



Sistema De Gerenciamento De Pavimentos Asfálticos Urbanos: Proposta De Matriz De Decisão De Manutenção Fundamentada Na Avaliação De Patologias

VICTOR CELESTINO SCHWANDT

novembro de 2024

**SISTEMA DE GERENCIAMENTO
DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS
URBANOS:
PROPOSTA DE MATRIZ DE DECISÃO
DE MANUTENÇÃO
FUNDAMENTADA NA AVALIAÇÃO
DE PATOLOGIAS**

Victor Celestino Schwandt

**Dissertação para obtenção do Grau de Mestre
em Engenharia Civil, Área de Especialização
em Gestão da Construção**

Orientadora: Rosário de Oliveira (ISEP)

Co-orientadora: Patrícia Barboza da Silva (UPM)

Júri:

Presidente:

Prof. Diogo Rodrigo Ribeiro (ISEP)

Vogais:

Prof.^a Maria Rosário Oliveira (ISEP)

Prof.^a Cristina Madureira dos Reis (UTAD)

Prof.^a Patricia Barboza Silva (UPM)

Prof. Eric Ribeiro da Silva (UPM)

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter conduzido este trabalho académico com integridade. Não plagiei ou apliquei qualquer forma de uso indevido de informações ou falsificação de resultados ao longo do processo que levou à sua elaboração.

Declaro que o trabalho apresentado neste documento é original e de minha autoria, não tendo sido utilizado anteriormente para nenhum outro fim.

Declaro ainda que tenho pleno conhecimento do Código de Conduta Ética do P.PORTO.

ISEP, Porto, 15 de novembro de 2024



Assinatura Recuperável

X Victor C. Schwandt

Victor Celestino Schwandt

Assinado por: 623ce2eb-be12-42da-9cab-ba8f7995d9f2

Resumo

Frente à grande importância que a malha rodoviária apresenta para o Brasil e sua crescente deterioração, justificam-se os investimentos substanciais realizados para a construção e manutenção de vias pavimentadas. Contudo, é necessário avaliar as prioridades e analisar as intervenções necessárias de forma eficiente para um melhor resultado. Para isso, existem os sistemas de gerenciamento de pavimentos, que são ferramentas que auxiliam na gestão e conservação de vias, fornecendo informações e recursos para a tomada de decisões relacionadas aos pavimentos.

O objetivo deste trabalho é propor um sistema de gerenciamento para pavimentos adaptado para a realidade urbana, baseado na avaliação de patologias para obter, a partir da análise, métodos de manutenção e reabilitação de forma mais eficiente e adequada. Entende-se que a matriz proposta é capaz de fornecer as técnicas de manutenção e reabilitação mais assertivamente para aplicações urbanas, devido a ponderação das características dos defeitos na análise final.

Palavras-chave: Sistema de gerenciamento de pavimentos; Patologias; Defeitos; Manutenção e Reabilitação.

Abstract

Given the great importance of the road network for Brazil and its increasing deterioration, substantial investments in the construction and maintenance of paved roads are justified. However, it is necessary to evaluate priorities and efficiently analyze the necessary interventions for better results. For this purpose, pavement management systems exist, which are tools that assist in the management and conservation of roads, providing information and resources for decision-making related to pavements.

The objective of this work is to propose a pavement management system adapted to the urban reality, based on the evaluation of pathologies to obtain, through analysis, more efficient and appropriate methods of maintenance and rehabilitation. It is understood that the proposed matrix can provide maintenance and rehabilitation techniques more assertively for urban applications, due to the weighting of distresses characteristics in the final analysis.

Keywords: Pavement Management System; Pathologies; Distresses; Maintenance & Reliability

Agradecimentos

Primeiramente, gostaria de expressar minha sincera gratidão à Universidade Presbiteriana Mackenzie por me proporcionar uma excelente formação acadêmica, através da bolsa de estudos durante a graduação, e por viabilizar a experiência internacional no Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), onde pude realizar o programa de Dupla Titulação e esta dissertação. As oportunidades e a vivência acadêmica oferecidas pelo Mackenzie foram fundamentais para meu crescimento pessoal e profissional.

Agradeço, também, ao Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP) por abrir as portas para alunos brasileiros e proporcionar um ambiente de aprendizado e acolhimento. As aulas e a vivência em Portugal foram experiências transformadoras que enriqueceram minha formação profissional e pessoal.

À Dr^a Patrícia Barboza, minha orientadora desde o meu projeto de iniciação científica, trabalho de conclusão de curso, até o mestrado. Expresso minha profunda gratidão. Sua orientação, mentoria e exemplo foram essenciais para minha trajetória acadêmica e, sem o seu apoio, este trabalho não seria possível.

Agradeço, também, à Dr^a Maria do Rosário, do ISEP, pela orientação dedicada, pelo acolhimento em Portugal e pelas valiosas contribuições durante as aulas e para esta dissertação.

Aos meus pais, devo tudo o que sou. Agradeço o apoio incondicional, os incentivos a realizar este programa de Dupla Titulação e por serem a base que me sustenta em todos os momentos. A força e os valores que me foram passados se mostraram imprescindíveis para que eu pudesse chegar aonde estou e motivado a me tornar cada vez melhor por eles.

Por fim, agradeço à minha noiva pelo apoio contínuo, por estar ao meu lado nos momentos mais desafiadores e por ter me auxiliado na etapa de coleta de dados deste trabalho. Sua presença foi muito importante para que eu pudesse superar os desafios ao longo desta etapa e ao longo desta vida.

A todos, meu muito obrigado.

Índice

1	Introdução	1
1.1	Enquadramento.....	1
1.2	Objetivos	3
1.3	Metodologia.....	4
1.4	Estrutura da dissertação.....	5
2	Sistema de Gerenciamento de Pavimentos	7
2.1	Histórico do SGP	7
2.2	Estrutura do SGP	8
2.3	Avaliação de pavimentos para análise do SGP	11
2.3.1	Avaliação Estrutural	13
2.3.2	Avaliação Funcional	14
2.3.2.1	Índice de Irregularidade Internacional (IRI)	15
2.3.2.2	Valor de Serventia Atual (VSA).....	17
2.3.2.3	Índice de Gravidade Global (IGG).....	18
2.3.2.4	Índice de Condição do Pavimento (ICP)	21
2.3.3	Priorização.....	24
2.3.4	Definição das estratégias de manutenção.....	25
2.4	Análise Econômica.....	28
3	Defeitos em Pavimentos Asfálticos Flexíveis	33
3.1	Fendas.....	33
3.1.1	Fissuras.....	33
3.1.2	Trincas.....	33
3.1.2.1	Trincas Isoladas	34
3.1.2.2	Trincas Interligadas	37
3.2	Afundamentos.....	38
3.2.1	Afundamento plástico	39
3.2.2	Afundamento de consolidação	40
3.3	Ondulação ou Corrugação	41
3.4	Escorregamento.....	42
3.5	Exsudação	43
3.6	Desgaste	43
3.7	Panela ou buraco	44
3.8	Remendo.....	46
4	Manutenção e Reabilitação	49

4.1 Misturas Asfálticas	53
4.1.1 Misturas asfálticas usinadas a quente	53
4.1.2 Misturas asfálticas usinadas a frio	54
4.1.2.1 Pré-misturado a frio (PMF).....	55
4.1.2.2 Lama Asfáltica.....	55
4.1.2.3 Microrrevestimento asfáltico a frio.....	56
4.1.3 Misturas asfálticas mornas	57
4.1.3 Misturas asfálticas recicladas.....	58
4.2 Tratamentos Superficiais	59
4.2.1 Selagem	60
4.2.2 Imprimação	61
4.2.3 Pintura de ligação.....	62
4.2.4 Capa selante	62
4.3 Remendos	62
4.3.1 Reparo de painelas	63
4.3.2 Reparo de trincas de fadiga	64
4.4.3 Reperfilagem	64
4.4 Tratamentos anti-deflexão de trincas	64
5 Proposta de Sistema de Gerenciamento de Pavimentos Flexíveis Para Aplicação Urbana.....	67
5.1 Considerações iniciais	67
5.2 Contextualização	68
5.3 Inventário e coleta de dados	70
5.3.1 Métodos de medição	74
5.4 Priorização.....	74
5.5 Proposta de matriz de decisão.....	77
5.6 Divisão dos níveis de deterioração e estimativas de investimento de correção por nível.....	93
6 Aplicação do sistema proposto e discussões	103
6.1 Inventário e dados	103
6.2 Comparação da condição do pavimento e priorização	108
6.3 Definição das técnicas de M&R	110
6.4 Considerações e discussão do método proposto.....	112
6.5 Discussões sobre a manutenção de pavimentos em São Paulo	114
7 Considerações finais	119
Anexo I.....	129

Lista de Figuras

Figura 1: Vida útil em função do valor de serventia (DNIT, 2011).	8
Figura 2: Etapas de um sistema de gerenciamento de pavimento	10
Figura 3: Sequência lógica de atividades de um SGP. Fonte: (Visconti, 2000).	11
Figura 4: Inventário do estado da superfície do pavimento o procedimento do DNIT. Fonte: (DNIT, 2003b)	19
Figura 5: Planilha de cálculo de índice de gravidade global (IGG). Fonte: (DNIT, 2003b) ..	21
Figura 6: Classificação conforme ICP. Fonte: adaptado de (ODOT, 2006).	22
Figura 7: Matriz de células DNER (1997) (Visconti, 2000).	25
Figura 8: Árvore de decisão para seleção de estratégia de M&R (Shoji, 2000)	27
Figura 9: Curva do nível ótimo de manutenção (Visconti, 2000)	28
Figura 10: Fluxograma geral de sistema de gerenciamento de pavimentos.....	31
Figura 11: Trinca isolada transversal (DAER-RS, 1978 Apud. DNIT, 2003a)	35
Figura 12: Trinca de retração térmica (Bernucci et al., 2008)	35
Figura 13: Trinca isolada longitudinal (DAER - RS, 1978 Apud. DNIT, 2003a)	36
Figura 14: Trinca de retração (Bernucci et al., 2008).....	36
Figura 15: Trinca interligada tipo jacaré (DAER-RS 1978 Apud. DNIT, 2003a)	38
Figura 16 (à esquerda): Trincas de bloco com erosão (Bernucci et al., 2008)	38
Figura 17 (à direita): Trincas de bloco sem erosão (Bernucci et al., 2008)	38
Figura 18: Afundamento de trilha de roda (DAER-RS, 1978 Apud. DNIT, 2003a)	40
Figura 19: Afundamento por consolidação em trilha de roda (ATC) (Bernucci et al., 2008)	40
Figura 20: Afundamento por consolidação localizado (ALC) (Bernucci et al., 2008)	41
Figura 21: Ondulação (DAER – RS, 1978 Apud. DNIT, 2003a)	41
Figura 22: Escorregamento de massa (Bernucci et al., 2008)	42
Figura 23: Escorregamento de revestimento (Bernucci et al., 2008).....	42
Figura 24: Exsudação (Moura, 2004 Apud. Bernucci et al., 2008)	43
Figura 25: Desgaste (WSDOT, 2020).....	44
Figura 26: Formação de painéis em pavimentos asfálticos (DNIT, 2006)	45
Figura 27: Painel ou buraco (DAER – RS, 1978 Apud. DNIT, 2003a).....	45
Figura 28: Remendo mal executado (Bernucci et al., 2008)	46
Figura 29: Remendo bem executado (Bernucci et al., 2008)	46
Figura 30: Quadro resumo dos defeitos: codificação e classificação (DNIT, 2003a).....	47

Figura 31: Tensões de tração na camada de reforço (DNIT, 2005)	65
Figura 32: Reflexão de trincas (DNIT, 2005)	65
Figura 33: Assentamento de geotêxtil (DNIT, 2005)	66
Figura 34: Fluxograma do Sistema de Gerenciamento de Pavimentos proposto	70
Figura 35: Formulário proposto para o levantamento em campo	73
Figura 36: Formulário proposto do ICP	76
Figura 37: Comparativo de técnicas de M&R	84
Figura 38: Matriz de decisão de M&R com base em defeitos	92
Figura 39: Gráfico de custo estimado para manutenção em diferentes graus de deterioração	100
Figura 40: Comparação de proporção de custos estimados por grau de deterioração ...	100
Figura 41: Período recomendável para manutenção do pavimento (DNIT, 2011)	101
Figura 42: Índice de serventia x vida útil do pavimento (DNIT, 2011)	102
Figura 43: Localização das vias avaliadas	104
Figura 44: Formulário de inventário preenchido – Rua Piatá (Via #1)	105
Figura 45: Classificação conforme ICP	108
Figura 46: Formulário de cálculo do Índice de Condição de Pavimento (Via #1)	109
Figura 47: Matriz de decisão da Rua Piatá (Via #1)	111
Figura 48: Fresagem em áreas danificadas da rua Antônio Domingues de Carvalho	115
Figura 49: Valas para intervenção	115
Figura 50: Valeta reconstruída e via danificada devido a intervenção.....	116
Figura 51: Levantamento fotográfico via #1.....	135
Figura 52: Formulário de campo via #1	136
Figura 53: Formulário ICP via #1.....	137
Figura 54: Matriz de decisão via #1	138
Figura 55: Levantamento fotográfico via #2.....	141
Figura 56: Formulário de campo via #2	142
Figura 57: Formulário ICP via #2.....	143
Figura 58: Matriz de decisão via #2	144
Figura 59: Levantamento fotográfico via #3.....	148
Figura 60: Formulário de campo via #3	148
Figura 61: Formulário ICP via #3.....	149
Figura 62: Matriz de decisão via #3	150
Figura 63: Levantamento fotográfico via #4.....	153

Figura 64: Formulário de campo via #4	154
Figura 65: Formulário ICP via #4.....	155
Figura 66: Matriz de decisão via #4	156
Figura 67: Levantamento fotográfico via #5	158
Figura 68: Formulário de campo via #5.....	159
Figura 69: Formulário ICP via #5.....	160
Figura 70: Matriz de decisão via #5	161

