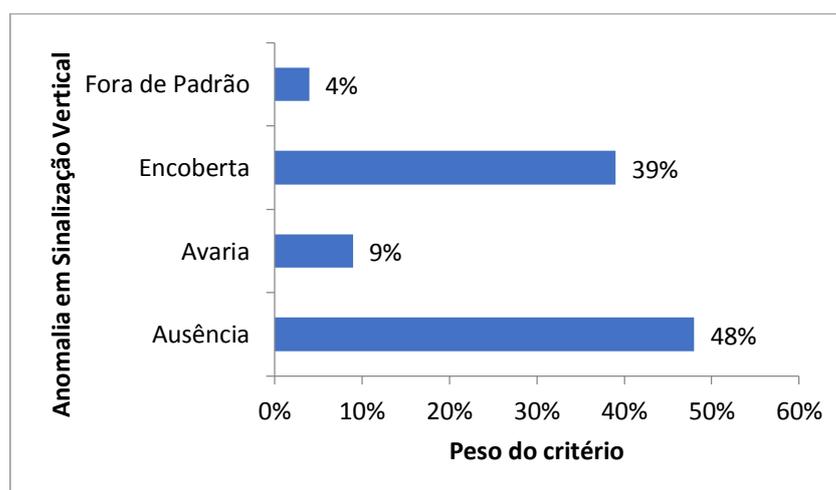
Quadro 26- Alteração dos pesos para ajuste do índice de inconsistência

Ausência ou Avaria?	P1	Ausência ou encoberta?	P2	Ausência ou Fora de Padrão?	P3	Avaria ou Encoberta?	P4	Avaria ou Fora de Padrão?	P5	Encoberta ou Fora de Padrão?	P6
Ausência	9	Mesma	1	Ausência	9	Encoberta	5	Avaria	5	Encoberta	9

Fonte: Próprio autor (2020)

Para esse caso, o valor do índice da Taxa de Consistência (CR) calculada pelo TransparentChoice® foi de 9,80%. Dessa forma, o peso da prioridade de manutenção em sinalização vertical, considerando cada um dos critérios (anomalias), foi obtido também com o uso do TransparentChoice®, sendo representado pelo gráfico da Figura 36 a seguir:

Figura 36- Pesos de cada critério pelo Processo de Análise Hierárquica (AHP)



Fonte: Próprio autor (2020)

Quanto à aplicação desse resultado, foram selecionados como amostra dois trechos da SP 310 – Rodovia Washington Luís, mais precisamente o km 154 e o km 171 da Pista Norte, ambos no trecho da Concessionária 2, conforme o Quadro 27. Ambos os trechos apresentaram 03 tipos de anomalias em sinalização vertical, porém, enquanto o km 154 apresentou, para o mês de janeiro de 2019, as anomalias: i) ausência de sinalização vertical, ii) sinalização vertical fora de padrão e iii) sinalização vertical avariada; o km 171 apresentou, para o mesmo período, as anomalias: : i) ausência de sinalização vertical, ii) sinalização vertical avariada e iii) sinalização vertical encoberta. Dessa forma, a soma dos pesos de prioridade para cada um desses trechos, pobtida pela aplicação da análise multicritério, representada pelo Processo de Análise Hierárquica (AHP), é dada por:

$$\sum_{i=1}^3 P_{i,km\ 154} = P_{1,km\ 154} + P_{2,km\ 154} + P_{3,km\ 154} = 0,48 + 0,04 + 0,09 = 0,61$$

$$\sum_{i=1}^3 P_{i,km\ 171} = P_{1,km\ 171} + P_{2,km\ 171} + P_{3,km\ 171} = 0,48 + 0,09 + 0,39 = 0,96$$

Em que:

P_i é o Peso atribuído a cada anomalia, obtido pelo Processo de Análise Hierárquica (AHP), para o trecho a ser analisado.

Quadro 27 - Trechos comparados da SP 310: prioridade de manutenção pelo AHP

Localização			Não-conformidades (NC)			
Item	km	Pista	Código A	Código B	Descrição	Evidência fotográfica
1	154+160	Norte	1	2	Ausência de R-3	
2	154+350	Norte	1	3	R-19 fora do padrão (Verso)	

Localização			Não-conformidades (NC)			
Item	km	Pista	Código A	Código B	Descrição	Evidência fotográfica
3	154+710	Norte	1	1	Sinalização vertical danificada (R-24a)	
4	171+120	Norte	3	2	Ausência de M.P.	
5	171+130	Norte	3	1	Sinalização vertical danificada	
6	171+800	Norte	3	5	Sinaliz. Vertic. Encoberta por vegetação	

Fonte: Adaptado de AGÊNCIA REGULADORA DE SERVIÇOS PÚBLICOS DELEGADOS DE TRANSPORTE DO ESTADO DE SÃO PAULO (2019b)

Logo, para esses dois trechos em questão, a prioridade de manutenção seria dada para o km 171, pista norte da SP 310 – Rodovia Washington Luís. Embora esta aplicação tenha sido realizada para um trecho de 1km, poderia facilmente ser aplicada para trechos maiores, sendo que o número de ocorrência de cada anomalia deveria ser multiplicada pelo seu respectivo peso encontrado pela aplicação do método de análise multicritério AHP. Poderiam, portanto, ser analisados trechos de 5km, 10 km, entre outros, em relação à prioridade de manutenção em sinalização vertical rodoviária.

5.5 CONSIDERAÇÕES QUANTO AO USO DA FMEA E AHP À FERRAMENTA DE INSPEÇÃO EM SINALIZAÇÃO RODOVIÁRIA

Este estudo propôs a utilização da ferramenta diagnóstica de inspeção com pequenas adaptações, utilizando-se de dois métodos diferentes para a análise dos dados de anomalias em sinalização rodoviária. A ferramenta escolhida para o método de análise de falhas potenciais foi a FMEA (Análise do Modo e Efeitos de Falha) e a ferramenta escolhida para o método de análise multicritério foi o AHP (Processo de Análise Hierárquica). Enquanto a FMEA (Análise do Modo e Efeitos de Falha) foi aplicada tanto para a sinalização horizontal quanto para a sinalização vertical da SP 310 – Rodovia Washington Luís, o AHP (Processo de Análise Hierárquica) foi aplicado apenas à sinalização vertical dessa rodovia.

Fato é que a aplicação da FMEA (Análise do Modo e Efeitos de Falha) considerando o levantamento do índice de ocorrência (O) para um único mês, tal como aplicado para o mês de janeiro de 2019 no estudo de caso desta pesquisa, representa uma simplificação didática para facilitar o estudo. Na prática, muitas concessionárias ou mesmo os órgãos públicos não conseguem superar todas as não conformidades apontadas em um mês no mesmo período, de modo que há um acúmulo destas não conformidades e o índice de ocorrência deveria considerar esse valor acumulado. De qualquer forma, os índices de severidade (S) e probabilidade de detecção (D) resultantes desse estudo são replicáveis para qualquer rodovia e devem ser revisados constantemente pelos especialistas em manutenção de sinalização rodoviária, haja vista que novas tecnologias surgem constantemente e modificam a sensibilidade tanto da severidade de uma anomalia, quanto da facilidade de se detectá-la.

Por meio da aplicação do método FMEA (Análise do Modo e Efeitos de Falha), foi possível verificar que, enquanto para o trecho da concessionária 1 a anomalia que mais teve ocorrência foi a ausência em sinalização vertical – demais placas, para o trecho da

concessionária 2, a anomalia mais frequente foi a ausência de pintura em sinalização horizontal.

Já para a aplicação do AHP (Processo de Análise Hierárquica), embora tenha sido apresentada a estrutura hierárquica, com o primeiro nível correspondendo à sinalização vertical e horizontal e o segundo nível correspondendo às anomalias em cada tipo de sinalização, foi realizada apenas a comparação paritária entre as quatro principais anomalias para a sinalização vertical: ausência, avaria, encoberta e fora de padrão. A não comparação paritária de toda a estrutura hierárquica, bem como a redução do número de anomalias analisadas em sinalização vertical, ocorreu como forma também de simplificar o estudo de caso, possibilitando um número reduzido de questões a serem respondidas pelos especialistas ligados à manutenção do elemento em estudo. A Taxa de Consistência (CR) obtida inicialmente pela aplicação do formulário aos 21 especialistas em sinalização rodoviária não atendeu à sugestão de Saaty (ser menor do que 10%). Isso mostra que houve dificuldade em se decidir sobre as comparações paritárias realizadas para se gerar a prioridade de manutenção em anomalias em sinalização vertical sem que fosse determinado o tipo de placa a ser analisada: placa de regulamentação, de advertência ou de indicação. Uma das dificuldades encontradas pelos profissionais ao responder o questionário esteve relacionado ao fato de não saberem a qual tipo de sinalização vertical estava relacionada a anomalia: sinalização vertical de regulamentação, sinalização vertical de advertência ou demais placas. Extrapolando ainda mais esta análise, muitos dos entrevistados gostariam de saber se esta anomalia seria em uma sinalização vertical de limite de velocidade máxima, gabarito vertical máximo de um viaduto, etc. No entanto, após a adequação de duas comparações paritárias (avaria x encoberta e avaria x fora de padrão), a Taxa de Consistência (CR) ficou abaixo dos 10%. Ressalta-se também que os pesos obtidos pela aplicação do referido método também podem ser replicados a qualquer rodovia.

Após a aplicação da ferramenta FMEA (Análise do Modo e Efeitos de Falha) para análise dos modos de falhas em sinalização rodoviária da SP 310 e a aplicação da ferramenta AHP (Processo de Análise Hierárquica), pôde-se verificar que a anomalia de ausência de sinalização vertical e horizontal se configurou como a prioridade de manutenção em sinalização rodoviária. Foi verificado que o risco associado à ausência de sinalização vertical em uma rodovia é elevado, principalmente quando esta sinalização for uma placa de regulamentação.

Tal fato vai ao encontro do que estabelece o Código de Trânsito Brasileiro, mais especificamente o art. 88, que diz que “Nenhuma via pavimentada poderá ser entregue após sua construção, ou reaberta ao trânsito após a realização de obras ou de manutenção,

enquanto não estiver devidamente sinalizada, *vertical e horizontalmente*, de forma a garantir as condições adequadas de segurança na circulação”.