Lista de Tabelas

Tabela 1: Níveis de Decisão. Adaptado de (Zimmerman et al., 2011)	10
Tabela 2: Avaliação correspondente a faixa de valores de IRI. Fonte: (DNIT, 2005).	17
Tabela 3: Níveis de serventia. Fonte: (DNIT, 2003c)	18
Tabela 4: Fatores de ponderação para cálculo do IGG. Fonte: (DNIT, 2003b).....	20
Tabela 5: Conceito de degradação do pavimento em função do IGG. Fonte: (DNIT, 2003b)	20
Tabela 6: Considerações para cálculo do ICP. Fonte: adaptado de (ODOT, 2006).....	23
Tabela 7: Fatores de ponderação para cálculo do ICP. Fonte: adaptado de (ODOT, 2006).	23
Tabela 8: Padrões de manutenção DNER (1997). Fonte: Visconti (2000).	26
Tabela 9: Atividades de pavimentação por propósito (Geiger, 2005 Apud. AASHTO, 2015).	50
Tabela 10: Cidades, habitantes e atividades de M&R (Causin, 2001).	51
Tabela 11: Manutenções usuais em pavimentos flexíveis no Brasil (Gonçalves, 1999). ...	51
Tabela 12: Patologias em pavimentos flexíveis e suas causas	78
Tabela 13: Técnicas de M&R para pavimentos flexíveis	81
Tabela 14: Modelo de programa de gerenciamento (DNIT, 2011)	83
Tabela 15: Matriz de decisão para pavimentos flexíveis de MERO (2013)	86
Tabela 16: Níveis de deterioração adotados x técnica de reabilitação	87
Tabela 17: Critérios de severidade e extensão de defeitos do SDDOT (2021).....	88
Tabela 18: Critérios de severidade de defeitos do MnDOT (2011)	89
Tabela 19: Comparação entre graus de severidade	90
Tabela 20: Critérios adotados em trincas isoladas.....	90
Tabela 21: Critérios adotados para “panelas” ou buracos.....	90
Tabela 22: Custos estimados para manutenção de deterioração de grau 7.....	93
Tabela 23: Custos estimados para manutenção de deterioração de grau 6.....	94
Tabela 24: Custos de tratamento grau de deterioração 5	95
Tabela 25: Custos estimado de tratamento grau de deterioração 4	96
Tabela 26: Custos estimados de tratamento grau de deterioração 3.....	96
Tabela 27: Custos estimados de tratamento grau de deterioração 2.....	97
Tabela 28: Custos estimados de tratamento grau de deterioração 1.....	99
Tabela 29: Custos estimados de manutenção por grau de deterioração do pavimento .	100
Tabela 30: Vias estudadas	103

Tabela 31: Resumo do levantamento em campo	106
Tabela 32: Resumo do levantamento por trechos	106
Tabela 33: Comparação dos índices de condição de pavimento	108

Acrónimos e Símbolos

Lista de Acrónimos

CAD	<i>Computer Aided Design</i> (texto não português em itálico, se tese escrita em português)
AASHTO	<i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i>
ADP	Asfalto Diluído de Petróleo
ALC	Afundamento por Consolidação Local
ATP	Afundamento Plástico nas Trilhas de Roda
ATR	Afundamento na Trilha de Rodas
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
CA	Concreto Asfáltico
CALTRANS	<i>California Department Of Transportation</i>
CAP	Cimento Asfáltico de Petróleo
CBUQ	Concreto Betuminoso Usinado a Quente
CPGP	Comissão Permanente de Gerência de Pavimentos
CNT	Confederação Nacional do Transporte
DER	Departamento de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
EAP	Emulsão Asfáltica de Petróleo
FAA	Federal Aviation Administration
FC	Classificação de Fendas
FHWA	<i>Federal Highway Administration</i>

FWD	<i>Falling Weight Deflectometer</i>
GIS	Sistemas de Informações Geográficas
HDM	<i>Highway Development and Management</i>
HMA	<i>Hot Mix Asphalt</i> (Mistura Asfáltica a Quente)
ICP	Índice de Condição do Pavimento
ICPF	Índice de Condição dos Pavimentos Flexíveis
IGG	Índice de Gravidade Global
IGI	Índice de Gravidade Individual
IPR	Instituto de Pesquisas Rodoviárias
IRI	<i>International Roughness Index</i> (Índice de Irregularidade Internacional)
IS	Índice de Suficiência
JE	Jacaré com Erosão (trincas do tipo couro de jacaré com erosão)
LVC	Levantamento Visual Contínuo
M&R	Manutenção e Reabilitação
MERO	<i>Materials Engineering And Research Office</i>
MnDOT	<i>Minnesota Department Of Transportation</i>
MRAF	Microrrevestimento Asfáltico a Frio
ODOT	<i>Ohio Department of Transportation</i>
PMF	Pré-misturado a Frio
PSI	<i>Present Serviceability Index / ISA</i> : Índice de Serventia Atual
PSR	Classificação de Serventia Atual
QI	Quociente de Irregularidade
SDDOT	<i>South Dakota Department Of Transportation</i>

SGP	Sistema de Gerenciamento de Pavimentos
SGPU	Sistema de Gerenciamento de Pavimentos Urbanos
SHRP	<i>Strategic Highway Research Program</i>
SMA	<i>Stone Mastic Asphalt</i>
TBE	Trincas de Bloco com Erosão
TER	Terminologia
TMD	Tráfego Médio Diário
TSD	Tratamento Superficial Duplo
USACE	Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos
VDM	Volume Diário Médio
VSA	Valor da Serventia Atual

1 Introdução

1.1 Enquadramento

A pavimentação asfáltica é uma técnica utilizada para a construção de estradas, rodovias e vias urbanas, proporcionando uma superfície regular e resistente para o tráfego de veículos, cuja principal função é promover um rolamento confortável e seguro (Bernucci et al., 2008). Para isso, a qualidade das pavimentações é crucial para a segurança, eficiência e economia de recursos para o modal rodoviário e, também, viário urbano. No entanto, a manutenção e a gestão eficaz dessas estruturas são desafios constantes devido ao seu envelhecimento natural, ao tráfego e às condições climáticas adversas.

No Brasil, o investimento público referente a obras de pavimentação em rodovias federais chegou a R\$7,5 bilhões em 2018, segundo o Ministério da Infraestrutura (2019), sendo que, deste montante, R\$4,2 bilhões se destinaram para manutenção das estruturas existentes. Isto posto, entende-se que a qualidade do plano de ação e da estratégia referente à manutenção da vida útil do pavimento é de suma importância para uma melhor alocação de recursos públicos provenientes de órgãos gestores.

Assim, entende-se que o gerenciamento eficiente da rede de pavimentos poderia alocar os recursos em momentos estratégicos e em vias programadas para garantir maior durabilidade e menos manutenções ao longo da vida útil. Este gerenciamento beneficia tanto os órgãos gestores, públicos ou concessionárias, quanto os usuários das vias, haja vista o investimento mais eficiente e efetivo por parte dos gestores e a consequente qualidade e segurança da via por onde os usuários trafegam.

Dados levantados pela Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2022) demonstram que, em 2022, houve o aumento do percentual de pavimentos classificados como regular, ruim ou péssimo de 59,4%, em 2021, para 62,7% em rodovias sob gestão pública. Além de indicar que uma grande parte da malha possui problemas, o índice de pavimentos com problemas está aumentando desde 2019, apontando a constante deterioração da malha rodoviária. Infere-se, portanto, que são necessários meios de gerir tais índices e definir um plano de recuperação e manutenção da malha existente, de forma a garantir eficiência e segurança no transporte.

No que se refere a pavimentos urbanos, Bertollo (1997) enuncia que, por falta de investimentos em gerenciamento e em aperfeiçoamento técnico, resulta na ausência de diagnósticos claros que detalhem a real condição dos pavimentos. Ainda, Zanchetta (2017) atesta que se tem dificuldade para encontrar dados de inventário em municípios brasileiros, tais como geometria da via, ano de construção, espessura e materiais constituintes da estrutura e histórico de manutenções. Reitera, ainda, que muitas vezes a informação de idade das vias depende da lembrança de funcionários antigos dos órgãos municipais.

Além disso, as equipes operacionais frequentemente são mal preparadas, reduzidas e carecem de um nível adequado de especialização. Com isso, a gestão do setor é realizada de maneira

desordenada, focando apenas em atender as necessidades mais urgentes de reparo, sem qualquer planejamento prévio ou estratégia estruturada (Bertollo, 1997).

Para tais reparos, a maioria das prefeituras municipais brasileiras geralmente adota dois procedimentos principais para a conservação de suas malhas pavimentadas: operações tapa-buracos e recapeamentos. No entanto, essas soluções visam corrigir defeitos emergenciais e, frequentemente, resultam em pavimentos de alto custo para a sociedade que, muitas vezes, apresentam numerosas patologias em suas superfícies (Zanchetta, 2017) e exigem manutenções corretivas constantes.

Contudo, sabe-se que a adoção de intervenções preventivas que, além de mais simples execução, podem prolongar significativamente a vida útil do pavimento (DNIT, 2011) e reduzir os custos de reparo ao longo do tempo e o custo total de transporte (DNIT, 2006a). Desta forma, para preservar o patrimônio público e os recursos investidos em pavimentação urbana, é fundamental aprimorar os procedimentos de gestão das vias e adotar técnicas mais eficientes.

No Brasil, segundo Bertollo (1997), os administradores públicos enfrentam grandes desafios na gestão da infraestrutura municipal devido à constante escassez de recursos, que afeta a maioria das cidades brasileiras. Isso é decorrente da falta de uma política formal para a gestão do sistema viário, especialmente em relação aos pavimentos, o que resulta em desperdício de recursos financeiros.

Ainda, observa-se que a adoção de planos de gerenciamento para aplicação de medidas preventivas para o aumento da vida útil da estrutura acarreta benefícios, também, no custo indireto inerente a manutenções no pavimento. Isso porque cidades como São Paulo, onde o fluxo de veículos nas vias é elevado, a implementação de manutenção mais ágeis diminui o tempo de bloqueio de circulação, prejudicando em menor intensidade a circulação e a perda econômica devido à interrupção do tráfego.

Portanto, entende-se que o desempenho do pavimento deve ser monitorado, e as manutenções preventivas e corretivas devem ser realizadas no momento adequado. Isto é, é necessária uma ferramenta ou um sistema para gerenciar os pavimentos, de forma a preservá-los eficientemente para gerar menos custos relativos a intervenções e, conseqüentemente, impactar na qualidade das vias em relação a segurança, o conforto e, também, os custos operacionais dos usuários.

Sistema de Gerenciamento de Pavimentos (SGP) é um sistema integrado que coleta, processa e analisa dados sobre o estado das pavimentações. Esses sistemas auxiliam os tomadores de decisão a encontrarem estratégias para fornecer e manter pavimentos em condições de serviço e segurança da maneira mais eficaz possível em termos de custos (Ismail, N.; Ismail, A.; Atiq, R., 2009). Um SGP facilita a tomada de decisões baseadas em dados técnicos, auxiliando na definição de estratégias de manutenção, na alocação eficiente de recursos e na programação de obras.

Quando integrado a sistemas de informações geográficas (GIS), gestão de ativos e coleta de

dados automatizados, o SGP proporciona uma capacidade de manuseio de dados mais ampla e ágil, permitindo melhores análises, otimização dos recursos de manutenção das rodovias e a adequada elaboração de programas anuais e plurianuais para os diversos tipos de intervenções na rede rodoviária (Retagi, 2012).

No entanto, observou-se a partir do estudo de fontes técnicas sobre Sistema de Gerenciamento de Pavimentos que a maioria dos sistemas, inclusive internacionais, são embasados para gerenciamento de rodovias. Porém, em um país onde a principal modalidade de mobilidade urbana é a viária, com inúmeras vias locais, coletoras e avenidas, o mal gerenciamento destes pavimentos traz um impacto negativo para a cidade, tanto no quesito qualidade do meio de transporte, como no tocante a custos de manutenção.

A adaptação dos critérios utilizados em SGPs para o contexto urbano é essencial, pois muitos dos parâmetros aplicados em rodovias, como índices de irregularidade e deflexão, apresentam impactos relativamente menores em pavimentos urbanos. Isso se deve, principalmente, à menor volume de tráfego, velocidades de rolamento mais baixas e menor exigência de capacidade de carga. Além disso, a necessidade de diversos dados contextuais de materiais, volume de tráfego, histórico da via, bem como aplicação de ensaios e testes para alimentar os modelos dos SGPs rodoviários, demandam significativos recursos e tempo, o que pode se tornar inviável quando aplicada em grande escala no ambiente urbano, exigindo soluções mais simplificadas e adequadas à realidade dessas vias.

Portanto, as manutenções propostas priorizarão o conforto ao rolamento e a conservação, para estender a vida útil do pavimento e terão como principal objeto de estudo as patologias e o grau de deterioração do pavimento, pois entende-se que são os fatores mais críticos para o tráfego em um contexto urbano.

1.2 Objetivos

Considerando o citado anteriormente, propõe-se, portanto, soluções, critérios de avaliação e priorização de manutenção estabelecidos com base em métodos práticos, como o levantamento visual contínuo, visando uma utilização racional de recursos e medidas eficazes para melhorar o conforto e a qualidade de rolamento do tráfego, alinhados com o escopo de gerenciamento de pavimentos urbanos.

Deste modo, este estudo se propõe a sugerir um SGP para uma rede de pavimentos urbanos e uma matriz de decisão prática, levando em consideração as reais demandas e limitações para a aplicação urbana. Isto é, visa-se obter um sistema de fácil implementação, eficiente em questão de recursos e praticidade, utilizando como principal critério de decisão as patologias nos pavimentos e o seu grau de deterioração.

Portanto, este trabalho, para compor o SGP urbano, propõe uma série de etapas conectadas e focadas na obtenção de seus produtos a partir da avaliação da severidade das patologias nas vias analisadas, além de propor um estudo do investimento estimado para tratamentos das

seções em cada nível de deterioração proposto. As etapas do SGP estabelecido são:

- Modelo de coleta e levantamento de inventário
- Modelo de priorização de vias para ações
- Matriz de decisão com fim de sugerir a manutenção mais vantajosa

Desta forma, entende-se que os resultados obtidos em uma pesquisa desta natureza podem contribuir na economia de recursos financeiros e melhoria da mobilidade e produtividade, através da gestão eficiente de pavimentos e cumprem o objetivo de tornar a prática da aplicação de gerência de pavimentos urbanos mais eficaz e prática ao ter como fator determinante as patologias nos pavimentos.

Tal gestão pode resultar em economia significativa de recursos públicos e promover pavimentações preservadas que proporcionam uma melhor experiência de condução, aumentando a eficiência logística, o acesso a serviços essenciais, conforto e, principalmente, segurança no rolamento. Além disso, interpreta-se que a otimização da manutenção de pavimentos minimiza a geração de resíduos de construção e o consumo de recursos naturais, contribuindo para a sustentabilidade ambiental.

1.3 Metodologia

Este estudo adota uma abordagem metodológica que engloba a revisão de literatura, análise, tratamento e seleção de informações pertinentes para desenvolver uma matriz de tomada de decisão dentro de um Sistema de Gerenciamento de Pavimentos (SGP) urbano, além da aplicação do sistema proposto para sua análise.

Primeiramente, o trabalho consiste em uma revisão abrangente da literatura científica e técnica relacionada a SGPs, metodologias de avaliação de patologias em pavimentos, análise de redes rodoviárias, modelos de desempenho de pavimentos, e estratégias de conservação e reabilitação. Tais temas são abordados com o objetivo de fundamentar o sistema de gerenciamento proposto como um todo, buscando propor uma abordagem prática e adaptada visando tornar o método economicamente viável para uma ampla aplicação e melhorar a sua eficácia e eficiência.

Após propor de forma embasada todas as etapas constituintes do sistema de gerenciamento idealizado, realizou-se o levantamento de dados de inventário de vias urbanas locais para compor uma rede de pavimentos para validação e análise do sistema proposto, com o objetivo de avaliar pontos positivos e gerar propostas de melhorias.

1.4 Estrutura da dissertação

O presente trabalho encontra-se estruturado em 7 capítulos. O capítulo inicial é dedicado ao enquadramento do tema desenvolvido e busca introduzir o leitor ao tema, além de justificar a importância do estudo da temática, apresentar os objetivos, a metodologia adotada para o trabalho e a estruturação do documento, descrevendo os conteúdos de cada capítulo

O capítulo 2 apresenta uma visão geral do Sistema de Gerenciamento de Pavimentos (SGP), abordando seu histórico, as análises realizadas dentro do sistema e sua estrutura, além de detalhadas as metodologias e as diferenças quanto a avaliação funcional e estrutural dos pavimentos.

O capítulo 3 aborda os diferentes tipos de patologias que podem ocorrer em pavimentos asfálticos flexíveis. São discutidas as causas, características e consequências dessas patologias, bem como as metodologias para sua identificação e classificação.

No capítulo 4 são apresentadas as técnicas de manutenção e reabilitação de pavimentos. O capítulo explora estratégias preventivas e corretivas, descrevendo procedimentos, materiais e tecnologias utilizados para prolongar a vida útil dos pavimentos e melhorar suas condições.

O capítulo 5 é dedicado ao desenvolvimento da proposta de um sistema específico de gerenciamento de pavimentos flexíveis para áreas urbanas. Inclui considerações sobre o inventário e priorização de ações, a criação de uma matriz de decisão para intervenções e uma avaliação econômica do sistema proposto.

No sexto capítulo é detalhada a aplicação prática do sistema de gerenciamento de pavimentos proposto. São descritas as etapas de implementação, os resultados obtidos e as considerações durante o processo.

Por fim, o capítulo final apresenta as conclusões do estudo, além as contribuições para o campo de gerenciamento de pavimentos urbanos. Também são sugeridas recomendações para futuras pesquisas e melhorias no sistema proposto.

2 Sistema de Gerenciamento de Pavimentos

2.1 Histórico do SGP

No Brasil, o crescente interesse no desenvolvimento e aplicação de sistemas gerenciais pelos diversos órgãos rodoviários, recebeu maior ímpeto a partir de 1983 por uma série de fatores, conforme DNIT (2015).

Entre estes fatores, destacam-se a maior evidência da necessidade de manutenção oportuna e adequada da rede rodoviária devido ao envelhecimento da malha após a fase de construção de grandes projetos rodoviários, o incentivo de órgãos de financiamento como o Banco Mundial para um uso mais racional dos recursos obtidos por empréstimos, o reconhecimento do impacto direto das condições dos pavimentos nos custos operacionais dos veículos, o desenvolvimento de tecnologias avançadas para avaliação de pavimentos e os avanços tecnológicos que possibilitaram o gerenciamento eficaz de pavimentos (DNIT, 2015).

Ainda de acordo com DNIT (2015), em 1983, o Departamento Nacional de Estradas e Rodagem (DNER) contava com uma rede rodoviária pavimentada de aproximadamente 40.000 km, dos quais cerca de 26% encontravam-se em condições precárias. Estudos da Diretoria de Planejamento já indicavam a necessidade de adotar um programa de investimentos a médio prazo para reduzir esse índice, enquanto organizações financeiras internacionais cobravam do órgão um programa baseado em informações objetivas sobre o estado de deterioração da rede, os recursos financeiros necessários para sua manutenção e a previsão dos benefícios econômicos da aplicação oportuna desses recursos. Em resposta, foi criada em 1983 a Comissão Permanente de Gerência de Pavimentos (CPGP), formada por um grupo permanente de técnicos representantes de diversas áreas do DNER.

Outras iniciativas semelhantes ocorreram em unidades federativas de diversas regiões do país na década de 1990, com a implantação de sistemas de gestão de manutenção e bancos de dados rodoviários (DNIT, 2015). Nesta mesma década, a iniciativa privada, impulsionada pelas concessões, demonstrou grande interesse em conhecer e prever o desempenho dos pavimentos para antever, racionalizar e otimizar os recursos de manutenção, utilizando análises consistentes e estruturadas com base em software aplicado a uma base de dados atualizada da malha rodoviária.

Contudo, nas cidades brasileiras, especialmente nas de pequeno e médio porte, as etapas de planejamento, dimensionamento e execução das estruturas de pavimento têm recebido pouca atenção. Como resultado, muitas vias enfrentam um nível elevado e precoce de deterioração, o que reduz significativamente sua vida útil e eleva os custos associados à manutenção e reabilitação (Bertollo, 1997).

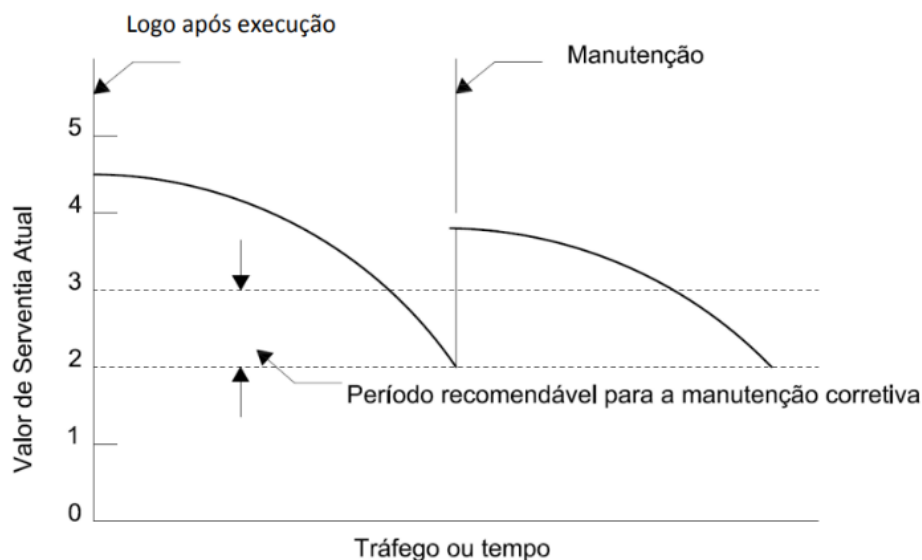
Ainda, os órgãos municipais responsáveis pela manutenção viária operam com orçamentos insuficientes em relação às demandas reais, o que dificulta a implementação de um SGP. Isso impacta negativamente a eficiência nas tomadas de decisão, compromete a coleta e atualização de dados, e prejudica o desenvolvimento de modelos de previsão de desempenho (HANSEN, 2008).

2.2 Estrutura do SGP

De acordo com a Federal Aviation Administration (FAA, 2014), um Sistema de Gerenciamento de Pavimentos (SGP) fornece um procedimento consistente, objetivo e sistemático para estabelecer políticas de intervenções, definir prioridades e cronogramas, alocar recursos e orçar a manutenção e reabilitação de pavimentos. Ele também pode quantificar informações e fornecer recomendações e ações necessárias para manter uma rede de pavimentos em um nível aceitável de serviço, enquanto minimiza os custos de manutenção e reabilitação.

Em geral, um SGP avalia a condição atual de um pavimento e prevê sua condição futura através do uso de indicadores de condição do pavimento. Ao projetar a taxa de deterioração, uma análise de custo do ciclo de vida pode ser realizada para várias alternativas a fim de determinar o momento ideal para aplicar a melhor alternativa de manutenção e reabilitação (M&R) e evitar custos mais altos de M&R no futuro (FAA, 2014).

Tal análise permite estender a vida útil do pavimento a partir de manutenções preventivas (Figura 1) e, a partir da avaliação econômica, definir investimentos na manutenção encontrando aqueles investimentos que minimizem o custo total de transporte, que inclui os custos de operação dos veículos e os custos de manutenção da infraestrutura.



Como ressalta DNIT (2011), na implementação do Sistema de Gerenciamento de Pavimentos

(SGP), a avaliação dos pavimentos é uma das etapas mais cruciais, pois serve como base para as futuras decisões dentro do sistema. Essa atividade consiste na coleta dos dados essenciais como condições funcionais, estruturais e operacionais dos pavimentos nos diversos segmentos de uma rede viária em um dado momento, além da determinação de índices de serventia, de irregularidade e de condição, que servem de parâmetros para o sistema.

Os dados coletados por tais métodos são armazenados em um banco de dados, o que permite o acesso, a organização e a análise eficiente das informações ao longo do tempo. Isso é justificado pelo fato de se utilizar algoritmos e modelos matemáticos para analisar os dados coletados, gerar planejamento orçamentários de curto e longo prazo e produzir uma lista de projetos potenciais com base na condição atual do pavimento, sua evolução ao longo do tempo, previsão do seu desempenho futuro (Butt et al., 1994) e, desta forma, identificar áreas prioritárias para intervenção.

Com as áreas prioritárias definidas, o SGP suporta a tomada de decisões embasadas em dados. Tais dados fundamentam a determinação de estratégias de manutenção, alocação de recursos e programação de obras, visando a otimização dos resultados. Esses resultados podem variar de técnicas determinísticas ou probabilísticas, direcionando-se para a solução mais adequada com os recursos disponíveis (Butt et al., 1994).

Esses resultados podem ser oferecidos via relatórios e visualizações que auxiliam os gestores na compreensão das condições dos pavimentos e nas decisões estratégicas. Contudo, para visualizar a grande quantidade de informações presente no SGP, são implementados ferramentas visuais e tratativas de dados para embasar as decisões (Pantuso et al., 2019) como gráficos, mapas e indicadores. É possível observar as informações discorridas na Figura 2.

Assim, a partir da aplicação de um SGP, é possível economizar recursos, melhorar a segurança viária e, de acordo com a *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO, 2015) obter três níveis de planejamento: o estratégico, o tático e o operacional. As decisões devem ser tomadas no contexto do trabalho atualmente programado e, além disso, estimar os custos de tratamentos futuros é fundamental para o desenvolvimento de planos de preservação e reabilitação, seguindo a Tabela 1, idealizada por Zimmerman et al. (2011).

A partir da Tabela 1, entende-se a divisão do SGP em nível estratégico, nível de rede e nível de projeto. O SGP em nível estratégico refere-se ao planejamento geral, alocação de recursos e otimizações (AASHTO, 2015). De acordo com Bertollo (1997), o SGP em nível de rede, por sua vez, tem suas atividades relacionadas ao planejamento, programação e orçamento de uma rede viária, já no nível do projeto, as decisões incluem atividades de manutenção, construção e dimensionamento.