Outra conclusão da aplicação dos métodos FMEA e AHP à sinalização rodoviária da SP 310 foi a de que a sinalização vertical encoberta apresenta efeitos semelhantes à ausência de sinalização vertical, embora a sua detecção seja mais provável.

Quanto à sinalização horizontal, o método FMEA permitiu concluir também que, onde há um número elevado de ocorrência de anomalias em sinalização horizontal, tal como apresentado pelo trecho da concessionária 2 da SP 310, embora os índices de severidade e a detecção sejam parecidos com os da sinalização vertical, a prioridade de manutenção passa a ser da sinalização de solo. Isso significa que o risco associado à ausência de pintura de sinalização horizontal, por exemplo, também é elevado.

O relatório da Confederação Nacional do Transporte apontou que, em trechos de rodovias brasileiras com ausência de sinalização vertical de regulamentação de limite de velocidade, para os acidentes causados por falta de atenção dos condutores, o índice de acidentes em rodovias no Brasil chega a 18,3 óbitos por 100 acidentes, o que corresponde a um valor 2,6 vezes maior do que em trechos que apresentam esta sinalização. Já quanto a esta anomalia de placa encoberta, o referido relatório da Confederação Nacional do Transporte concluiu que a cobertura parcial ou total das placas, por qualquer tipo de obstrução, aumenta a gravidade dos acidentes, considerando somente os acidentes causados por falta de atenção do condutor, sendo que, em locais com cobertura parcial, o índice de gravidade é de 20 mortos por 100 acidentes e onde o mato encobre totalmente, esse índice é de 21,7 por cada 100 acidentes. Quanto às anomalias em sinalização horizontal, o relatório da Confederação Nacional do Transporte indicou que, mesmo em trechos de rodovias brasileiras onde o pavimento foi classificado como ótimo, a ausência de pintura da faixa central resultou, para os acidentes causados por falta de atenção do condutor, em um índice de 15,9 mortes por 100 acidentes, 40,7% maior do que nos trechos onde esta sinalização era visível, cujo índice foi de 11,3 mortes por 100 acidentes (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE, 2018b). O Quadro 28 abaixo traz um resumo desses valores, bem como o aumento percentual do índice de gravidade com a ocorrência da anomalia.

Quadro 28- Indicador de acidentalidade nas rodovias do Brasil

ACIDENTES CAUSADOS POR FALTA DE ATENÇÃO DO CONDUTOR			
ANOMALIA	ÍNDICE DE GRAVIDADE SEM ANOMALIA	ÍNDICE DE GRAVIDADE COM ANOMALIA	AUMENTO PERCENTUAL (%)
AUSÊNCIA DE R-19 (LIMITE DE VELOCIDADE)	7 mortes a cada 100 acidentes	18,3 mortes a cada 100 acidentes	161%
PLACA PARCIALMENTE ENCOBERTA	7,4 mortes a cada 100 acidentes	20 mortes a cada 100 acidentes	170%
PLACA TOTALMENTE ENCOBERTA	7,4 mortes a cada 100 acidentes	21,7 mortes a cada 100 acidentes	193%
AUSÊNCIA DE FAIXA CENTRAL	11,3 mortes a cada 100 acidentes	15,9 mortes a cada 100 acidentes	40%

Fonte: Adaptado de CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (2018b)

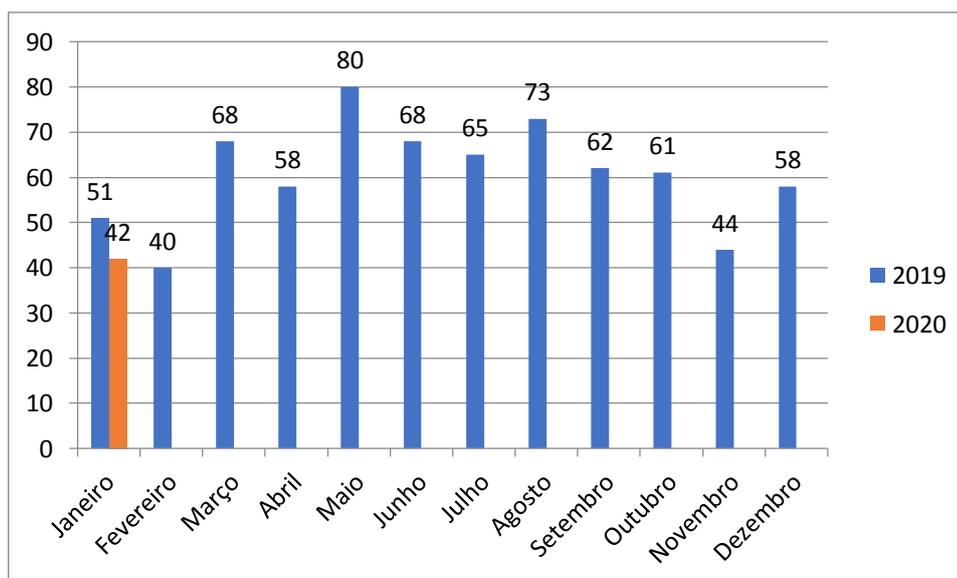
Observa-se do quadro acima que, embora a ausência de sinalização vertical tenha sido apontada pela ferramenta AHP como prioridade de manutenção em relação à placa encoberta, os acidentes causados por falta de atenção do condutor, no Brasil, apresentam índice de gravidade maior e um aumento percentual mais elevado referente à ocorrência de anomalia do tipo placa encoberta, quando comparados com os valores referentes à ocorrência de anomalia do tipo ausência de uma placa específica: a placa R-19 (velocidade máxima permitida). Entretanto, não há como se fazer uma comparação direta entre estes resultados, uma vez que a aplicação da ferramenta AHP se deu de forma genérica, não se limitando a um determinado tipo de placa (regulamentação, advertência e indicativa). O referido relatório da Confederação Nacional do Transporte não apresentou para o caso de acidentes causados por falta de atenção do condutor uma provável causa para esse aumento percentual ser maior nos casos de placa totalmente encoberta do que para ausência de placa de limite de velocidade. Entretanto, deve-se salientar que a sinalização vertical totalmente encoberta pode ter ocorrido com qualquer tipo de placa, não permitindo que o condutor recebesse qualquer tipo de sinal vertical de regulamentação, de advertência ou de indicação relacionados a um perigo à frente. Para se relacionar qualquer possível causa do aumento do índice de gravidade ser maior para as placas totalmente encobertas do que para a ausência de placa R-19 (velocidade máxima permitida), deveria existir um estudo para se verificar se a falta de um sinal relacionado a uma interseção rodoviária em

nível, a um trecho com proibição de ultrapassagem, por exemplo, é tão ou mais crítica do que a ausência de um sinal de regulamentação de velocidade máxima permitida (R-19).

Por outro lado, conforme indicado pelos especialistas em sinalização rodoviária da Agência Reguladora de Transportes do Estado de São Paulo (ARTESP), por meio da atribuição de valores do índice de detecção na Análise do Modo e Efeitos de Falha (FMEA), enquanto a anomalia de placa encoberta apresenta relativa facilidade para detecção em campo, a anomalia de ausência de sinalização vertical é uma das mais difíceis de ser detectada in loco, exigindo um conhecimento apurado, por parte do responsável pela fiscalização, das diretrizes contidas no Código de Trânsito Brasileiro e nos diferentes volumes do Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito do CONTRAN.

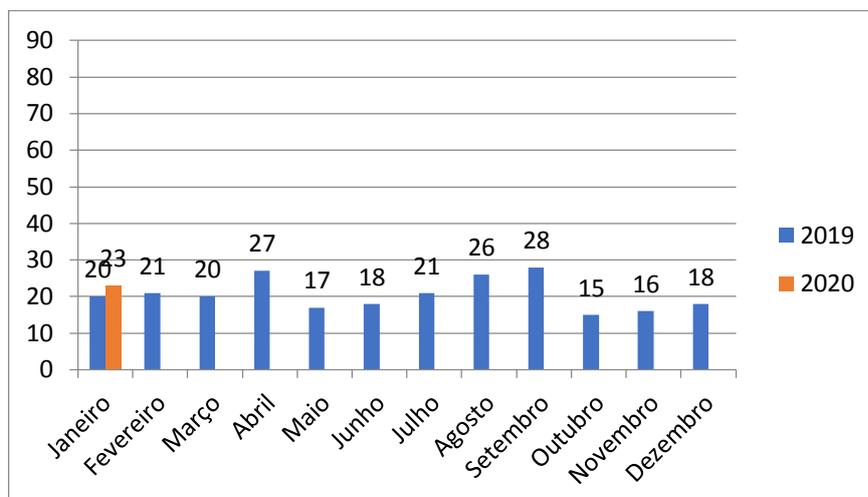
Quanto à correlação entre as anomalias em sinalização rodoviária e os acidentes em rodovias, deve-se levar em conta que não só a deficiência em sinalização rodoviária pode ser a causa desses acidentes, mas também problemas ligados à geometria da via, à falta de proteção de dispositivos de drenagem, taludes de aterro desprotegidos na lateral da via, entre outros, como outros apontados na ABNT NBR 15486 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2016). O registro desses acidentes, no Estado de São Paulo, é compilado em um sistema denominado infosiga. A Figura 37 traz o número mensal de acidentes com vítimas (com ou sem óbito) para a Concessionária 1 da SP 310 – Rodovia Washington Luís. Já a Figura 38 traz o número mensal de acidentes com vítimas (com ou sem óbito) para a Concessionária 2 da referida rodovia.

Figura 37- Gráfico de acidentes com vítimas na Concessionária 1 da SP 310



Fonte: Disponível em: <

<http://painelderesultados.infosiga.sp.gov.br/dados.web/ViewPage.do?id=8a48260b6b9269e2016b9571675b0108>>. Acesso em: 01/02/2020.

Figura 38- Gráfico de acidentes com vítimas na Concessionária 2 da SP 310

Fonte: Disponível em: <

<http://painelderesultados.infosiga.sp.gov.br/dados.web/ViewPage.do?id=8a48260b6b9269e2016b9571675b0108>>. Acesso em: 01/02/2020.