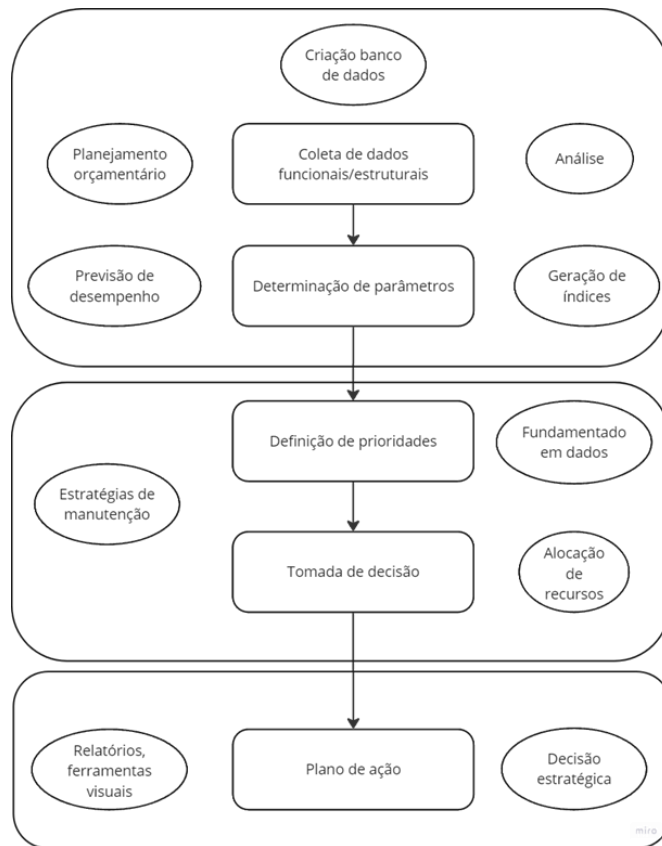


Figura 2: Etapas de um sistema de gerenciamento de pavimento

Tabela 1: Níveis de Decisão. Adaptado de (Zimmerman et al., 2011)

Nível de Decisão	Tomador de Decisão	Tipos de Decisões/Atividades
Estratégico	<ul style="list-style-type: none"> • Legislador • Comissário • Engenheiro-Chefe • Membro do Conselho 	<ul style="list-style-type: none"> • Metas de Desempenho • Alocações de Recursos • Estratégia de Preservação de Pavimentos
Rede (Tático)	<ul style="list-style-type: none"> • Gerente de Ativos • Engenheiro de Gerenciamento de Pavimentos • Engenheiro de Distrito 	<ul style="list-style-type: none"> • Recomendações de Projeto e Tratamento para um plano plurianual • Recursos necessários para atingir metas de desempenho • Consequências de diferentes estratégias de investimento
Projeto (Operacional)	<ul style="list-style-type: none"> • Engenheiro Projetista • Engenheiro de Construção • Engenheiro de Materiais • Engenheiro de Operações 	<ul style="list-style-type: none"> • Atividades de Manutenção • Projeto de espessura de reabilitação • Seleção de tipo de material • Custo do Ciclo de Vida

Para o Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER) (Visconti, 2000), a sequência lógica das atividades que envolvem a estruturação de um sistema gerencial de pavimentos inclui o planejamento, a programação de investimentos, o projeto, a construção, a manutenção e a avaliação e o controle periódico de todas as fases do processo e da própria rede pavimentada. As atividades específicas de um sistema gerencial de pavimentos a nível de rede, normalmente afetas à área de planejamento, podem ser agrupadas em três grandes atividades

básicas: avaliação periódica dos pavimentos, uso de metodologia para determinação das prioridades e elaboração de programa plurianual de investimentos.

A avaliação periódica dos pavimentos é a etapa mais difícil e importante, pois consiste na obtenção de todos os dados necessários para o sistema gerencial. Na segunda atividade, métodos técnicos definem as prioridades de investimentos com base nos dados coletados, estabelecendo a época e a estratégia de manutenção. A atividade final prepara o programa de investimentos de médio prazo (3 a 5 anos), adequando as recomendações técnicas às diretrizes políticas e administrativas do órgão rodoviário, sendo essa etapa específica de cada organização e difícil de padronizar (Visconti, 2000).

O quadro a seguir (Figura 3) ilustra a sequência lógica das atividades que envolvem a estruturação geral de um sistema gerencial de pavimentos, segundo o DNER (2000).

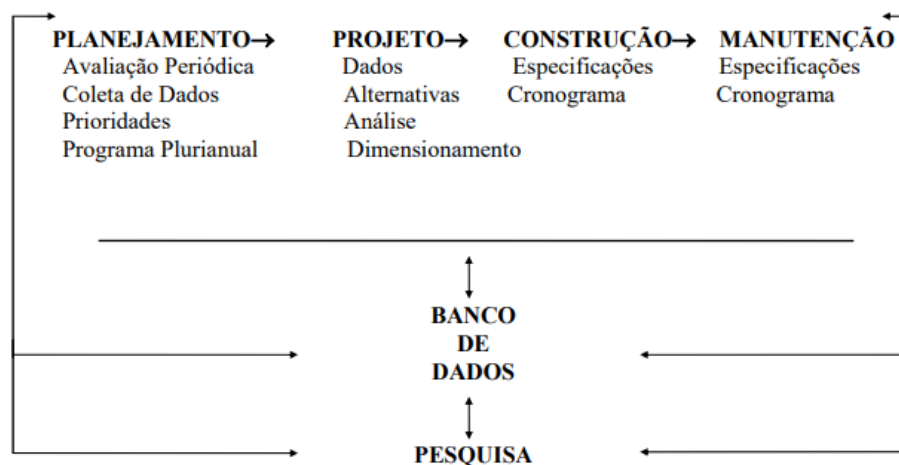


Figura 3: Sequência lógica de atividades de um SGP. Fonte: (Visconti, 2000).

2.3 Avaliação de pavimentos para análise do SGP

Como ponto de partida, um SGP exige coleta de dados detalhados, em quantidade adequada ao tamanho e tipo do projeto, para que a análise e a implementação subsequente possam prosseguir de maneira eficiente (Clark, G.; Moore, K, 1991).

Clark e Moore (1991) citam que podem ser incluídas no SGP atividades componentes como:

- Identificação de subseções homogêneas dentro do projeto;
- Medições de campo de geometria,
- Medições de campo de volumes e cargas de tráfego,
- Medições de campo de capacidade estrutural,
- Medições de campo de qualidade do rolamento,

- Medições de campo de condição da superfície,
- Medições de campo de resistência ao deslizamento;
- Medições laboratoriais para determinar propriedades dos materiais;
- Estimativas de custos unitários de materiais;
- Identificação de critérios ou padrões para qualidade mínima do rolamento;
- Coleta de dados climáticos ou ambientais;
- Coleta de dados disponíveis sobre variabilidade de construção e manutenção.

Desta forma, entende-se que é necessária a avaliação detalhada das vias em questão para compor o banco de dados e possuir parâmetros para fundamentar a análise do sistema.

Durante sua vida útil, todos os materiais empregados em pavimentação inevitavelmente sofrem algum tipo de deterioração, resultante das demandas do tráfego e das condições climáticas. As diferentes formas de deterioração que se manifestam na superfície do pavimento resultam em defeitos que podem reduzir sua eficácia ou contribuir para a diminuição de sua durabilidade.

O desempenho estrutural de um pavimento está relacionado à sua condição física, ou seja, à ocorrência de trincas, afundamentos, esfarelamento ou outras condições que afetariam adversamente a capacidade de carga da estrutura do pavimento e exigiriam manutenção (AASHTO, 1993), geralmente relacionado à repetição das cargas e deformações (Bernucci et al., 2008). Já a avaliação funcional de um pavimento relaciona-se à apreciação da superfície dos pavimentos e como este estado influencia no conforto ao rolamento (Bernucci et al., 2008).

Por isso, é essencial reconhecer o tipo de patologia, avaliar sua extensão e identificar seu nível de gravidade e determinar as causas dos defeitos, pois isso influencia a escolha das estratégias de intervenção e a definição das atividades de manutenção e reabilitação. Essa etapa pode ser considerada a mais importante no âmbito de um SGP, uma vez que todas as demais etapas dependem deste e da qualidade e precisão das informações (Matos, 2004).

Para identificação e avaliação das patologias, existem os manuais americanos da Strategic Highway Research Program (1993) e Federal Highway Administration (FHWA, 2014), que caracterizam e classificam as patologias normalmente incidentes em pavimentos. No Brasil, existe a norma DNIT-005/2003-TER: Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos – Terminologia, que identifica e padroniza a terminologia para os defeitos e a DNIT-006/2003-PRO: Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos – Procedimento, que normatiza a avaliação objetiva, descreve a aparelhagem e os cálculos para composição do Índice de Gravidade Global (IGG), utilizado para caracterizar a degradação do pavimento, conforme abordado posteriormente neste capítulo.

2.3.1 Avaliação Estrutural

A avaliação estrutural é fundamental para determinar a capacidade de carga de um pavimento desde a sua construção até ao longo de sua vida útil, permitindo identificar o momento ideal para intervenções de restauração e a técnica apropriada a ser utilizada, uma vez que cada pavimento possui uma deflexão admissível, estabelecida por meio de um dimensionamento mecânico que utiliza parâmetros como o módulo de resiliência dos materiais de cada camada e do subleito, além dos critérios de fadiga e deformação permanente (Bernucci et al., 2008).

No tocante a estas características estruturais, suas determinações são realizadas por meio de ensaios deflectométricos. A deflexão do pavimento é obtida, geralmente, pelo aparelho Falling Weight Deflectometer (FWD), que é um dispositivo de teste não destrutivo amplamente aceito para a avaliação estrutural de pavimentos com base em suas respostas de deflexão (Rada et al., 2016), ou Ensaio de Viga Benkelman.

O Falling Weight Deflectometer (FWD) é uma ferramenta eficaz para avaliar as propriedades estruturais de pavimentos de estradas, pistas de pouso e aeroportos (Visser, 1978; White, 2018). Ele mede a resposta do pavimento a cargas dinâmicas similares às cargas de rodas em movimento, fornecendo dados sobre deflexão e características da bacia de deflexão (Alavi, S; LeCates, J. F.; Tavares, M. P, 2008). Os dados do FWD são usados para calcular o módulo de elasticidade equivalente do pavimento e determinar os parâmetros da bacia de deflexão, essenciais para a avaliação estrutural e o cálculo de reparos do pavimento (Aavik e Talvik, 2008).

Embora o FWD ofereça medições rápidas e econômicas, alguns profissionais questionam a confiabilidade dos módulos calculados e das classificações de resistência resultantes do pavimento (White, 2018). Ainda assim, sua importância é refletida no uso recorrente entre as agências estaduais de rodovias, com até 24.100 km de faixa testados anualmente). Os dados do FWD suportam várias aplicações na engenharia de pavimentos, incluindo pesquisa, design, reabilitação e práticas de gestão (Alavi, S; LeCates, J. F.; Tavares, M. P, 2008).

A viga de Benkelman é uma ferramenta usada para avaliar a resistência e o desempenho de pavimentos flexíveis, medindo as deflexões do pavimento. Ela tem sido empregada para avaliar as condições das estradas e estabelecer critérios para valores aceitáveis de deflexão (Brownlow, 1972). As medições com a viga de Benkelman têm sido usadas juntamente com outros métodos de teste, como o FWD, para estudar fatores que afetam o desempenho do pavimento, incluindo a velocidade de carga e a deformação do pavimento (Romero et al., 1994). A ferramenta tem sido aplicada tanto em pavimentos flexíveis quanto semi-rígidos, contribuindo para o desenvolvimento de técnicas de projeto, construção e avaliação de desempenho de pavimentos (Brownlow, 1972; Romero et al., 1994).

Segundo Bernucci et al. (2008), embora ambos os tipos de deflectômetros sejam projetados para medir deslocamentos elásticos, as deflexões obtidas não são iguais devido às diferenças de concepção entre eles, e não há uma correlação simples e universal entre as medições realizadas com o FWD e a viga de Benkelman. É possível encontrar certa correlação entre esses valores para cada tipo específico de pavimento, mas essa correlação não pode ser generalizada.

Além disso, a publicação IPR-745 do DNIT (2011) cita o uso da viga Benkelman para obtenção do “carregamento quase-estático” e o FWD para avaliar o “carregamento por impacto”, tornando os ensaios complementares.

O FWD apresenta algumas vantagens em relação à viga de Benkelman convencional, incluindo maior acurácia nas medições, capacidade de aplicar vários níveis de carga, maior produtividade com mais pontos levantados por dia, ensaios não influenciados pelo operador e registro automático de temperatura e distâncias dos pontos de ensaio. No entanto, o FWD também apresenta desvantagens, como o alto custo do equipamento, a necessidade de calibrações mais sofisticadas e diferenças de resultados entre diferentes marcas (Bernucci et al., 2008).

2.3.2 Avaliação Funcional

Segundo Bernucci et al. (2008), o pavimento é uma estrutura construída para garantir a trafegabilidade em quaisquer circunstâncias e, assim, promover conforto ao rolamento e segurança para os usuários da via. Desta forma, entende-se que a qualidade da superfície impacta diretamente o propósito da estrutura.

Do ponto de vista do usuário, estes têm seus gastos elevados por meio de despesas operacionais aumentadas devido ao impacto das imperfeições do pavimento no veículo, como aquelas relacionadas à manutenção mecânica, consumo de combustível, pneus e tempo de viagem (Molz et al., 2020), uma vez que, como explica Bernucci et al. (2008), o mau estado da superfície do pavimento, caracterizado defeitos ou irregularidades, são rapidamente percebidos e comprometem o conforto da viagem, fazendo com que os veículos sofram mais intensamente as consequências dessas patologias. Portanto, entende-se que atender qualidade do revestimento significa economia nos custos de transporte dos usuários (Bernucci et al., 2008) e não apenas das agências gestoras.

No que diz respeito à quantificação dos defeitos de superfície, tem-se o Levantamento Visual Contínuo (LVC) como um procedimento bem aceito para fins gerenciais e de projeto. Tal levantamento pode seguir as diretrizes estabelecidas pela norma DNIT 006/2003 PRO ou ser automatizado através do processo de varredura ao longo do segmento unitário. Este registro das condições de superfície deve incluir os tipos de patologias da pista de rolamento conforme a norma DNIT 006/2003 PRO. (DNIT, 2011).

Ainda, para análise da condição funcional de pavimentos flexíveis, segundo DNIT (2011), dois parâmetros de avaliação são considerados particularmente consistentes. O primeiro é o Índice de Irregularidade Internacional (IRI), que é determinado através de medições de irregularidade do pavimento. O segundo parâmetro é o Valor da Serventia Atual (VSA), uma medida subjetiva baseada em notas atribuídas por técnicos avaliadores.

Além desses, há outros parâmetros usuais para as análises do SGP, como o Índice de Gravidade Global (IGG), Índice de Condição do Pavimento (ICP), entre outros.

Para a determinação dos índices utiliza-se, comumente o LVC – “Levantamento Visual Contínuo

da Superfície de Pavimento Flexível e Semi-rígido”, nos trechos onde ocorre este tipo de revestimento, considerando as ocorrências do pavimento descritas na norma DNIT 006/2003 PRO: Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis.

Bernucci et al. (2008) afirma que a manutenção de um pavimento asfáltico não deve ser realizada apenas como correção funcional ou estrutural quando próximo ao limite de aceitabilidade dos índices. Os autores recomendam um plano estratégico de intervenções periódicas, incluindo manutenção preventiva, para retardar a deterioração das condições da superfície.