Esses números de acidentes são compilados por meio dos boletins de ocorrência da Polícia Militar Rodoviária do Estado de São Paulo. No entanto, apenas com esses dados, não é possível traçar uma correlação dos acidentes com as anomalias em sinalização rodoviária.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio da pesquisa realizada, tornou-se evidente que as ferramentas da Engenharia Diagnóstica, desenvolvidas inicialmente para o setor de edificações, não necessitam de grandes modificações e adaptações para a aplicação no setor da infraestrutura rodoviária. A vistoria, a inspeção, a auditoria e a consultoria são ferramentas diagnósticas com aplicação no segmento rodoviário muito semelhante ao segmento edilício. No entanto, a aplicação da Perícia ao setor rodoviário geralmente está ligada ao acontecimento de acidentes fatais, algo que não pode ser traçado como paralelo para o setor de edificações.

Mesmo que as adaptações na ferramenta de inspeção em edificações tenha se mostrado, inicialmente, pouco necessária para a aplicação ao setor rodoviário, foi proposto nesta pesquisa um Estudo de Caso com a implantação do método de análise de falhas potenciais e do método de análise multicritério para o auxílio na aplicação da ferramenta de inspeção ao elemento de sinalização rodoviária, de modo a fornecer uma contribuição metodológica à aplicação da Engenharia Diagnóstica ao setor rodoviário.

A aplicação das ferramentas FMEA (Análise do Modo e Efeitos de Falha) e AHP (Processo de Análise Hierárquica) para análise dos modos de falhas em sinalização rodoviária da SP 310 se mostrou satisfatória para a determinação da prioridade de manutenção. Por meio da aplicação da FMEA, os modos, os efeitos e as causas das anomalias em sinalização rodoviária puderam ser apresentados de forma simples e clara. Já por meio do AHP, puderam ser medidos os pesos de prioridade de manutenção rodoviária, inclusive com parâmetros tais como o da Taxa de Consistência (CR).

Ressalta-se que, para o caso das rodovias concedidas, as Agências Reguladoras cumprem o papel de fiscalizar e, por meio de cláusulas contratuais, aplicar notificações de não conformidades, que podem culminar em sanções às concessionárias que não superarem essas não conformidades. Portanto, para os especialistas em regulação de transporte de Agências Reguladoras todas as anomalias devem ser recuperadas pelas concessionárias o mais breve possível. No entanto, na prática, os tomadores de decisão ligados à manutenção de rodovias, sejam os profissionais das concessionárias privadas ou os agentes públicos dos órgãos executivos rodoviários, apresentam, muitas vezes, liberação

paulatina de recursos financeiros para manutenção das anomalias, devendo priorizar aquelas que representam maiores riscos à segurança dos usuários.

Cumprido esclarecer ainda que o resultado deste estudo não deve ser traduzido como a solução correta para a prioridade de manutenção em sinalização rodoviária, mas sim como um passo inicial para a aplicação da Engenharia Diagnóstica ao setor rodoviário, representando um auxílio aos tomadores de decisão para trazer visões e entendimentos do problema de priorização da manutenção de um determinado elemento do sistema rodoviário, representado pela aplicação do método de análise de falhas potenciais e do método de análise multicritério para a ferramenta diagnóstica de inspeção da sinalização rodoviária.

Para trabalhos futuros, sugere-se avaliar a aplicação das demais ferramentas da Engenharia Diagnóstica (auditoria, perícia e consultoria, por exemplo) para outros elementos do sistema rodoviário: OAEs, pavimento entre outros.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA REGULADORA DE TRANSPORTES TERRESTRES. Relatório Anual 2017. Brasil, 2017.

AGÊNCIA REGULADORA DE TRANSPORTES TERRESTRES. Resolução nº 4071/2013 da ANTT. Brasil, 2013.

AGÊNCIA REGULADORA DE SERVIÇOS PÚBLICOS DELEGADOS DE TRANSPORTE DO ESTADO DE SÃO PAULO. Edital de Concessão nº 14/CIC/97 e Edital de Concessão nº 16/CIC/97. 1997. Disponível em: <<http://www.artesp.sp.gov.br/Style%20Library/extranet/transparencia/contratos-de-concessao.aspx>>. Acesso em: 09 de setembro de 2019a.

AGÊNCIA REGULADORA DE SERVIÇOS PÚBLICOS DELEGADOS DE TRANSPORTE DO ESTADO DE SÃO PAULO. Relatórios de não-conformidades em sinalização rodoviária – SP 310 – Rodovia Washington Luís (Protocolo 433.061/2019), 2019b.

AHMED, S.; VEDAGIRI, P.; RAO, K.V.K. Prioritization of pavement maintenance sections using objective based analytic hierarchy process. **J. Pavement Res. Technol.**, 10, pp. 158-170, 2017.

ALVES, K. R. A gestão de pavimentos aplicada à manutenção rodoviária. 2016. 140f. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

AMIRI, M. J. T.; ABDOLLAHZADEH, G.; HAGHIGHI, F.R.; NEVES. Bridges Risk Analysis in View of Repair and Maintenance by Multi Criteria Decision Making Method (Case Study: Babolsar Bridges). *International Journal of Transportation Engineering*, Vol.7, Nº1, 2019.

ARAÚJO, A.; PANOSSIAN, Z. **Extensão da vida útil das estruturas de concreto armado com uso de armaduras zincadas**. IPT(Instituto de Pesquisas Tecnológicas), 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9452: Inspeção em pontes, viadutos e passarelas de concreto – procedimentos**. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15486: Segurança no tráfego – dispositivos de contenção viária – diretrizes de projeto e ensaio de impacto**. Rio de Janeiro, 2016.

BAGNASCHI, C. F. Tomada de decisão em sistema de transporte urbano: uma análise multicritério / Camila Feitoza Bagnaschi. - Manaus: UFAM, 2012. 104 f

BERNUCCI, L. B.. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. 504 f. PETROBRAS. Rio de Janeiro, 2006.

BERZINS, L. Avaliação de desempenho pelo AHP através do Superdecisions: caso IMETRO / Lorena Berzins - Rio de Janeiro: Faculdades Ibmecc, 2009.

COLORADO DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. Interactive Bridge Enterprise Map. < <https://www.codot.gov/programs/BridgeEnterprise>>. Acesso em: Junho de 2019.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Pesquisa CNT de Rodovias 2018 – Relatório Gerencial**. Confederação Nacional do Transporte, 405 p. Brasília, 2018a.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Acidentes rodoviários e a infraestrutura**. Confederação Nacional do Transporte, 132 p. Brasília, 2018b.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Pesquisa CNT de Rodovias 2019 – Relatório Gerencial**. Confederação Nacional do Transporte, 236 p. Brasília, 2019.

CONSELHO FEDERAL DE ENGENHARIA E AGRONOMIA. Resolução nº 345, de 27 de julho de 1990. Disponível em: < <http://normativos.confea.org.br/downloads/0345-90.pdf>>. Acesso em: 12/12/2019.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO. Manual de Sinalização Rodoviária – São Paulo, Volume I, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação do Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Manual de inspeção de pontes rodoviárias. 2. ed. Rio de Janeiro, 2004.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Diretoria Executiva. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Manual de implantação básica de rodovia. 3. ed. Rio de Janeiro, 2010.

FRANCE-MENSAH, J.F.; O'BRIEN, W. J.; KHWAJA, N.; BUSSELL, L. C. GIS-based visualization of integrated highway maintenance and construction planning: a case study of Fort Worth, Texas. **Visualization in Engineering**, Texas, p. 1-17, 2017.

GIOVANNETTI, A.C.V.P. **Avaliação da Condição de Conservação de uma Ponte - Estudo de Caso**. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

GOMIDE, T. L. F. ; PUJADAS, F.Z.; NETO, J. C. P. F. **Técnicas de inspeção e manutenção Predial**: Vistorias técnicas, Check-up Predial, Normas Comentadas, Manutenção X Valorização Patrimonial, Análise De Risco. São Paulo. Pini, 2006.

GOMIDE, T. L. F.; NETO, J. C. P. F.; GULLO, M. A. **Engenharia Diagnóstica em Edificações**. São Paulo. Pini, 2009.

GOMIDE, T. L. F. **Diretrizes técnicas de Engenharia Diagnóstica em Edificações**. Instituto de Engenharia. São Paulo, 2014.

HELMAN, H.; ANDERY, P. R. P. Análise de falhas: aplicação dos métodos de FMEA e FTA. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG, 1 ed., 1995.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2020. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/sao-carlos/pesquisa/22/28120?tipo=grafico> >. Acessado em: 01/02/2020.

INSTITUTION OF DIAGNOSTIC ENGINEERS, 2019. Disponível em: <<https://institutiondiagnosticengineers.org/>>. Acessado em: 01/02/2020.

INSTITUTO DE ENGENHARIA. 2013. Produzido por T. L. F. Gomide. Disponível em:<<https://www.institutodeengenharia.org.br/site/2013/11/29/questoes-basicas-de-engenharia-diagnostica/>>. Acesso em: 04 set. 2019.

INTERNATIONAL ROAD ASSESSMENT PROGRAMME. **iRAP Brazil – Sao Paulo Technical Report**. Basingstoke, UK, 2014.

LAURENTI, R. Sistematização de problemas e práticas da análise de falhas potenciais no processo de desenvolvimento de produtos. 2010. 182 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

LENCIONI, J. W. **Proposta de Manual Para Inspeção de Pontes e Viadutos em Concreto Armado – Discussão Sobre a Influência dos Fatores Ambientais na Degradação de Obras-de-Arte Especiais**. Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos. 2005.

MOAZAMI, D.; MUNIANDY, R.; HAMID, H.; YUSOFF, Z. The use of analytical hierarchy process in priority rating of pavement maintenance, **Scientific Research and Essays**, v. 6, n. 12, p. 2447–2456, 2011.

PARKASAN; A.C. ; TIWARI, D. ; SHAH, Y.U. ; PARIDA, M. Pavement maintenance prioritization of urban roads using analytical hierarchy process. **Int. J. Pavement Res. Technol.** 8 (2) 112–122, 2015.

PEPUCHA, L.; REMEK, L.; SRAMEK, J.; DANISOVIC, P.; SLABEJ, M.; GRINE, M. Implementation of asset management in road administration of Slovak Republic. **International Scientific Journal**. Volume 1, 2014.

PORTAL ITAMBÉ. Norma de desempenho aquece engenharia diagnóstica, de 17 de julho de 2013. Disponível em: < <https://www.cimentoitambe.com.br/norma-de-desempenho-aquece-engenharia-diagnostica/>>. Acesso em: 29 jun. 2019.

RAISER, M; CLARKE, R.; PROCEE, P.; BRICENO-GARMENDIA, C. **De volta ao planejamento: como preencher a lacuna de infraestrutura no Brasil em tempos de austeridade**. Brasília: Banco Mundial, 2017. Disponível em: <<http://documents.worldbank.org/curated/pt/237341502458978189/pdf/117392-PORTUGUESE-PorBacktoPlanningFinal.pdf> 28>. Acesso em: maio de 2019.

RODRIGUES, Eduardo Michelucci. **Avaliação do impacto dos diferentes tipos de veículos no custo de manutenção rodoviária no Rio Grande do Sul**. 2001. 118 f. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Engenharia de Produção). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

RYDHOLM, T. C. ;LUHR, D. R. Visualizing pavement management data at the project level. **In 9th international conference on managing pavement assets**, 2015.

SALOMON, V.P.; MONTEVECHI, J.A.B.; PAMPLONA, E.O. Justificativas para publicação do método de análise hierárquica. 17 p. 1999.

SOUZA, R. S.; GALIAZZI, M. C. A categoria na análise textual discursiva: sobre método e sistema em direção à abertura interpretativa. **Revista Pesquisa Qualitativa**, São Paulo, v. 5; n.9, p.514-538, dez. 2017.

THILL, J. C. Geographic information systems for transportation in perspective. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, Buffalo, v. 8, p. 3-12, 2000

TINOCO, G.; GIAMBIAGI, F. **Perspectivas DEPEC 2018: O crescimento da economia brasileira 2018-2023**. Departamento de Pesquisa Econômica do BNDES. 2018.

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, 23 p., 2010.

Yin, R. K.. **Estudo de caso: planejamento e métodos** / Robert K. Yin; trad. Daniel Grassi - 2.ed. -Porto Alegre : Bookman, 2001.

APÊNDICES

DADOS DE NÃO CONFORMIDADES EM SINALIZAÇÃO Rodoviária DA SP 310

Não conformidades observadas em Sinalização da SP 310, no trecho da Concessionária 1, mês de janeiro de 2019:

Localização			Não-conformidades (NC) – Lote 09 – Janeiro de 2019			
Item	km	Pista	Código A	Código B	Descrição	Constatação
1	231+400	Norte	1	01	Placa R-19 de 90kmh danificada	11/01/2019
2	231+600	Norte	1	03	Relocar placa R-19 de 40km/h para antes do meio físico	24/01/2019
3	234+000	Norte	3	01	Placa MO danificada	11/01/2019
4	234+250	Norte	3	06	Placa MP-1 com má visibilidade noturna	07/01/2019
5	236+800	Norte	1	01	Placa R-19 de 40km/h em mau estado de conservação	24/01/2019
6	247+500	Norte	1	02	Ausência de placa R-2	24/01/2019
7	257+000	Norte	3	02	Ausência de placa IL-1	11/01/2019
8	258+300	Norte	1	05	Placa R-19 de 80kmh encoberta por vegetação	11/01/2019
9	275+800	Norte	3	01	Placa OR-1 danificada	11/01/2019
10	287+000	Norte	1	03	Relocar placa R-19 de 40km/h para antes do meio físico	24/01/2019
11	292+350	Norte	3	06	Placa MP-1 com má visibilidade noturna	07/01/2019
12	309+600	Norte	1	02	Ausência de placa R-19 de 40km/h	11/01/2019
13	317+230	Norte	3	06	Placa OR-2 com má visibilidade noturna	07/01/2019
14	319+800	Norte	3	02	Ausência de placa MP-2	11/01/2019
15	329+150	Norte	1	02	Ausência de placa R-3	23/01/2019
16	331+970	Norte	3	01	Placa indicativa fora de prumo	11/01/2019
17	339+700	Norte	3	01	Placa Ocs danificada	23/01/2019
18	340+600	Norte	3	02	Ausência de sequência de placas MA	11/01/2019
19	348+600	Norte	3	02	Ausência de placa MP-3	11/01/2019
20	358+400	Norte	3	02	Ausência de sequência de placas MA	23/01/2019
21	360+850	Norte	1	02	Ausência de placa R-2	23/01/2019
22	370+100	Norte	1	02	Ausência de placa R-2	23/01/2019
23	382+600	Norte	1	03	Relocar placa R-19 de 40km/h para antes do meio físico	23/01/2019
24	398+400	Norte	1	01	Placa R-5a em mau estado de conservação	22/01/2019
25	400+800	Norte	3	01	Placa de indicativo turístico em mau estado de conservação	22/01/2019

Localização			Não-conformidades (NC) – Lote 09 – Janeiro de 2019			
Item	km	Pista	Código A	Código B	Descrição	Constatação
26	404+780	Norte	3	01	Placa MP-1 em mau estado de conservação	22/01/2019
27	415+950	Norte	3	02	Ausência de sequência de placas MA	10/01/2019
28	416+100	Norte	3	02	Ausência de sequência de placas MA	22/01/2019
29	416+500	Norte	5	02	Ausência de tachas refletivas	10/01/2019
30	419+600	Norte	1	02	Ausência de placa R-24a	10/01/2019
31	425+400	Norte	3	01	Placa indicativa danificada	22/01/2019
32	425+550	Norte	1	02	Ausência de placa R-19 de 40km/h	10/01/2019
33	425+650	Norte	3	01	Sequência de placas MA em mau estado de conservação	22/01/2019
34	426+500	Norte	3	01	Placa MP-1 em mau estado de conservação	10/01/2019
35	427+500	Norte	1	01	Placa R-24a fora de prumo	22/01/2019
36	428+450	Norte	3	01	Sequência de placas MA danificadas	22/01/2019
37	431+550	Norte	2	06	Placa A-37 com mensagem complementar com má visibilidade noturna	07/01/2019
38	434+850	Norte	3	06	Placa Oap com má visibilidade noturna	07/01/2019
39	435+070	Norte	1	01	Placa R-27 fora de prumo	10/01/2019
40	440+800	Norte	3	01	Placa indicativa danificada	10/01/2019
41	442+600	Norte	3	01	Placa indicativa danificada	10/01/2019
42	444+200	Norte	1	01	Placa R-24a em mau estado de conservação	22/01/2019
43	444+250	Norte	3	06	Placa MP-1 com má visibilidade noturna	07/01/2019
44	452+850	Norte	3	01	Placa da concessionária em mau estado de conservação	10/01/2019
45	453+400	Norte	3	06	Placa Ocs com má visibilidade noturna	07/01/2019
46	453+700	Sul	1	01	Placa R-19 de 40km/h fora de alinhamento	10/01/2019
47	452+230	Sul	1	01	Placa R-6c em mau estado de conservação	10/01/2019
48	451+300	Sul	1	01	Placa R-6c com mensagem complementar em mau estado de conservação	22/01/2019
49	449+650	Sul	2	01	Placa A-12 em mau estado de conservação	22/01/2019
50	449+380	Sul	3	06	Placa indicativa com má visibilidade noturna	07/01/2019
51	444+450	Sul	3	01	Placa Ocs em mau estado de conservação	10/01/2019
52	443+980	Sul	1	03	Placa R-27 com altura fora do padrão	22/01/2019
53	440+000	Sul	3	05	Placa IL-1 encoberta por vegetação	10/01/2019
54	439+900	Sul	1	05	Placa R-27 encoberta por vegetação	22/01/2019
55	436+800	Sul	3	01	Placa indicativa em mau estado de conservação	10/01/2019
56	435+100	Sul	4	01	Sinalização horizontal apagada - zebado	22/01/2019
57	430+450	Sul	1	02	Ausência de placa R-3	10/01/2019
58	425+500	Sul	3	06	Placa MP-1 com má visibilidade noturna	07/01/2019
59	422+800	Sul	3	06	Placa ID com má visibilidade noturna	07/01/2019

Localização			Não-conformidades (NC) – Lote 09 – Janeiro de 2019			
Item	km	Pista	Código A	Código B	Descrição	Constatação
60	415+950	Sul	3	02	Ausência de sequência de placas MA	22/01/2019
61	412+600	Sul	3	01	Placa MP-3 danificada	10/01/2019
62	412+500	Sul	1	02	Ausência de placa R-24a	10/01/2019
63	412+200	Sul	2	06	Placa de advertência especial com má visibilidade noturna	07/01/2019
64	412+200	Sul	2	01	Placa de advertência especial em mau	10/01/2019
65	411+700	Sul	3	02	Ausência de placa MP-1	10/01/2019
66	403+550	Sul	3	01	Placa de indicativo turístico em mau estado de conservação	10/01/2019
67	400+000	Sul	3	01	Placa IL-1 fora de prumo	10/01/2019
68	395+350	Sul	3	01	Placa Ocs em mau estado de conservação	10/01/2019
69	394+900	Sul	3	02	Ausência de placa MP-1	10/01/2019
70	394+700	Sul	2	01	Placa de advertência especial danificada	10/01/2019
71	393+850	Sul	1	01	Placa R-19 composta em mau estado de conservação	10/01/2019
72	381+000	Sul	3	01	Placa IL-1 danificada	10/01/2019
73	376+000	Sul	3	05	Placa IL-1 encoberta por vegetação	23/01/2019
74	375+800	Sul	1	02	Ausência de placa R-24a	10/01/2019
75	375+330	Sul	3	01	Placa MP-1 em mau estado de conservação	10/01/2019
76	375+300	Sul	3	02	Ausência de placa MP-3	23/01/2019
77	355+100	Sul	1	01	Placa R-1 danificada	10/01/2019
78	353+820	Sul	3	01	Placa MP-3 em mau estado de conservação	23/01/2019
79	351+400	Sul	4	02	Sinalização horizontal insuficiente - pintura "PARE"	11/01/2019
80	347+300	Sul	3	02	Ausência de placa MP-1	11/01/2019
81	332+150	Sul	3	05	Placa indicativa encoberta por vegetação	23/01/2019
82	329+200	Sul	1	03	Relocar placa R-19 de 40km/h para antes do meio físico	23/01/2019
83	317+230	Sul	1	01	Placa R-1 danificada	23/01/2019
84	317+230	Sul	1	06	Placa R-28 com má visibilidade noturna	07/01/2019
85	302+100	Sul	1	06	Placa R-19 de km/h com má visibilidade noturna	07/01/2019
86	297+900	Sul	1	03	Relocar placa R-19 de 40km/h	11/01/2019
87	297+800	Sul	1	02	Ausência de placa R-3	11/01/2019
88	284+350	Sul	1	01	Placa R-24a fora de prumo	11/01/2019
89	283+550	Sul	3	06	Placa MP-1 com má visibilidade noturna	07/01/2019
90	276+800	Sul	2	05	Placa R-37 encoberta por vegetação	24/01/2019
91	258+980	Sul	1	01	Placa R-27 em mau estado de conservação	11/01/2019
92	254+350	Sul	1	03	Relocar placa R-19 de 40km/h para antes do meio físico	24/01/2019
93	249+000	Sul	3	02	Ausência de sequência de placas MA	11/01/2019
94	249+000	Sul	3	02	Ausência de placa MP-3	11/01/2019
95	247+350	Sul	1	02	Ausência de placa R-3	24/01/2019
96	246+800	Sul	5	02	Ausência de tachas refletivas	11/01/2019