Para isso, é importante a adoção dos índices em um sistema de gerenciamento de pavimentos integrado, para monitorar o comportamento destes pavimentos e gerar planos de manutenção, reabilitação e reconstrução de curto, médio e longo prazo conforme a análise de toda a rede.

2.3.2.1 Índice de Irregularidade Internacional (IRI)

Um dado frequentemente utilizado nas análises é a irregularidade longitudinal (IRI - International Roughness Index) que se refere à soma dos desvios da superfície de um pavimento em relação a um plano de referência ideal do projeto geométrico (DNIT, 2011).

Segundo Bernucci et al. (2008), a detecção da irregularidade pode ser realizada através de medidas topográficas ou por meio de equipamentos que medem o perfil longitudinal, podendo ser com ou sem contato direto com a superfície. Ou ainda, a avaliação pode ser feita por meio de equipamentos do tipo "resposta", que oferecem um somatório dos desvios do eixo de um veículo em relação à sua suspensão, permitindo uma avaliação indireta da irregularidade (Bernucci et al., 2008).

De acordo com a publicação do DNIT (2011), a irregularidade longitudinal pode ser medida pelos parâmetros IRI em m/km, ou QI (Quociente de Irregularidade), quantificando os desvios da superfície do pavimento em relação ao projetado. Essa condição impacta a dinâmica dos veículos, o efeito dinâmico das cargas, a qualidade do rolamento e a drenagem superficial da via, segundo a DNER-PRO 182/94: Medição da irregularidade de superfície de pavimento com sistemas integradores IPR/USP e Maysmeter.

Este índice pode ser influenciado por diversos componentes como problemas construtivos, trincamento da estrutura, manutenções previamente realizadas, deformações e desgaste da via (Albuquerque, 2007).

Segundo o DNIT na publicação IPR-745, medidas de parâmetros relacionadas à irregularidade do pavimento podem ser realizadas por diferentes tipos de equipamentos, que possuem os sistemas medidores divididos nos quatro seguintes grupos:

- Sistemas de medidas diretas de perfil – Método de nível e mira;
- Sistemas de medida indireta do perfil – Perfilômetro de superfície GMR, Perfilômetro AASHTO, Perfilômetro CHLOE, Merlin do TRRL;

- Sistemas do tipo resposta – Rugosímetro BPR, Bump Integrator, Maysmeter, Integrador IPR/USP;
- Sistemas de medida com sonda sem contato – Perfilômetro Laser, Perfilômetro Acústico da Universidade FELT.

No contexto brasileiro, a regularização longitudinal dos equipamentos, métodos de medição e calibração é padronizada pelo Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER), conforme estabelecido nas seguintes normas rodoviárias:

DNER-ES 173/86: Método de nível e mira para calibração de sistemas medidores de irregularidade tipo-resposta;

DNER-PRO 164/94: Calibração e controle de sistemas medidores de irregularidade de superfície de pavimento (sistemas integradores IPR/USP e Maysmeter);

DNER-PRO 182/94: Medição da irregularidade de superfície de pavimentos com sistemas integradores IPR/USP e maysmeter;

DNER-PRO 159/85: Projeto de restauração de pavimentos flexíveis e semi-rígidos.

O IRI é um índice estático, expresso em m/km, que quantifica os desvios da superfície do pavimento em relação ao previsto em projeto. Contudo, no Brasil, a norma fixa o quociente de irregularidade (QI) como índice de irregularidade oficial, expresso em contagens/km. Desta forma, faz-se necessário utilizar modelos de correlação como os de Paterson (1986) e Paterson (1987), descritos nas Equações 1 e 2:

$$\text{IRI} = (\text{QI} + 10)/14 \quad (1)$$

$$\text{IRI} = \text{QI}/13 \quad (2)$$

,onde QI é o coeficiente de irregularidade.

De acordo com a análise de Barella et al. (2005), a primeira equação apresenta melhor correlação para QI medido por equipamento tipo resposta com IRI medidos por perfilômetro a laser para valores abaixo de 2,26 m/km, enquanto a segunda equação relaciona mais adequadamente valores de IRI superiores a 2,26 m/km. Segundo Albuquerque (2007), a malha rodoviária brasileira tende a apresentar valores superiores a 2,26 m/km, tornando a segunda equação mais favorável.

A publicação IPR-710: Manual de Conservação Rodoviária (2005) do DNIT apresenta as correspondências entre as faixas de valores de IRI, ou QI, e a conceituação da avaliação subjetiva, transcrita na Tabela 2:

Tabela 2: Avaliação correspondente a faixa de valores de IRI. Fonte: (DNIT, 2005).

ICPF	Irregularidade		IGG	TR	Conceito
	QI (cont./km)	IRI (m/km)			
5-4	13-25	1-1,9	0 – 20	0 - 2	Excelente
4-3	25-35	1,9 - 2,7	20 – 40	2 - 5	Bom
3-2	35-45	2,7 - 3,5	40 – 80	5 - 10	Regular

ICPF	Irregularidade		IGG	TR	Conceito
	QI (cont./km)	IRI (m/km)			
2-1	45-60	3,5 - 4,6	80 – 150	10 - 25	Ruim
1-0	> 60	> 4,6	> 150	> 25	Péssimo

,onde ICPF é o Índice de Condição de Pavimentos Flexíveis, QI é o Quociente de irregularidade, IRI é o Índice Internacional de Irregularidade, IGG é o Índice de Gravidade Global, TR é o Trincamento (% de FC-2 + FC-3).

Contudo, a realização desta ampla gama de medições e ensaios específicos pode se tornar impraticável em uma aplicação urbana, haja vista a vasta malha existente, exigindo um custo e um tempo muito elevado. Além disso, a aplicação de coeficientes como IRI em vias urbanas é inviável devido a divergências com parâmetros, por exemplo, que são dimensionados para rodovias, o que prejudica a análise quando há outra aplicação (La torre et al., 2002).

Assim, entende-se que a avaliação mais crítica, mas ainda viável para a aplicação urbana, é a avaliação de patologias. Tais defeitos podem ser avaliados de forma subjetiva ou objetiva, normalmente através da aplicação de notas por avaliadores, julgando a situação do pavimento. Essas notas são, normalmente, utilizadas para compor índices de serventia, como o VSA (Bernucci *et al.*, 2008) e podem ser utilizados na árvore de decisão do SGP. Já a avaliação objetiva é baseada nas principais patologias e sua severidade e extensão. Através desta análise tem-se índices objetivos como o Índice de Condição de Pavimento (ICP) e possibilita atrelar atividades de M&R ao pavimento (Zanchetta, 2017).

2.3.2.2 Valor de Serventia Atual (VSA)

O Valor da Serventia Atual (VSA), ou Present Serviceability Rating (PSR), é uma avaliação subjetiva numérica que varia em uma escala de 0 a 5. Essa avaliação é determinada pela média das notas fornecidas por avaliadores com relação ao conforto ao rolamento de um veículo em um trecho específico em um determinado momento da vida útil do pavimento. Essa escala é adotada no Brasil de acordo com o Procedimento DNIT 009/2003-PRO e avalia o padrão de conforto ao rolamento como excelente, bom, regular, ruim ou péssimo conforme a Tabela 3.

Tabela 3: Níveis de serventia. Fonte: (DNIT, 2003c)

Padrão de Conforto ao Rolamento	Avaliação
Excelente	4 a 5
Bom	3 a 4
Regular	2 a 3
Ruim	1 a 2
Péssimo	0 a 1

Assim, entende-se o VSA como uma avaliação subjetiva das condições de superfície de um pavimento, realizada por um conjunto de avaliadores que avaliam seção em análise, considerando suavidade e conforto e, assim, registram suas opiniões sobre a capacidade do pavimento de atender às demandas do tráfego que sobre ele transita no momento da avaliação (DNIT, 2003c).

O VSA do pavimento diminui ao longo do tempo devido ao tráfego e às condições climáticas, principalmente. Ao decorrer da vida útil, o pavimento passa a apresentar um nível de conforto inaceitável. Esse limite varia de acordo com a categoria da rodovia e o volume de tráfego e passou a ser utilizado após a publicação do guia de dimensionamento de pavimentos norte-americano da AASHTO (1993).

De acordo com esse método, define os limites de aceitabilidade como Nota 2,5 para vias de alto volume de tráfego e 2,0 para as demais (DNIT, 2011). Quando o Valor da Serventia Atual atingir esses patamares, recomenda-se uma intervenção de manutenção corretiva para restaurar o índice a um nível superior.

Durante os períodos em que o pavimento mantém o VSA acima desses valores, é recomendada a realização de manutenção preventiva periódica para prolongar a durabilidade do pavimento e manter as condições de rolamento aceitáveis. No entanto, a falta de manutenção adequada pode levar o pavimento a atingir um limite crítico de trafegabilidade, que é geralmente próximo a um Valor de Serventia Atual de 1,0, ponto no qual torna-se necessária a reconstrução do pavimento (DNIT, 2011).

Posteriormente, o VSA pode ser combinado com avaliações objetivas, como a irregularidade longitudinal e outras medidas físicas de defeitos como trincas e remendos, para melhor objetividade e qualificar as informações (Bertollo, 1997).

2.3.2.3 Índice de Gravidade Global (IGG)

O Índice de Gravidade Global (IGG) é um índice combinado normatizado pelo DNIT na normativa DNIT 006/2003-PRO: Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos - Procedimento.

Nas estradas de pista simples, as estações são marcadas a cada 20 metros, alternando entre faixas, o que significa que em cada faixa são marcadas a cada 40 metros. Já nas estradas de

Tabela 4: Fatores de ponderação para cálculo do IGG. Fonte: (DNIT, 2003b).

Ocorrência Tipo	Codificação de ocorrências de acordo com a Norma DNIT 005/2002-TER “Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos – Terminologia” (ver item 6.4 e Anexo D)	Fator de Ponderação fp
1	Fissuras e Trincas Isoladas (FI, TTC, TTL, TLC, TLL e TRR)	0,2
2	FC-2 (J e TB)	0,5
3	FC-3 (JE e TBE) NOTA: Para efeito de ponderação quando em uma mesma estação forem constatadas ocorrências tipos 1, 2 e 3, só considerar as do tipo 3 para o cálculo da frequência relativa em percentagem (fr) e Índice de Gravidade Individual (IGI); do mesmo modo, quando forem verificadas ocorrências tipos 1 e 2 em uma mesma estação, só considerar as do tipo 2.	0,8
4	ALP, ATP e ALC, ATC	0,9
5	O, P, E	1,0
6	EX	0,5
7	D	0,3
8	R	0,6

Para tal, utiliza-se a frequência relativa, obtida através da Equação 4.

$$fr = (fa \times 100)/n \quad (4)$$

, onde fr é a frequência relativa, fa é a frequência absoluta, n é o número de estações inventariadas.

Por fim, a obtenção do Índice de Gravidade Global (IGG) é realizada a partir da seguinte Equação 5, proposta pelo mesmo procedimento DNIT 006/2003-PRO (Equação 5), resultando em uma pontuação de 0 (ótimo) a 160 (péssimo), que reflete o conceito de degradação do pavimento, demonstrada na Tabela 5.

$$IGG = \sum IGI \quad (5)$$

, onde IGG é o Índice de Gravidade Global, IGI é o Índice de Gravidade Individual.

Tabela 5: Conceito de degradação do pavimento em função do IGG. Fonte: (DNIT, 2003b)

Conceitos	Limites
Ótimo	$0 < IGG \leq 20$
Bom	$20 < IGG \leq 40$
Regular	$40 < IGG \leq 80$
Ruim	$80 < IGG \leq 160$
Péssimo	$IGG > 160$

A planilha de cálculo do Índice de Gravidade Global fornecida pelo procedimento DNIT 006/2003, demonstrada na Figura 5.

RODOVIA: PLANILHA DE CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL (IGG)						Data:	Folha:
TRECHO:						Estaca ou Quilômetro	Estaca ou Quilômetro
SUB-TRECHO:						REVESTIMENTO TIPO:	
Item	Natureza do defeito	Frequência absoluta	Frequência absoluta considerada	Frequência relativa	Fator de ponderação	Índice de gravidade individual	Observações
1	Trincas isoladas FI, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR				0,2		
2	(FC – 2) J, TB				0,5		
3	(FC – 3) JE, TBE				0,8		
4	ALP, ATP, ALC, ATC		X		0,9		
5	O, P, E		X		1,0		
6	EX		X		0,5		
7	D		X		0,3		
8	R		X		0,6		
9	Média aritmética dos valores médios das flechas medidas em mm nas TRI e TRE	TRE =	TRI =	F =	1 A () 1 B ()		
10	Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas	TREv =	TRIV =	FV =	2 A () 2 B ()		
Nº TOTAL DE ESTAÇÕES		n =	∑ IND. GRAVID. IND. = IGG				Conceito
1A) $IGI = \bar{F} \times 4/3$ quando $\bar{F} \leq 30$						Operador	
2A) $IGI = \bar{FV}$ quando $\bar{FV} \leq 50$						Cálculo	
1B) $IGI = 40$ quando $\bar{F} > 30$						Visto	
2B) $IGI = 50$ quando $\bar{FV} > 50$							

Planilha de Cálculo do IGG

Figura 5: Planilha de cálculo de índice de gravidade global (IGG). Fonte: (DNIT, 2003b)

Contudo, segundo as observações realizadas por Bertollo (1997), o IGG possui limitações pois considera apenas o número de ocorrências e não a extensão, além de não considerar a severidade, apenas o tipo de defeito, com exceção das trincas. Entende-se que a não observação de tais dados pode prejudicar a análise, principalmente ao considerar situações urbanas, onde a severidade de um defeito pode impactar substancialmente a urgência de manutenção.