Localização			Não-conformidades (NC) – Lote 09 – Janeiro de 2019			
Item	km	Pista	Código A	Código B	Descrição	Constatação
97	245+350	Sul	3	01	Placa OR-1 vandalizada	24/01/2019
98	240+300	Sul	1	02	Ausência de placa R-24a	24/01/2019
99	237+400	Sul	3	01	Placa MP-1 em mau estado de conservação	11/01/2019
100	235+400	Sul	1	02	Ausência de placa R-24a	11/01/2019
101	228+800	Sul	1	02	Ausência de placa R-24a	24/01/2019

Não conformidades observadas em Sinalização da SP 310, no trecho da Concessionária 2, mês de janeiro de 2019:

Localização			Não-conformidades (NC)			
Item	km	Pista	Código A	Código B	Descrição	Constatação
1	154+160	Norte	1	2	Ausência de R-3	05/01/2019
2	154+350	Norte	1	3	R-19 fora do padrão (Verso)	05/01/2019
3	154+420	Norte	3	3	Sinaliz. Vertic. Fora do padrão (Verso)	05/01/2019
4	154+870	Norte	3	1	Sinalização vertical danificada (MP)	28/01/2019
5	155+180	Norte	3	3	Placa irregular na faixa de domínio	28/01/2019
6	155+650	Norte	4	4	Sinaliz. Horiz. Prejudicada por detritos (LCO)	05/01/2019
7	155+650	Norte	4	4	Sinaliz. Horiz. Prejudicada por detritos (LBOD)	05/01/2019
8	155+700	Norte	4	4	Sinaliz. Horiz. Prejudicada por detritos (Zebrado)	05/01/2019
9	156+840	Norte	1	3	R-19 fora do padrão (Verso)	05/01/2019
10	157+980	Norte	1	2	Ausência de R-3 no LE	09/01/2019
11	159+250	Norte	3	3	I-9 com diagramação incorreta (Logo SP)	09/01/2019
12	159+800	Norte	3	2	Ausência de M.P.	09/01/2019
13	160+100	Norte	3	2	Ausência de M.P.	05/01/2019
14	161+215	Norte	3	1	Sinalização vertical danificada (MP) no LE	28/01/2019
15	161+215	Norte	1	5	R-19 encoberta pela vegetação no LD	09/01/2019
16	161+220	Norte	3	2	Ausência de M.P. no LD	09/01/2019
17	161+220	Norte	4	4	LBOD prejudicada por detritos	09/01/2019
18	162+840	Norte	4	4	Zebrado prejudicado por detritos	09/01/2019
19	164+750	Norte	4	1	Ausência de Sinaliz. Horiz. (LBOD)	05/01/2019
20	164+760	Norte	4	1	Sinaliz. Horiz. Desgastada (LFO)	05/01/2019
21	164+760	Norte	4	4	Sinaliz. Horiz. Prejudicada por detritos (LBOD)	05/01/2019
22	165+500	Norte	3	2	Ausência de M.P.	09/01/2019
23	168+500	Norte	3	1	Sinalização vertical danificada (MP) no LD	28/01/2019
24	169+450	Norte	5	1	Tachas sem refletividade	09/01/2019
25	170+030	Norte	2	1	Sinalização vertical danificada	05/01/2019

Localização			Não-conformidades (NC)			
Item	km	Pista	Código A	Código B	Descrição	Constatação
26	170+990	Norte	3	2	Ausência de M.P.	05/01/2019
27	171+120	Norte	3	2	Ausência de M.P.	05/01/2019
28	171+130	Norte	3	1	Sinalização vertical danificada	09/01/2019
29	171+260	Norte	3	2	Ausência de M.P.	05/01/2019
30	171+400	Norte	1	2	Ausência de R-24a	09/01/2019
31	171+800	Norte	3	5	Sinaliz. Vertic. Encoberta por vegetação	05/01/2019
32	171+900	Norte	2	1	Sinaliz. Vertic. Vandalizada.	05/01/2019
33	173+250	Norte	1	2	Ausência de R-24b	05/01/2019
34	173+250	Norte	1	2	Ausência de R-3	05/01/2019
35	174+420	Norte	4	2	Ausência de Sinaliz. Horiz. (Zebrado)	05/01/2019
36	174+480	Norte	3	2	Ausência de M.P.	05/01/2019
37	174+580	Norte	2	1	A-12 vandalizada no LE	09/01/2019
38	174+585	Norte	1	1	R-1 vandalizada no LE	09/01/2019
39	174+585	Norte	1	1	R-2 vandalizada no LE	09/01/2019
40	174+650	Norte	4	7	Sinaliz. Horiz. Antiga aparente	05/01/2019
41	174+750	Norte	1	3	R-24a fora de prumo	05/01/2019
42	175+030	Norte	3	2	Ausência de M.P.	09/01/2019
43	175+030	Norte	3	2	Ausência de M.P.	05/01/2019
44	176+700	Norte	3	2	Ausência de M.P.	05/01/2019
45	181+600	Norte	4	1	Zebrado desgastado	09/01/2019
46	181+600	Norte	4	1	Zebrado desgastado	09/01/2019
47	181+600	Norte	4	1	Zebrado desgastado	09/01/2019
48	181+600	Norte	4	1	Zebrado desgastado	09/01/2019
49	181+600	Norte	4	1	Zebrado desgastado	09/01/2019
50	181+600	Norte	4	1	Zebrado desgastado	09/01/2019
51	181+600	Norte	4	2	Ausência de pintura de constraste (LBO's)	09/01/2019
52	181+600	Norte	4	2	Ausência de pintura de constraste (LBO's)	09/01/2019
53	181+600	Norte	4	2	Ausência de pintura de constraste (LBO's)	09/01/2019
54	181+600	Norte	4	2	Ausência de pintura de constraste (LBO's)	09/01/2019
55	181+600	Norte	4	2	Ausência de pintura de constraste (LBO's)	09/01/2019
56	181+600	Norte	4	2	Ausência de pintura de constraste (LBO's)	09/01/2019
57	181+600	Norte	4	2	Ausência de pintura de constraste (LBO's)	09/01/2019
58	181+600	Norte	4	2	Ausência de pintura de constraste (LBO's)	09/01/2019
59	181+600	Norte	4	2	Ausência de pintura de constraste (LBO's)	09/01/2019
60	181+600	Norte	4	2	Ausência de pintura de constraste (Zebrado)	09/01/2019

Localização			Não-conformidades (NC)			
Item	km	Pista	Código A	Código B	Descrição	Constatação
61	181+600	Norte	4	2	Ausência de pintura de constraste (Zebrado)	09/01/2019
62	181+600	Norte	4	2	Ausência de pintura de constraste (Zebrado)	09/01/2019
63	181+600	Norte	4	2	Ausência de pintura de constraste (Zebrado)	09/01/2019
64	181+600	Norte	4	2	Ausência de pintura de constraste (LBO's)	09/01/2019
65	181+650	Norte	3	2	Ausência de M.P.	09/01/2019
66	184+400	Norte	3	3	I-9 com diagramação incorreta (Logo SP)	09/01/2019
67	185+580	Norte	3	3	Sinalização vertical fora do prumo (MA)	28/01/2019
68	192+830	Norte	2	2	Ausência de A-2a	09/01/2019
69	192+970	Norte	3	3	M.A fora de prumo	09/01/2019
70	192+970	Norte	3	1	M.A com película danificada	09/01/2019
71	193+220	Norte	4	7	Sinalização horizontal antiga aparente	09/01/2019
72	193+400	Norte	3	2	Ausência de M.P.	09/01/2019
73	200+100	Norte	5	2	Aus. De tachas refletivas (Estacionamento)	09/01/2019
74	200+120	Norte	4	4	LBOD prejudicada por detritos	09/01/2019
75	210+950	Norte	3	3	M.P. fora do padrão (Altura)	09/01/2019
76	216+800	Norte	4	1	Zebrado desgastado	09/01/2019
77	216+800	Norte	4	2	Ausência de pintura de constraste (LBO's)	09/01/2019
78	216+800	Norte	4	2	Ausência de pintura de constraste (Zebrado)	09/01/2019
79	216+800	Norte	4	2	Ausência de pintura de constraste (LBO's)	09/01/2019
80	216+800	Norte	4	2	Ausência de pintura de constraste (Zebrado)	09/01/2019
81	216+800	Norte	4	2	Ausência de pintura de constraste (LBO's)	09/01/2019
82	216+800	Norte	4	2	Ausência de pintura de constraste (Zebrado)	09/01/2019
83	216+800	Norte	4	2	Ausência de pintura de constraste (LBO's)	09/01/2019
84	216+800	Norte	4	2	Ausência de pintura de constraste (Zebrado)	09/01/2019
85	216+800	Norte	4	2	Ausência de pintura de constraste (LBO's)	09/01/2019
86	216+800	Norte	4	2	Ausência de pintura de constraste (Zebrado)	09/01/2019
87	216+800	Norte	4	2	Ausência de pintura de constraste (LBO's)	09/01/2019
88	216+800	Norte	4	2	Ausência de pintura de constraste (Zebrado)	09/01/2019
89	216+800	Norte	4	2	Ausência de pintura de constraste (LBO's)	09/01/2019