Além disso, Zanchetta (2017) salienta que, em seus estudos, foi observado que a não avaliação de toda a seção, mas uma amostra, pode levar a conclusões equivocadas da condição de um segmento, pois a falta de observação de um defeito na amostra não exclui a presença deste defeito no segmento. O autor ainda conclui que a aplicação pode ser menos prejudicada em contextos rodoviários, nos quais os trechos são mais homogêneos. Porém, em uma aplicação urbana, avaliar apenas amostras apresenta desvantagens.

Desta forma, reforça-se o entendimento de que uma melhor abordagem para avaliação de trechos urbanos pode ser a avaliação detalhada dos defeitos, severidade e extensão em todo um segmento ou seguir determinado critério para definir uma seção que representará da melhor maneira possível a qualidade da via, para garantir precisão na priorização das vias e, posteriormente, na sugestão de soluções.

2.3.2.4 Índice de Condição do Pavimento (ICP)

Outro índice presente nesta área, como já citado, é o Índice de Condição do Pavimento (ICP) ou

Pavement Condition Rating (PCR), desenvolvido pelo Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos (USACE) em 1976. O ICP foi concebido para fornecer um índice da integridade estrutural e da condição operacional da superfície do pavimento, fundamentada nos resultados de uma inspeção visual na qual são identificados tipo de defeito, gravidade e quantidade (Shahin, 1979). A avaliação resulta em notas que caracterizam a condição do pavimento.

Tal pontuação inicia-se em 100 (condição perfeita) ao pavimento e, em seguida, valores específicos são deduzidos da pontuação com base no tipo e na gravidade do problema presente no pavimento (Bryce, J.; Boadi, R.; Groeger, J., 2019). O Valor Deduzido (VD), a ser subtraído da pontuação máxima, é calculado a partir da severidade do defeito, a extensão no trecho e a um fator de equivalência.

O documento Pavement Condition Rating System (ODOT, 2006), define a Equação 6 para o cálculo do ICP:

$$ICP = 100 - \sum_{i=1}^n VD \quad (6)$$

, onde n é o número de defeitos observados, VD = (Peso do defeito) * (Fator de severidade) * (Fator de extensão).

A escala e a classificação do ICP de acordo com este método é a descrita na Figura 6.

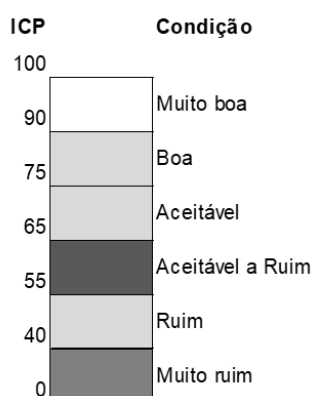


Figura 6: Classificação conforme ICP. Fonte: adaptado de (ODOT, 2006).

O documento apresenta formulários para preenchimento para cada tipo de pavimento, como pavimentos flexíveis, compósitos, de paralelepípedo etc. Nos formulários estão descritos os defeitos, peso, critérios de severidade e extensão, bem como seus fatores para considerar no cálculo. Para o trabalho em questão, foi desenvolvida uma adaptação do formulário de modo a compatibilizar com a realidade do trabalho em relação aos defeitos presentes, adequando as tabelas de pavimentos flexíveis e de revestimento asfáltico local.

A Tabela 6 representa a matriz utilizada como base para esta pesquisa, traduzida e adaptada de ODOT (2006) para pavimentos flexíveis, enquanto a Tabela 7 demonstra os fatores de ponderação para o cálculo do ICP segundo esta abordagem.

Tabela 6: Considerações para cálculo do ICP. Fonte: adaptado de (ODOT, 2006).

TIPO DE DETERIORAÇÃO	Peso	GRAVIDADE*			EXTENSÃO**			ESTADO***
		B	M	A	O	F	E	
Desagregação	10	Ligeira perda de areia	Textura aberta	Áspero ou esburacado	<20%	20-50%	>50%	
Exsudação	5	Não avaliado	Agregado e betume visíveis	Superfície preta	<10%	10-30%	>30%	
Remendos	5	<0,09 m ²	<0,84 m ²	>0,84 m ²	<6/km	6-12/km	>12/km	
Desintegração da Superfície / Descolamento / Buracos	5	profundidade <25 mm, área <0,84 m ²	<25 mm, >0,84 m ² ; >25 mm, <0,84 m ²	>25 mm e >0,84 m ²	<3/km	3-6/km	>6/km	
Deficiência na selagem de trincas	5	Não considerado			<50%	>50%	Sem selante	
Afundamento	10	3-10 mm	10-19 mm	>19 mm	<20%	20-50%	>50%	U
Aterros	0	Efeito notável na viagem	Algum desconforto	Má viagem	<1,2/km	1,2-2,5/km	>2,5/km	
Buracos	10	profundidade <25 mm, área <0,84 m ²	<25 mm, >0,84 m ² ; >25 mm, <0,84 m ²	>25 mm e >0,84 m ²	<3/km	3-6/km	>6/km	U
Trincas nas trilhas das rodas	15	Trincas simples/múltiplas <6 mm	Trincas múltiplas >6 mm	Trincamento em "couro de jacaré" >6 mm com fragmentação	<20%	20-50%	>50%	U
Trincas em bloco e transversais	10	>1,8 m x 1,8 m ou trincas transversais	1,8 m x 1,8 m a 0,9 m x 0,9 m	<0,9 m x 0,9 m	<20%	20-50%	>50%	
Trincas longitudinais	5	Simplex, <6 mm, sem fragmentação	Simplex/múltiplas 6-25 mm, alguma fragmentação	Múltiplas, >25 mm, com fragmentação	<15 m por 30 m	15-45 m por 30 m	>45 m por 30 m	U
Trincas nas bordas	10	Abertas, <6 mm	>6 mm, alguma fragmentação	>6 mm, fragmentação moderada	<20%	20-50%	>50%	U
Trincas térmicas	10	<6 mm	6-25 mm	>25 mm	CS > 60 m	CS 22,5-60 m	CS <22,5 m	

*B = BAIXA
M = MÉDIA
A = ALTA

**O = OCASIONAL
F = FREQUENTE
E = EXTENSIVA

***Defeitos incluídos no cálculo de deduções estruturais

Tabela 7: Fatores de ponderação para cálculo do ICP. Fonte: adaptado de (ODOT, 2006).

TIPO DE DETERIORAÇÃO	Peso	PESO DE GRAVIDADE*			PESO DE EXTENSÃO			PONTOS DE DEDUÇÃO*	ESTRUTURAL
		B	M	A	O	F	E		
Desagregação	10	0,3	0,6	1	0,5	0,8	1		
Exsudação	5	0,8	0,8	1	0,6	0,9	1		
Remendos	5	0,3	0,6	1	0,6	0,8	1		
Desintegração da Superfície / Descolamento / Buracos	5	0,4	0,7	1	0,5	0,8	1		
Deficiência na selagem de trincas	5	1	1	1	0,5	0,8	1		
Afundamento	10	0,3	0,7	1	0,6	0,8	1	T	
Aterros	0	0	0	0	0	0	0		
Buracos	10	0,4	0,8	1	0,5	0,7	1	T	
Trincas nas trilhas das rodas	15	0,4	0,7	1	0,5	0,7	1	T	
Trincas em bloco e transversais	10	0,4	0,7	1	0,5	0,7	1		
Trincas longitudinais	5	0,4	0,7	1	0,5	0,7	1	T	
Trincas nas bordas	10	0,4	0,7	1	0,5	0,7	1	T	
Trincas térmicas	10	0,4	0,7	1	0,5	0,7	1		

*B = BAIXA
M = MÉDIA
A = ALTA

**O = OCASIONAL
F = FREQUENTE
E = EXTENSIVA

Dedução Total =
Soma de dedução estrutural =
100 - Dedução Total = PCR =

2.3.3 Priorização

As crescentes demandas exigem uma atenção mais intensa por parte dos gestores dos órgãos em relação a projetos rodoviários economicamente viáveis e programas de manutenção mais apropriados que possam determinar uma maneira de definir as prioridades, analisar os recursos necessários, o impacto das intervenções e, também, ponderar os tipos de intervenções possíveis e seus resultados (DNIT, 2011).

Assim, tal análise para definir as prioridades de intervenção para aplicação ótima dos recursos disponíveis torna-se o objetivo da implantação de um Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP) (DNIT, 2011).

O DNER já empregou uma variedade de critérios para determinar as necessidades e prioridades de restauração. Visconti (2000) cita os seguintes critérios:

- Critérios subjetivos: modelo simples fundamentado em escolha subjetiva, mas propensos a inconsistências e vieses.
- Critérios centrados em indicadores físicos: também de implementação simples, utilizam parâmetros como a serventia, a deflexão ou a deterioração do pavimento.
- Critérios que se baseiam em indicadores físicos, ponderados pelo volume de tráfego - relativamente simples, apresenta uma solução próxima da ótima.
- Critérios apoiados em modelos de análise de investimentos - aplicação mais complexa, possibilitam a determinação da solução ótima do ponto de vista econômico para cada trecho rodoviário.
- Critérios que se apoiam em modelos de análise de investimentos, associados a modelos de restrição orçamentária - complementam o anterior, ajustando a programação ótima aos recursos disponíveis.

Shoji (2000) define três modelos para definir a prioridade, sendo o primeiro deles a fixação de um nível mínimo para programação anual, isto é, realizar o reparo quando a condição do pavimento atinge um valor mínimo. O objetivo é selecionar reparos urgentes e decidir quais podem ser adiados, utilizando critérios como defeitos, volume de tráfego, custo inicial, valor presente líquido, ou taxa custo/benefício.

Outra forma seria a fixação de um nível mínimo para planejamento plurianual, focando em prever o momento e tipo de reparos futuros e prevendo quando cada seção atingirá seu nível mínimo de aceitação. Além dessas formas, pode ser realizada a programação plurianual com variação do nível mínimo, o qual define a variação de prioridades conforme um projeto é adiado, uma vez que ele pode não ser a prioridade maior no ano seguinte, pois deve ser comparado com outros projetos daquele ano.

Após a coleta de dados e decisão de priorização, deverão ser ponderadas as técnicas de manutenção e reabilitação (M&R) possíveis para visar a aplicação da solução mais eficiente possível.

2.3.4 Definição das estratégias de manutenção

Em geral, as técnicas de manutenção e reabilitação (M&R) são definidas com base no estudo do estado do pavimento e no estudo das técnicas de M&R. Cada material e processo executivo visa solucionar ou amenizar algum problema. Entende-se, portanto, que o SGP deve conter relações entre defeitos do pavimento e terapias tecnicamente viáveis de execução por parte do órgão gestor.

Normalmente, tal análise é realizada por matrizes ou árvores de decisão, adaptadas para a realidade de cada prefeitura (ou órgão gestor). Como exemplo, tem-se uma matriz de células (Figura 7) adotadas pelo Sistema de Gerenciamento de Pavimentos do DNER (Visconti, 2000).

TIPO DE REVESTIMENTO	TMD	IRREGULARIDADE (IRI) & DEFLEXÃO (D)		IRI < 2,5		2,5 < IRI < 4		4 < IRI < 5,5		IRI . 5,5	
		D < 0,4 A	D > 0,4 B	D < 0,4 C	D > 0,4 D	D < 0,4 E	D > 0,4 F	D < 0,4 G	D > 0,4 H		
CONCRETO ASFÁLTICO C	1	< 1.000		1							
	2	1.000 – 2.000									
	3	2.000 – 3.000					C3D				
	4	3.000 – 4.000									
	5	4.000 – 5.000									
	6	> 5.000									
TRATAMENTO SUPERFICIAL T	1	< 1.000									
	2	1.000 – 2.000									
	3	> 2.000									72

Figura 7: Matriz de células DNER (1997) (Visconti , 2000).

Segundo DNIT (2011), as variáveis mais importantes de uma rodovia são o tipo de revestimento, a sua irregularidade, o volume médio diário de tráfego e a deflexão da Viga Benkelman. Em Visconte (2000), uma matriz de células é incorporada, propondo limites para diferenciar essas variáveis, com o objetivo de reduzir o número de segmentos a serem considerados a partir de um conjunto de segmentos que possuem dados disponíveis, como apresentado na Figura 7. A Tabela 8 apresenta a sugestão dos padrões de manutenção para a matriz de células indicada pelo mesmo autor.

Tabela 8: Padrões de manutenção DNER (1997). Fonte: Visconti (2000).

Padrões de Manutenção X IRI X TMD								
IRI TMD	IRI ≤ 2,7		2,7 < IRI ≤ 3,5		3,5 < IRI ≤ 5,5		IRI > 5,5	
	D _c ≤ 40	D _c > 40	D _c ≤ 40	D _c > 40	D _c ≤ 40	D _c > 40	D _c ≤ 40	D _c > 40
< 1000	CS ₁	CS ₁	CS ₁	CS ₂	CS ₁	CS ₂	CS ₁	CS ₂
1000 - 2000	CS ₁	CS ₁	CS ₁	CS ₂	CS ₂	CS ₃	CS ₃	CS ₃
2000 - 3000	CS ₁	CS ₂	CS ₁	CS ₂	CS ₂	CS ₃	CS ₃	R
3000 - 4000	CS ₁	CS ₂	CS ₁	CS ₂	CS ₂	CS ₃	CS ₃	R
4000 - 5000	CS ₁	CS ₂	CS ₁	CS ₂	CS ₂	CS ₃	CS ₃	R
> 5000	CS ₁	CS ₂	CS ₁	CS ₂	CS ₂	CS ₃	CS ₃	R

, onde CS1 - Conservação de rotina (lama asfáltica ou pintura de rejuvenescimento com pedrisco): em 10% da área; CS2 - Conservação de rotina + tapa buraco: 6,0 m³/ano < Vm³/ano < 4,0 m³/ano + lama asfáltica ou microrrevestimento em 30% da área; CS3 - Conservação de rotina + tapa buraco: Vm³/ano > 6,0 m³ + reperfilagem com massa fina em 30% da área + revestimento TSD ou revestimento CBUQ; R - Reconstrução: reciclagem da base + reforço + revestimento.