Localização			Não-conformidades (NC)			
Item	km	Pista	Código A	Código B	Descrição	Constatação
90	216+800	Norte	4	2	Ausência de pintura de constraste (Zebrado)	09/01/2019
91	216+800	Norte	4	2	Ausência de pintura de constraste (LBO's)	09/01/2019
92	216+800	Norte	4	2	Ausência de pintura de constraste (Zebrado)	09/01/2019
93	216+800	Norte	4	2	Ausência de pintura de constraste (Zebrado)	09/01/2019
94	216+800	Norte	4	2	Zebrado desgastado	09/01/2019
95	216+800	Norte	4	2	Zebrado desgastado	09/01/2019
96	224+100	Norte	3	2	Ausência de M.P.	09/01/2019
97	226+450	Norte	1	2	Ausência de R-24a	09/01/2019
98	227+780	Norte	3	1	M.P. com a película danificada	08/01/2019
99	224+545	Sul	3	2	Ausência de sinalização vertical MP	09/01/2019
100	223+880	Sul	3	2	Ausência de sinalização vertical MP	09/01/2019
101	216+800	Sul	4	2	Ausência de pintura de contraste na LB	09/01/2019
102	216+800	Sul	4	2	Ausência de pintura de contraste no zebrado	09/01/2019
103	216+800	Sul	4	2	Ausência de pintura de contraste na LB	09/01/2019
104	216+800	Sul	4	2	Ausência de pintura de contraste no zebrado	09/01/2019
105	216+800	Sul	4	2	Ausência de pintura de contraste na LB	09/01/2019
106	216+800	Sul	4	2	Ausência de pintura de contraste no zebrado	09/01/2019
107	216+800	Sul	4	2	Ausência de pintura de contraste na LB	09/01/2019
108	216+800	Sul	4	2	Ausência de pintura de contraste no zebrado	09/01/2019
109	216+800	Sul	4	2	Ausência de pintura de contraste na LB	09/01/2019
110	216+800	Sul	4	2	Ausência de pintura de contraste no zebrado	09/01/2019
111	216+800	Sul	4	2	Ausência de pintura de contraste na LB	09/01/2019
112	216+800	Sul	4	2	Ausência de pintura de contraste no zebrado	09/01/2019
113	216+800	Sul	4	2	Ausência de pintura de contraste na LB	09/01/2019
114	216+800	Sul	4	2	Ausência de pintura de contraste no zebrado	09/01/2019
115	216+800	Sul	4	2	Ausência de pintura de contraste na LB	09/01/2019
116	216+800	Sul	4	2	Ausência de pintura de contraste no zebrado	09/01/2019
117	216+800	Sul	4	2	Ausência de pintura de contraste no zebrado	09/01/2019
118	216+800	Sul	4	2	Ausência de pintura de contraste no zebrado	09/01/2019

Localização			Não-conformidades (NC)			
Item	km	Pista	Código A	Código B	Descrição	Constatação
119	216+800	Sul	4	2	Ausência de pintura de contraste no zebado	09/01/2019
120	216+800	Sul	4	2	Ausência de pintura de contraste no zebado	09/01/2019
121	207+000	Sul	3	2	Suporte sem placa	28/01/2019
122	206+200	Sul	3	2	Ausência de sinalização vertical MP	09/01/2019
123	206+000	Sul	3	1	Sinalização vertical com película danificada	08/01/2019
124	200+960	Sul	1	1	Sinalização vertical danificada (R-24a)	28/01/2019
125	200+950	Sul	3	2	Ausência de sinalização vertical MP	09/01/2019
126	198+600	Sul	1	2	Ausência de sinalização vertical R-3 no LE	09/01/2019
127	196+980	Sul	2	3	Sinalização vertical fora do padrão (Cor Fundo)	29/01/2019
128	191+720	Sul	1	3	Sinalização vertical R-1 vandalizada no LD	09/01/2019
129	190+350	Sul	1	2	Ausência de sinalização vertical (R-19)	28/01/2019
130	184+430	Sul	3	3	Sinalização vertical com diagramação incorreta (logo São Paulo)	09/01/2019
131	181+350	Sul	4	2	Ausência de pintura de contraste no zebado	09/01/2019
132	181+350	Sul	4	2	Ausência de pintura de contraste na LB	09/01/2019
133	181+350	Sul	4	2	Ausência de pintura de contraste no zebado	09/01/2019
134	181+350	Sul	4	2	Ausência de pintura de contraste na LB	09/01/2019
135	181+350	Sul	4	2	Ausência de pintura de contraste no zebado	09/01/2019
136	181+350	Sul	4	2	Ausência de pintura de contraste na LB	09/01/2019
137	181+350	Sul	4	2	Ausência de pintura de contraste no zebado	09/01/2019
138	181+350	Sul	4	2	Ausência de pintura de contraste na LB	09/01/2019
139	181+350	Sul	4	2	Ausência de pintura de contraste no zebado	09/01/2019
140	181+350	Sul	4	2	Ausência de pintura de contraste na LB	09/01/2019
141	181+350	Sul	4	2	Ausência de pintura de contraste no zebado	09/01/2019
142	181+350	Sul	4	2	Ausência de pintura de contraste na LB	09/01/2019
143	181+350	Sul	4	2	Ausência de pintura de contraste no zebado	09/01/2019
144	181+350	Sul	4	2	Ausência de pintura de contraste na LB	09/01/2019
145	181+350	Sul	4	2	Ausência de pintura de contraste no zebado	09/01/2019

Localização			Não-conformidades (NC)			
Item	km	Pista	Código A	Código B	Descrição	Constatação
146	181+350	Sul	4	2	Ausência de pintura de contraste na LB	09/01/2019
147	181+350	Sul	4	2	Ausência de pintura de contraste no zebrado	09/01/2019
148	181+350	Sul	4	2	Ausência de pintura de contraste na LB	09/01/2019
149	181+350	Sul	4	2	Ausência de pintura de contraste no zebrado	09/01/2019
150	181+350	Sul	4	2	Ausência de pintura de contraste na LB	09/01/2019
151	181+350	Sul	4	2	Ausência de pintura de contraste no zebrado	09/01/2019
152	181+350	Sul	4	2	Ausência de pintura de contraste no zebrado	09/01/2019
153	181+350	Sul	4	2	Ausência de pintura de contraste no zebrado	09/01/2019
154	181+350	Sul	4	2	Ausência de pintura de contraste no zebrado	09/01/2019
155	181+350	Sul	4	2	Ausência de pintura de contraste no zebrado	09/01/2019
156	181+350	Sul	4	2	Ausência de pintura de contraste no zebrado	09/01/2019
157	181+350	Sul	4	2	Ausência de pintura de contraste no zebrado	09/01/2019
158	181+350	Sul	4	2	Ausência de pintura de contraste no zebrado	09/01/2019
159	180+130	Sul	4	4	Zebrado prejudicado por detritos	05/01/2019
160	180+125	Sul	4	4	Zebrado prejudicado por detritos	05/01/2019
161	180+120	Sul	4	1	Sinaliz. .Horiz. desgastada (PARE+LRE)	05/01/2019
162	180+115	Sul	4	1	Sinaliz. .Horiz. desgastada (Zebrado)	05/01/2019
163	180+110	Sul	4	4	Zebrado prejudicado por detritos	05/01/2019
164	180+105	Sul	4	4	Zebrado prejudicado por detritos	05/01/2019
165	180+100	Sul	4	4	Zebrado prejudicado por detritos	05/01/2019
166	180+095	Sul	5	2	Ausência de tachas refletivas (LFO)	29/01/2019
167	180+095	Sul	4	4	Sinaliz. .Horiz. Prejudicada por detritos (LBOD)	05/01/2019
168	180+090	Sul	4	4	Sinaliz. .Horiz. Prejudicada por detritos (LBOE)	05/01/2019
169	177+200	Sul	4	1	Sinaliz. Horiz. Desgastada (LBOD)	05/01/2019
170	176+900	Sul	4	1	Sinaliz. Horiz. Desgastada (LBOD)	05/01/2019
171	176+770	Sul	4	1	Sinaliz. Horiz. Desgastada (LBOD)	05/01/2019
172	176+500	Sul	3	2	Ausência de M.P.	05/01/2019
173	176+400	Sul	3	2	Ausência de M.P.	05/01/2019
174	176+380	Sul	3	2	Ausência de M.P.	05/01/2019
175	175+280	Sul	3	3	Sinalização vertical com diagramação incorreta (logo SP)	09/01/2019
176	173+080	Sul	4	3	Sinaliz. Horiz. Incompleta (Zebrado)	05/01/2019

Localização			Não-conformidades (NC)			
Item	km	Pista	Código A	Código B	Descrição	Constatação
177	173+010	Sul	4	4	Sinaliz. .Horiz. Prejudicada por detritos (LBOD)	05/01/2019
178	172+970	Sul	3	2	Ausência de M.P.	05/01/2019
179	172+960	Sul	4	4	Sinaliz. .Horiz. Prejudicada por detritos (LBOD)	05/01/2019
180	169+450	Sul	1	1	Sinalização vertical danificada (R-28)	28/01/2019
181	167+720	Sul	3	3	Sinalização vertical com diagramação incorreta (logo do estado de São Paulo)	09/01/2019
182	166+700	Sul	3	1	M.A com película danificada	05/01/2019
183	166+680	Sul	3	1	M.A com película danificada	05/01/2019
184	166+660	Sul	3	1	M.A com película danificada	05/01/2019
185	166+450	Sul	4	4	Sinaliz. .Horiz. Prejudicada por detritos (LBOD)	05/01/2019
186	164+500	Sul	4	4	Sinaliz. .Horiz. Prejudicada por detritos (LBOD)	05/01/2019
187	162+050	Sul	3	3	M.P Fora do padrão (Altura)	05/01/2019
188	161+300	Sul	3	2	Ausência de sinalização vertical MP	09/01/2019
189	159+670	Sul	3	2	Ausência de M.P.	05/01/2019
190	153+500	Sul	3	1	M.P com película danificada	08/01/2019
191	153+500	Sul	3	3	M.P Fora do padrão (Altura)	05/01/2019

FORMULÁRIO APLICADO SOBRE PRIORIDADE DE MANUTENÇÃO EM SINALIZAÇÃO VERTICAL RODOVIÁRIA

Anomalias em sinalização vertical rodoviária: ordem de prioridade de manutenção

Este formulário permite a comparação entre as principais anomalias em sinalização vertical, a fim de se definir os pesos de prioridade de manutenção para esse componente do sistema rodoviário.