Nota-se que os órgãos rodoviários, neste trabalho exemplificado pelo DNER, e embasado na afirmação de DNIT (2011) sobre a importância do IRI e do valor de deflexão, adotam critérios de irregularidade e deflexão, além de dados como o tráfego médio diário, para determinar o padrão de manutenção.

Entende-se, porém, que a irregularidade e a deflexão possuem maior valia em análises de rodovias e estradas, conforme a matriz de células do DNER é proposta. Isso devido a altas velocidades envolvidas no tráfego e a exigência de promover segurança para os usuários. No âmbito urbano, esses conceitos perdem a magnitude devido a velocidades reduzidas, por exemplo, tornando mais relevante os estudos de outras métricas para a definição das manutenções.

No caso de vias urbanas, os defeitos surgem como principal problemática do ponto de vista do usuário, que deve desviar de afundamentos e buracos, atrapalhando a trafegabilidade da via, diminuindo a velocidade do deslocamento e, possivelmente, causando danos ao veículo. Além disso, os defeitos são parâmetros que indicam os danos na estrutura e a identificação, o controle e a manutenção preventiva são práticas que podem levar ao aumento da vida útil da estrutura e, assim, diminuição de custos com manutenções posteriormente.

Ainda, um defeito localizado na pista pode apresentar diferentes extensões e severidades, o que pode influenciar na urgência que aquele problema precisa ser tratado. Conclui-se, assim, que além de avaliar os defeitos, é essencial considerar o quão grave está a situação do defeito e a ocorrência que se apresenta.

Encontra-se na literatura, também, propostas de análise a nível de rede baseadas em levantamentos de índices e decisão de manutenção a partir deste parâmetro. A Figura 8 ilustra uma proposta feita para cidades de médio porte por Shoji (2000), onde a condição do

pavimento é avaliada visualmente, seja de dentro de um veículo a baixa velocidade ou a pé.

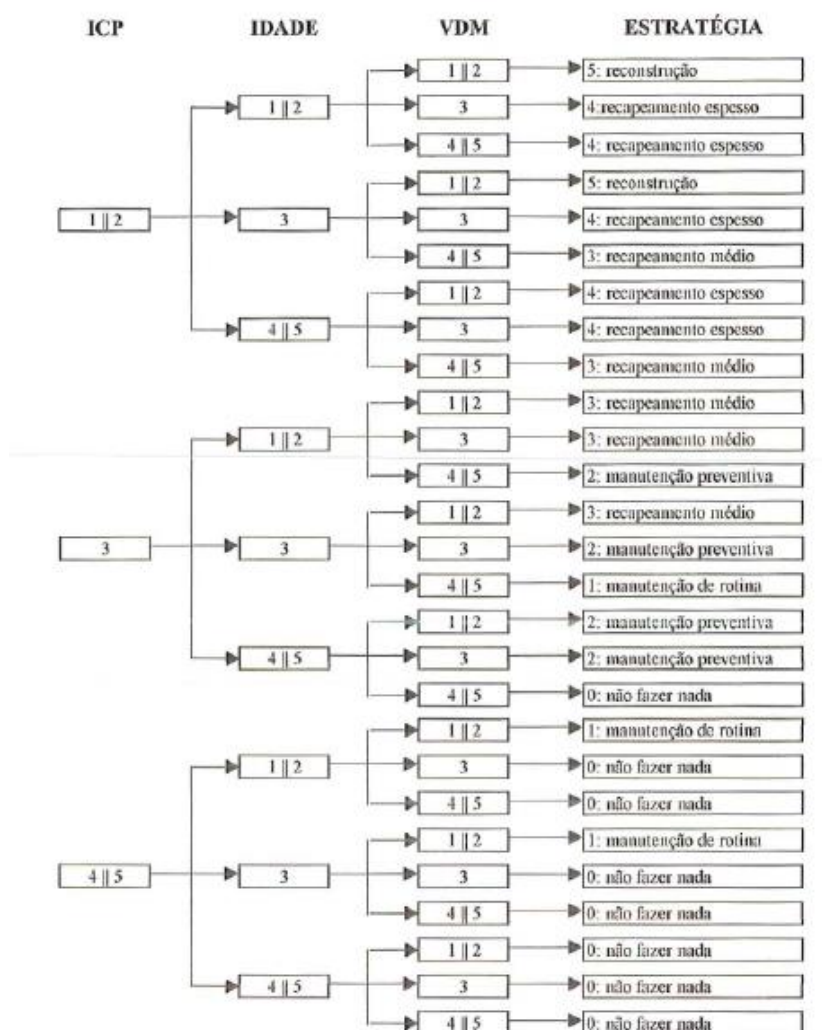


Figura 8: Árvore de decisão para seleção de estratégia de M&R (Shoji, 2000)

Em relação a escolhas de manutenção parametrizadas em índices de condição, esta abordagem apresenta vantagens consideráveis. Conforme a própria autora deste exemplo, o programa se beneficia pelo uso de um inventário simples da rede de pavimentos, o que torna a coleta de informações mais rápida e econômica. O SGP recomenda estratégias de manutenção e reparo (M&R) para cada seção, baseando-se na condição, idade e volume de tráfego em um sistema simplificado. Desta forma, o planejamento de longo prazo é feito a partir da previsão do desempenho, permitindo estimar todos os custos envolvidos (Shoji, 2000).

Entretanto, é reiterada a influência de especificidades dos defeitos no meio urbano, no qual os índices, devidamente adaptados, podem fornecer um parâmetro geral de condição satisfatório para o sistema, mas carece de analisar detalhes que podem ser pertinentes para uma decisão. Além disso, a sugestão de naturezas de manutenção é genérica, devido ao grande número de técnicas de manutenção preventivas que existem e que servem diferentes propósitos, sendo aplicadas em situações distintas, por exemplo.

Desta forma, interpreta-se pertinente a este trabalho estudar os defeitos presentes nas vias, juntamente a suas características para considerar técnicas de manutenção viáveis e que se adaptem para a natureza e situação do defeito presente na via. Este estudo é objeto deste trabalho e foi elaborado na proposta da matriz de decisão do sistema de gerenciamento de pavimentos.

Por fim, segundo a publicação IPR-745 do DNIT (2011), a análise econômica permite que sejam avaliadas as alternativas de M&R e se constitui numa ferramenta de tomada de decisão, em função de critérios pré-estabelecidos. Além disso, a função social de uma rodovia não pode ser desprezada, quando se efetua a análise de relação benefício/custo. Nesta análise, devem ser levados em consideração os fatores políticos, econômicos e sociais, inclusive limitações técnicas ou econômicas do órgão responsável, por exemplo.

2.4 Análise Econômica

Outro fator determinante que possui grande relevância na escolha das alternativas de manutenção é a análise econômica. A avaliação econômica para definir os investimentos na manutenção de infraestruturas rodoviárias tem como objetivo identificar os investimentos que minimizem o custo total de transporte, que é a soma dos custos de operação dos veículos e dos custos de manutenção da rodovia (Visconti, 2000).

À medida que os investimentos em manutenção aumentam, os custos de operação dos veículos diminuem, mas existe um ponto de equilíbrio a partir do qual mais investimentos não compensam a redução nos custos operacionais, resultando no menor custo total de transporte (Visconti, 2000), como demonstrado na Figura 9.

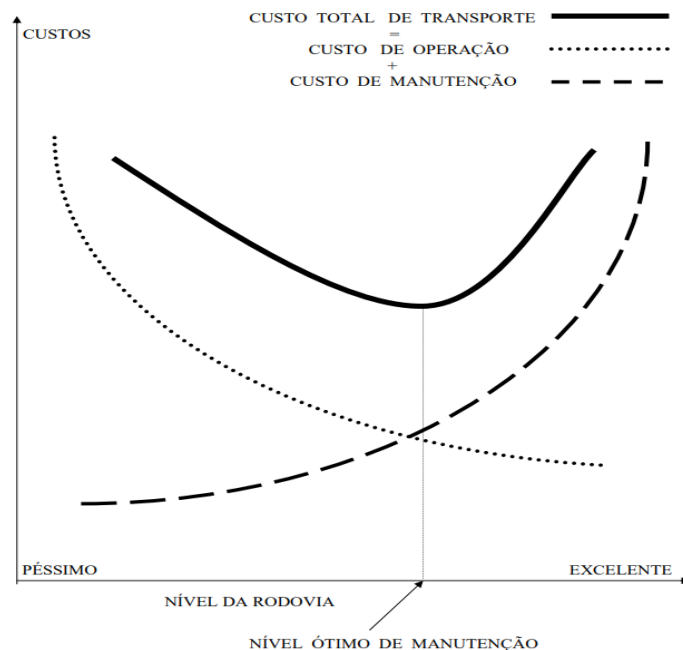


Figura 9: Curva do nível ótimo de manutenção (Visconti, 2000)

A análise de custos é geralmente o critério mais importante na escolha da solução de reabilitação de pavimentos, considerando os custos ao longo da vida útil do pavimento. A análise de custo do ciclo de vida envolve a consideração de custos e tempo, ambos sujeitos a incertezas, como a vida útil efetiva influenciada por fatores ambientais e de tráfego (AASHTO, 1993).

Além dos custos, fatores não monetários também devem ser considerados, como a vida útil, duração da obra, controle de tráfego, confiabilidade do design, viabilidade de construção e capacidade de manutenção. Esses aspectos são especialmente importantes em estradas com grande volume de tráfego, onde atrasos podem gerar grandes inconvenientes. Além disso, quando a análise de custos não aponta uma clara vantagem entre as opções, os fatores não monetários auxiliam na seleção. Esse processo envolve atribuir pesos aos critérios e calcular uma pontuação final para cada alternativa, escolhendo-se aquela com maior pontuação (AASHTO, 1993).

Nesse contexto, softwares como o modelo HDM (*Highway Design and Maintenance Standards Model*) são ferramentas interessantes para comparar alternativas de construção e estratégias de manutenção de rodovias. Ele avalia conjuntamente os custos de construção e manutenção e fornece uma análise comparativa entre os custos de construção, manutenção e operação para determinar a alternativa mais eficiente, utilizando como base de comparação uma estratégia de manutenção mínima, com conservação rotineira. (Visconti, 2000).

O HDM visa identificar a alternativa que oferece o menor custo total para a sociedade, apresentando resultados em termos de taxa interna de retorno e valor presente dos benefícios. Ainda, conta com simulações, por exemplo, da deterioração das rodovias ao longo do tempo, levando em conta fatores como tráfego, condições ambientais e operações de manutenção (Visconti, 2000).

A utilização de tais softwares é mais comum para analisar a viabilidade de novas rodovia ou melhorias em uma rodovia existente. Para isso, utiliza-se o método de análise por projeto, que compara os custos totais de transporte das alternativas de projeto com os custos sem a realização das obras. Quando se trata de múltiplos trechos rodoviários, a alocação ideal de recursos pode ser feita por meio de análises de programas e estratégias (DNIT, 2011).

A análise por programa gera planos de manutenção e melhorias que maximizam o retorno econômico com base nas restrições orçamentárias, utilizando a análise de ciclo de vida para definir alternativas de investimento. A análise para múltiplos anos compara os benefícios de realizar serviços conforme necessário ou no fim do período. Já a análise por estratégia cria programas de manutenção e melhorias que maximizam o retorno econômico, a melhoria da irregularidade (IRI), ou minimizam os custos para atingir um nível de irregularidade específico, considerando os recursos disponíveis (DNIT, 2011).

Contudo, o HDM possui limitações e, principalmente, depende de uma ampla gama de parâmetros, referências e dados históricos de construção e desempenho que, como já citado, não são facilmente acessíveis no caso das cidades brasileiras.

No tocante às técnicas de manutenção e reabilitação existentes, os estudos de Zulu, Kelvin; Singh, Rajendra P.; Shaba, Farai Ada (2020) tiveram como objetivo melhorar a sustentabilidade de pavimentos na Zâmbia, quantificando e comparando o desempenho ambiental e econômico ao longo do ciclo de vida de diversos tratamentos de preservação e manutenção de pavimentos. Os autores avaliaram as técnicas de M&R: selagem com agregado (Chip e Fog Seal); microrrevestimento asfáltico; revestimento fino de Concreto Asfáltico Usinado a Quente (CAUQ); fresagem e reaplicação de asfalto; e reconstrução em profundidade total.

Em termos de relação custo-benefício, os resultados indicaram que os tratamentos mais econômicos foram a selagem com agregado (*chip + fog seal*) e o microrrevestimento asfáltico, enquanto a reconstrução em profundidade e a combinação de fresagem e reaplicação de asfalto com revestimento fino foram os menos econômicos. Os custos do ciclo de vida dos três tratamentos mais econômicos foram 30-40% menores do que a opção de reconstrução em profundidade total. Isso sugere que os órgãos responsáveis devem considerar não apenas os custos iniciais, mas também os benefícios econômicos de longo prazo ao selecionar os tratamentos de preservação.

Além disso, a análise demonstrou que diferentes tratamentos de preservação apresentam níveis variados de consumo de energia incorporada e emissões de carbono ao longo de um período de 30 anos. Tratamentos que não exigem aquecimento de agregados, como a selagem com agregado (*chip e fog seal*), foram identificados como aqueles com menor consumo de energia e emissões de carbono, o que promove práticas sustentáveis na construção e manutenção de rodovias, pois diminui os impactos ambientais associados às diferentes opções de tratamento.

De acordo com Helali (2005), no estado de Nova York foi realizada a comparação de duas maneiras de manter o pavimento por um período de 24 anos. A primeira envolvia manutenções preventivas com preenchimento e selagem de trincas nos anos ao longo da vida útil, além da aplicação de uma camada de reforço em concreto asfáltico de 4 cm nos anos 12 e 24. Já a segunda estratégia não incluía nenhuma manutenção preventiva, prevendo apenas a reconstrução total após 24 anos. O estudo concluiu que a primeira alternativa é 3,65 vezes mais econômica, e que a selagem de trincas pode aumentar a vida útil do pavimento em até 4 anos.