Essa comparação deve ser feita aos pares, considerando qual seria a sua escolha, como tomador de decisão, da prioridade de manutenção entre as 2 (duas) anomalias apresentadas em cada pergunta.

Em seguida, para cada comparação paritária, solicita-se que seja atribuído o peso dessa prioridade, apresentando como possíveis valores:

- (1) Mesma importância;
- (2) Fraca;
- (3) Moderada;
- (4) Moderada/Forte;
- (5) Forte;
- (6) Forte/Muito forte;
- (7) Muito forte;
- (8) Muito forte/Extrema;
- (9) Extrema.

Definições básicas:

Ausência de sinalização vertical - falta ou inexistência de placa em rodovia

Avaria em sinalização vertical - Placa danificada, deteriorada, abalroada, avariada, vandalizada ou amassada em rodovia

Sinalização vertical encoberta - Situação em que, devido ao crescimento da vegetação ou devido à implantação de obstáculo próximo à placa, esta não pode ser observada na rodovia

Sinalização vertical fora de padrão - A placa implantada não atende aos padrões do CTB, manuais de sinalização e normas técnicas

Escolher

(1) Mesma importância

(2) Fraca

(3) Moderada

(4) Moderada/Forte

(5) Forte

(6) Forte/Muito forte

(7) Muito forte

(8) Muito forte/ Extrema

(9) Extrema

Possui experiência de trabalho com sinalização rodoviária? *

- Sim, de 0 a 5 anos de experiência
 - Sim, de 5 a 10 anos
 - Sim, mais de 10 anos
 - Não, nunca trabalhei com sinalização rodoviária
-

Na sua opinião, qual anomalia apresenta prioridade de manutenção em rodovias: ausência de sinalização vertical ou avaria em sinalização vertical? *

- Ausência de sinalização vertical
- Avaria em sinalização vertical
- Mesma importância

Qual o peso dessa prioridade? *

 ▼

Na sua opinião, qual anomalia apresenta prioridade de manutenção em rodovias: ausência de sinalização vertical ou sinalização vertical encoberta? *

- Ausência de sinalização vertical
 - Sinalização vertical encoberta
 - Mesma importância
-

Qual o peso dessa prioridade? *

Na sua opinião, qual anomalia apresenta prioridade de manutenção em rodovias: ausência de sinalização vertical ou sinalização vertical fora de padrão? *

- Ausência de sinalização vertical
- Sinalização vertical fora de padrão
- Mesma importância

Qual o peso dessa prioridade? *

Na sua opinião, qual anomalia apresenta prioridade de manutenção em rodovias: avaria em sinalização vertical ou sinalização vertical encoberta? *

- Avaria em sinalização vertical
- Sinalização vertical encoberta
- Mesma importância

Qual o peso dessa prioridade? *

Na sua opinião, qual anomalia apresenta prioridade de manutenção em rodovias:
avaria em sinalização vertical ou sinalização vertical fora de padrão? *

- Avaria em sinalização vertical
- Sinalização vertical fora de padrão
- Mesma importância
-

Qual o peso dessa prioridade? *

Escolher ▼

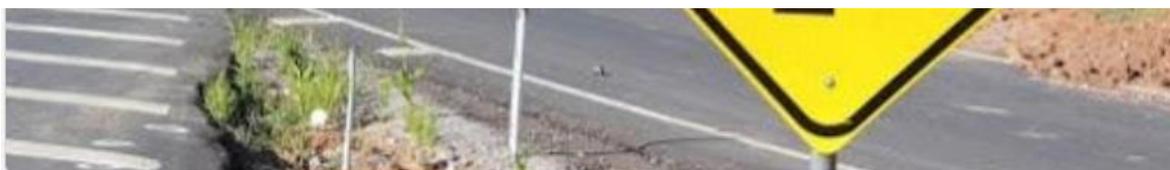
Na sua opinião, qual anomalia apresenta prioridade de manutenção em rodovias:
sinalização vertical encoberta ou sinalização vertical fora de padrão? *

- Sinalização vertical encoberta
- Sinalização vertical fora de padrão
- Mesma importância
-

Qual o peso dessa prioridade? *

Escolher ▼

RESULTADOS DO FORMULÁRIO NO GOOGLE® FORMS



Anomalias em sinalização vertical rodoviária: ordem de prioridade de manutenção

Este formulário permite a comparação entre as principais anomalias em sinalização vertical, a fim de se definir os pesos de prioridade de manutenção para esse componente do sistema rodoviário.

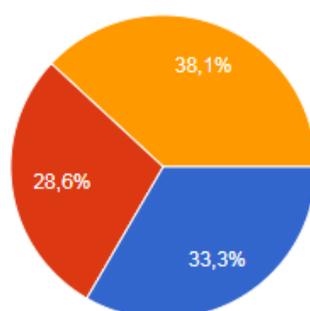
Essa comparação deve ser feita aos pares, considerando qual seria a sua escolha, como tomador de decisão, da prioridade de manutenção entre as 2 (duas) anomalias apresentadas em cada pergunta.

Em seguida, para cada comparação paritária, solicita-se que seja atribuído o peso dessa prioridade, apresentando como possíveis valores:

- (1) Mesma importância;
- (2) Fraca;
- (3) Moderada;
- (4) Moderada/Forte;
- (5) Forte;
- (6) Forte/Muito forte;
- (7) Muito forte;
- (8) Muito forte/Extrema;
- (9) Extrema.

Possui experiência de trabalho com sinalização rodoviária?

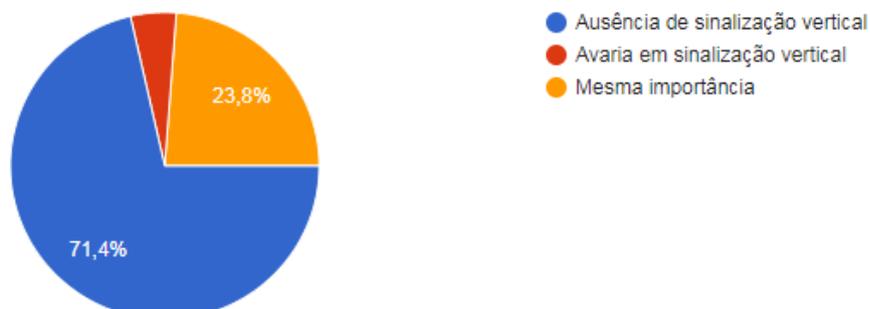
21 respostas



- Sim, de 0 a 5 anos de experiência
- Sim, de 5 a 10 anos
- Sim, mais de 10 anos
- Não, nunca trabalhei com sinalização rodoviária

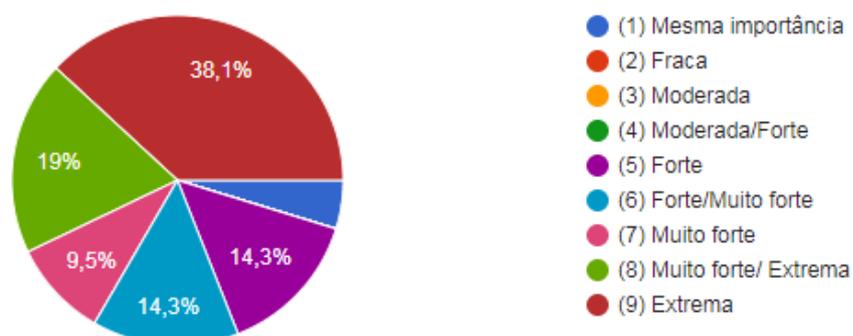
Na sua opinião, qual anomalia apresenta prioridade de manutenção em rodovias: ausência de sinalização vertical ou avaria em sinalização vertical?

21 respostas



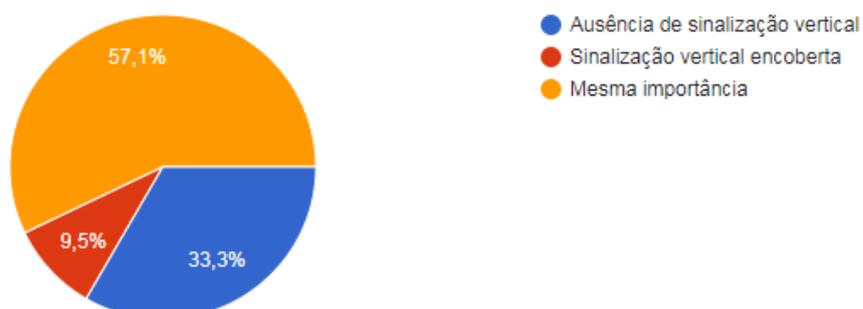
Qual o peso dessa prioridade?

21 respostas



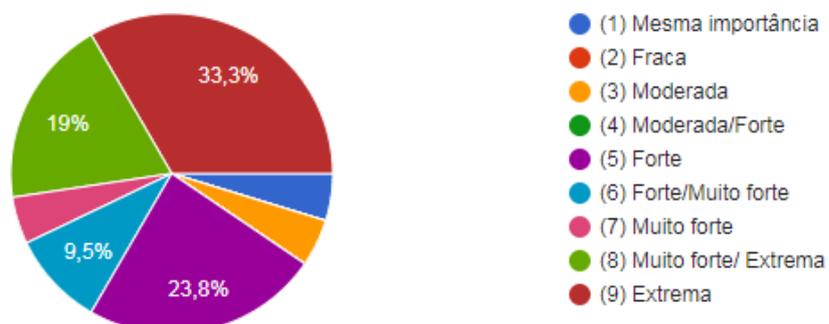
Na sua opinião, qual anomalia apresenta prioridade de manutenção em rodovias: ausência de sinalização vertical ou sinalização vertical encoberta?

21 respostas



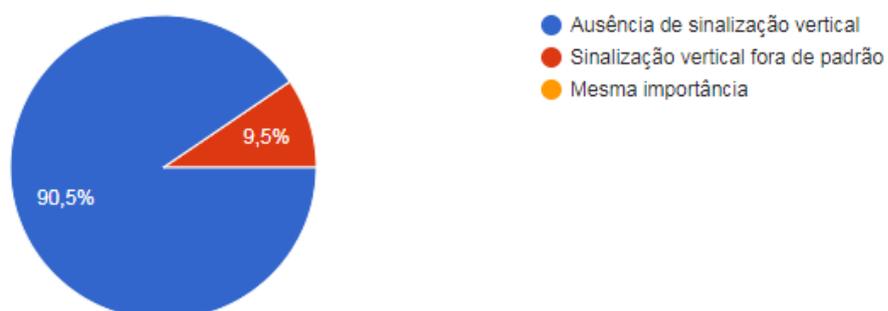
Qual o peso dessa prioridade?

21 respostas



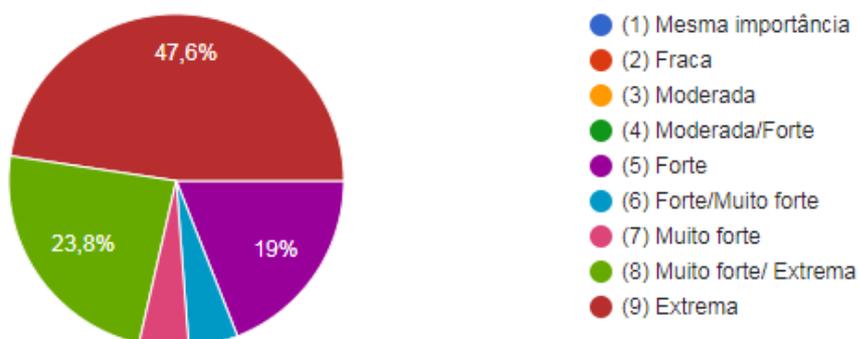
Na sua opinião, qual anomalia apresenta prioridade de manutenção em rodovias: ausência de sinalização vertical ou sinalização vertical fora de padrão?

21 respostas



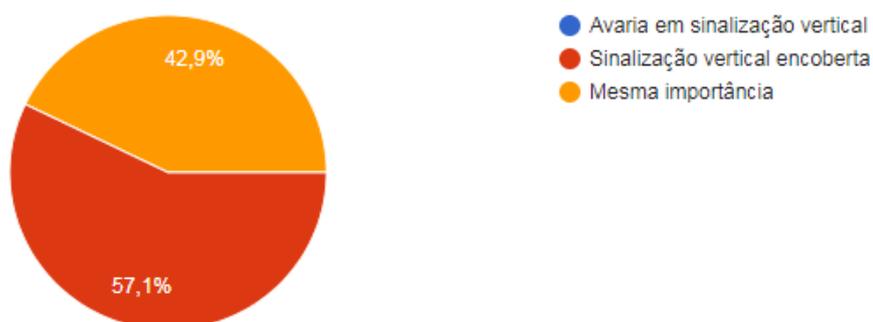
Qual o peso dessa prioridade?

21 respostas



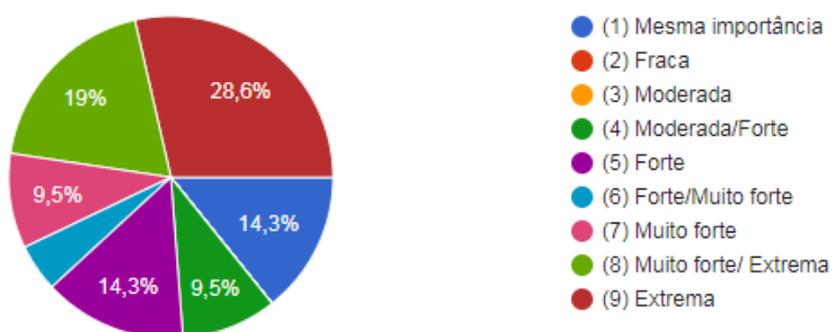
Na sua opinião, qual anomalia apresenta prioridade de manutenção em rodovias: avaria em sinalização vertical ou sinalização vertical encoberta?

21 respostas



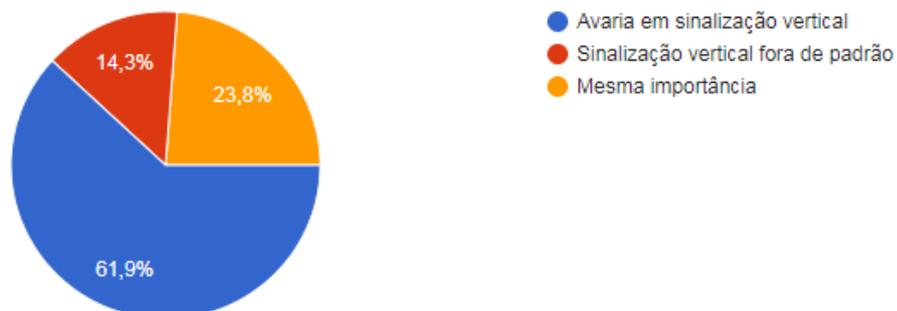
Qual o peso dessa prioridade?

21 respostas



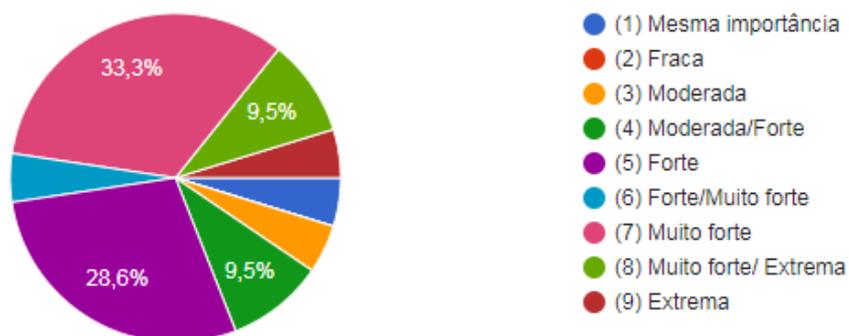
Na sua opinião, qual anomalia apresenta prioridade de manutenção em rodovias: avaria em sinalização vertical ou sinalização vertical fora de padrão?

21 respostas



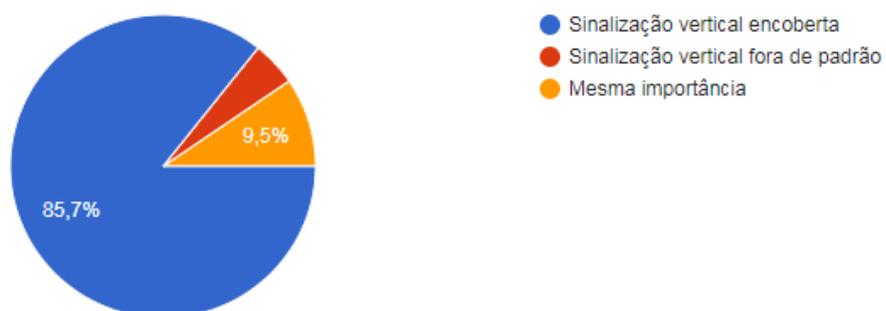
Qual o peso dessa prioridade?

21 respostas



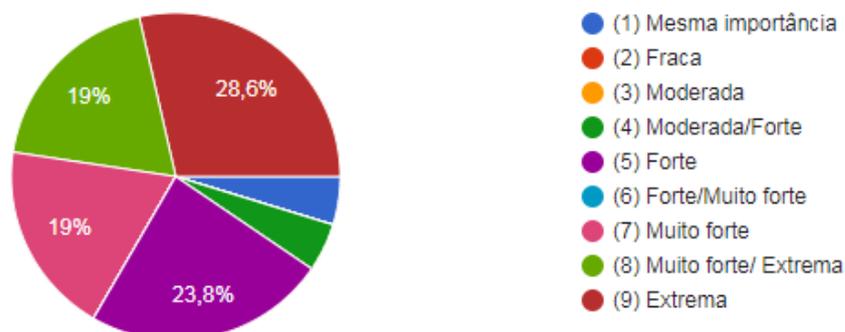
Na sua opinião, qual anomalia apresenta prioridade de manutenção em rodovias: sinalização vertical encoberta ou sinalização vertical fora de padrão?

21 respostas



Qual o peso dessa prioridade?

21 respostas



APLICAÇÃO DO SOFTWARE TRANSPARENT CHOICE®

Utilização do programa TransparentChoice®, acessado pelo endereço eletrônico:

<https://app.transparentchoice.com/>

Question 1

What is more important in the context of: **Prioridade de manutenção em sinalização vertical rodoviária?**

Ausência	Avaria
<input checked="" type="checkbox"/> Average (9)	<input type="checkbox"/> More important
<input type="checkbox"/> Equally important (1)	
<input checked="" type="checkbox"/> Average (9)	

Comment:

Optional comment

◀ Prev question

Next question ▶

▼ Consistency analysis

Context	Inconsistency
Prioridade de manutenção em sinalização vertical rodoviária	19.2% <i>improve</i> (2) ▼

Context	Inconsistency
Prioridade de manutenção em sinalização vertical rodoviária	19.2% <i>improve</i> (2) ▼
Overall	0%

Avaria vs Encoberta

Avaria vs Fora de padrão

Context	Inconsistency
Prioridade de manutenção em sinalização vertical rodoviária	9.8%
Overall	0%