Segundo o Manual de Pavimentação da CEPISA Portuguesa (2010), as intervenções sem aumento da capacidade de carga podem ter como objetivo reparar defeitos pontuais, como buracos ou outras falhas localizadas, além de selar fendas. Também podem incluir ações mais amplas na superfície do pavimento, visando impermeabilizar a superfície, retardar o envelhecimento da camada de desgaste ou melhorar suas características funcionais. Nesse contexto, as técnicas recomendadas incluem tratamentos superficiais, como revestimentos superficiais, microrrevestimentos frio ou *slurry seals*, ou ainda a aplicação de camadas finas de misturas betuminosas a quente.

Entende-se, desta forma, que a identificação de patologias de forma contínua e a escolha dos tratamentos baseados em estender a vida útil do pavimento através de tratamentos superficiais pode trazer diversos benefícios, tanto para o órgão responsável, como para a

população em geral. Além de serem práticas mais sustentáveis e apresentarem diminuição do custo de vida útil e, de acordo com os estudos, tais práticas, ainda, são de aplicação mais fácil, com menos equipamentos e mais ágil, fazendo com que as vias sejam interditadas por menos tempo e, assim, prejudiquem menos o tráfego e os custos indiretos relacionados às manutenções.

Diante disso, entende-se que um procedimento lógico para a seleção do método de reabilitação oferece ao engenheiro uma orientação para organizar e avaliar as informações disponíveis sobre o pavimento, identificar necessidades de informações e avaliações adicionais, desenvolver alternativas de reabilitação viáveis e selecionar a alternativa preferida com base em sólidos princípios de engenharia (AASHTO, 1993).

Assim, entende-se que o elemento mais importante pode ser um procedimento sistemático para a seleção de métodos de reabilitação pode ajudar a afastar a agência da abordagem tradicional de "soluções padronizadas" para reabilitação de pavimentos, direcionando-a para uma política de desenvolvimento de soluções personalizadas, realmente adaptadas às necessidades específicas de cada pavimento (AASHTO, 1993).

Esse procedimento passo a passo pode ajudar o engenheiro a economizar tempo e dinheiro ao selecionar o método de reabilitação que melhor atende às necessidades do pavimento, respeita todas as restrições do projeto e reflete as prioridades da agência quanto ao uso dos recursos disponíveis, o desempenho esperado das obras de reabilitação e as necessidades da rede viária da agência. Se o procedimento for bem documentado e equilibrado com bom julgamento técnico, a seleção de um método de reabilitação para um projeto será justificável tanto para a gestão quanto para o público (AASHTO, 1993).

Em suma, em geral, um SGP consistirá, primeiramente, no levantamento de dados necessários e na criação de um banco de dados para a rede. A partir de então, os dados serão tratados e pode-se gerar índices e estabelecer tipos de avaliações que contribuirão para definições de prioridades. Em sequência, tem-se as avaliações das medidas a serem aplicadas e a análise econômica referente às decisões. O fluxograma geral de um SGP é apresentado na Figura 10.

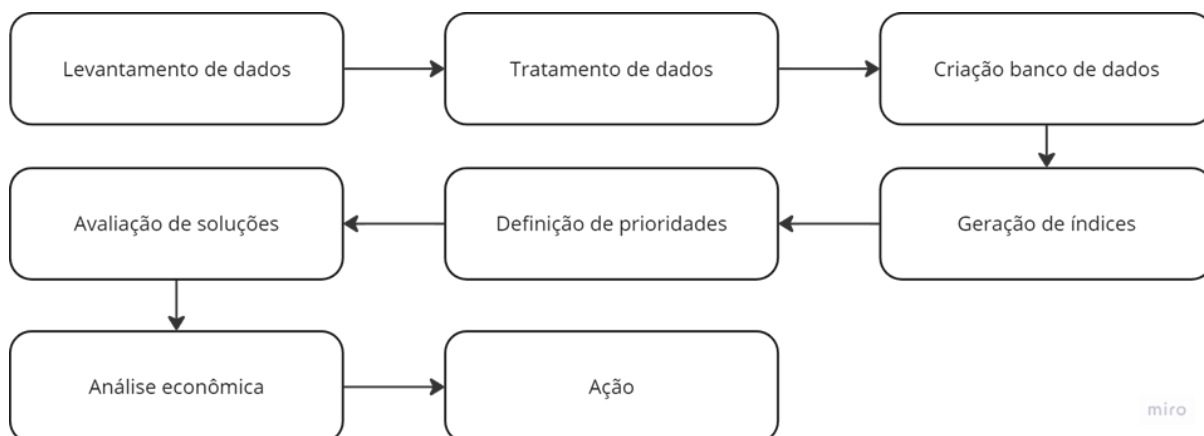


Figura 10: Fluxograma geral de sistema de gerenciamento de pavimentos

3 Defeitos em Pavimentos Asfálticos Flexíveis

A classificação dos defeitos de superfície, no Brasil, é caracterizada segundo a norma DNIT 005/2003 - TER: Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos Terminologia, do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Nela, tem-se os termos empregados em defeitos que ocorrem em pavimentos flexíveis e semirrígidos.

3.1 Fendas

De acordo com a norma citada, as fendas podem ser descritas como qualquer interrupção na superfície do pavimento, resultando em aberturas de diferentes tamanhos ou formas, podendo ser classificadas como fissuras ou trincas (isoladas ou interligadas).

3.1.1 Fissuras

As fissuras não são consideradas graves no tocante a problemas funcionais dos revestimentos nos métodos de avaliação de condição das superfícies (DNIT, 2003a).

A norma define como uma fenda estreita no revestimento, posicionada ao longo, transversal ou diagonalmente em relação ao eixo da via, apenas visível a olho nu a uma distância inferior a 1,50 m.

3.1.2 Trincas

Uma fenda visível no revestimento, claramente perceptível a olho nu, com uma abertura maior do que a de uma fissura, podendo manifestar-se como uma trinca isolada ou trinca interligada (DNIT, 2003a).

Segundo a publicação IPR-720 do DNIT (2006a), trincas são defeitos na superfície do pavimento que enfraquece o revestimento e possibilita a entrada de água, resultando em um enfraquecimento adicional da estrutura. Uma vez iniciada, a trinca tende a se estender e se agravar ao longo do tempo, eventualmente levando à degradação do revestimento.

Na maioria dos casos, as trincas são originadas pelo carregamento excessivo dos veículos. Se não forem tratadas logo após surgirem, podem resultar na deterioração das camadas inferiores do pavimento e até mesmo comprometer o subleito estruturalmente (DNIT, 2006a).

As trincas podem ser ocasionadas por fadiga, consequência dos efeitos cumulativos do carregamento sucessivo sobre o pavimento. Em sua fase final, é caracterizado pela formação de trincas “couro de jacaré”, frequentemente confinadas nas trilhas de roda (DNIT, 2006a).

Os trincamentos por envelhecimento são resultado de o ligante betuminoso tornar-se mais suscetível a rupturas com o tempo devido à perda de seus componentes leves após exposição ao ar. A forma dessas trincas é irregular, com espaçamento maior que 0,5 m, e uma vez

iniciadas, tendem a se propagar por toda a área coberta pelo revestimento (DNIT, 2006a).

Ainda segundo a publicação IPR-720 do DNIT (2006a), as trincas por reflexão surgem quando trincas em camadas inferiores se propagam em direção à superfície, atingindo o revestimento asfáltico. Elas podem assumir diferentes formas e resultam da concentração das tensões ao redor da região ocupada pela trinca original, reduzindo significativamente a vida de fadiga do revestimento.

Outros tipos de trincamento incluem aqueles causados pela variação da temperatura, resultando da retração térmica e rigidez do ligante betuminoso. Podem se apresentar como trincas transversais ou longitudinais, com espaçamentos determinados pelas propriedades dos materiais e regime de temperaturas. Trincas longitudinais próximas à borda do pavimento podem ser causadas por umidade no acostamento, enquanto recalques ou rupturas de aterros podem gerar trincas longas, longitudinais ou parabólicas (DNIT, 2006a).

A norma DNIT 005/2003 classifica as trincas em trincas isoladas e trincas interligadas, conforme explicado a seguir.

3.1.2.1 Trincas Isoladas

As trincas isoladas, em geral, podem apresentar três classificações de fendas, normatizadas por DNIT 005/2003:

- FC-1: são trincas com abertura superior à das fissuras e menores que 1,0mm.
- FC-2: são trincas com abertura superior a 1,0mm e sem erosão nas bordas.
- FC-3: são trincas com abertura superior a 1,0mm e com erosão nas bordas.

A norma, também, classifica as trincas isoladas em três ordens: trincas transversais, longitudinais e de retração.

Uma trinca transversal (Figura 11) é caracterizada por uma rachadura isolada que se estende predominantemente em ângulo reto com o eixo da via. Se sua extensão for de até 100 cm, é chamada de trinca transversal curta; se for maior que 100 cm, é denominada trinca transversal longa (DNIT, 2003a).

As trincas transversais normalmente são resultantes da umidificação da base devido à infiltração de água pelos acostamentos desprotegidos, combinada com o impacto do tráfego (Bernucci et al., 2008)



Figura 11: Trinca isolada transversal (DAER-RS, 1978 Apud. DNIT, 2003a)

Em regiões que possuem um inverno mais rigoroso, as pavimentações frequentemente enfrentam o desafio das trincas de retração térmica (Figura 12). Essas trincas se desenvolvem devido à contração do pavimento causada pelo frio extremo, resultando em fissuras que se propagam pela superfície da estrada (Bernucci et al., 2008).



Figura 12: Trinca de retração térmica (Bernucci et al., 2008)

As trincas longitudinais, por sua vez, são rachaduras isolada que se estende predominantemente em paralelo com o eixo da via. Se sua extensão for de até 100 cm, é chamada de trinca longitudinal curta; se for maior que 100 cm, é denominada trinca longitudinal longa (DNIT, 2003a).

Geralmente, as trincas isoladas curtas longitudinais resultam de deficiências na execução, temperatura de compactação, envelhecimento do ligante asfáltico (Bernucci et al., 2008) ou dosagem inadequada da mistura asfáltica e decorrente do carregamento do tráfego (WSDOT, 2020).

No caso das trincas longitudinais longas, podem ser ocasionadas por falhas executivas ou recalques diferenciais, podem surgir ao longo da trilha de roda ou como resultado de juntas longitudinais mal executadas em diferentes frentes de compactação, ou pelo envelhecimento do ligante asfáltico (Bernuccci et al., 2008) (Figura 13).



Figura 13:Trinca isolada longitudinal (DAER - RS, 1978 Apud. DNIT, 2003a)

Já trincas de retração são rachaduras isoladas que não está relacionada com fenômenos de fadiga, mas sim com fenômenos de retração térmica do material do revestimento ou do material de base rígida ou semi-rígida abaixo do revestimento trincado (DNIT, 2003a).

Segundo Bernuccci et al. (2008), trincas de retração são causadas pela reflexão de fissuras em placas de concreto de cimento Portland ou de trincas pré-existentes.



Figura 14: Trinca de retração (Bernuccci et al., 2008)

Em geral, as trincas isoladas podem ser tratadas com preenchimento de trincas ou selagem de trincas. Trincas transversais normalmente precisam de uma capa selante para evitar a propagação. (WSDOT, 2020).

3.1.2.2 Trincas Interligadas

Tal natureza de trincas é, também, subdividida em classes. De acordo com a norma, elas podem apresentar, ou não, erosão acentuada nas bordas das trincas, classificando-se como FC-3 caso presente e FC-2 caso contrário. As classes definidas pela norma são trincas tipo “couro de jacaré” e trincas tipo “bloco”

Trincas tipo “couro de jacaré” são definidas por um padrão de rachaduras interconectadas sem direções predominantes, semelhante à aparência de couro de jacaré. Essas rachaduras podem ou não apresentar erosão significativa nas bordas. Caso presente erosão, são classificadas como trincas tipo couro de jacaré com erosão (JE) (DNIT, 2003a).

Segundo Bernucci et al. (2008), o trincamento jacaré (Figura 15) pode ser gerado por várias causas, incluindo:

- Ação repetida das cargas do tráfego.
- Efeitos climáticos, como gradientes térmicos.
- Envelhecimento do ligante asfáltico e perda de flexibilidade devido ao tempo de exposição ou altas temperaturas durante a produção.
- Compactação inadequada do revestimento.
- Deficiência no teor de ligante asfáltico na mistura.
- Subdimensionamento da estrutura do pavimento.
- Rigidez excessiva do revestimento em estruturas com alta deflexão.
- Reflexão de trincas de natureza semelhante.
- Recalques diferenciais, entre outros fatores.

Essas trincas podem aparecer nas trilhas de roda, localizadas próximo às bordas ou de forma generalizada ao longo do pavimento.



Figura 15: Trinca interligada tipo jacaré (DAER-RS 1978 Apud. DNIT, 2003a)

Se as não forem extensas, o material da camada de base não estiver visível e não houver sinais de pavimento rebaixado pode-se realizar uma selagem das trincas. No entanto, o método típico de reparo é realizar um remendo de profundidade parcial ou total para melhor tratamento do defeito (WSDOT, 2020).

Um conjunto de rachaduras interconectadas caracterizadas por uma configuração de blocos (Figura 17) com bordas bem definidas, podendo ou não exibir erosão pronunciada nas bordas (DNIT, 2003a).

Tais trincas surgem como resultado da reflexão das fissuras no solo-cimento da base (Bernucci et al., 2008). No caso de o defeito ser acompanhado de erosão junto às bordas, é classificado como trincas de bloco com erosão (TBE) (Figura 16).



Figura 16 (à esquerda): Trincas de bloco com erosão (Bernucci et al., 2008)

Figura 17 (à direita): Trincas de bloco sem erosão (Bernucci et al., 2008)

3.2 Afundamentos

Em suma, o afundamento é uma deformação permanente que se manifesta como uma depressão na superfície do pavimento, com ou sem levantamento, podendo assumir a forma de afundamento plástico ou de consolidação (DNIT, 2003a).

Os afundamentos no pavimento resultam em aumentos na irregularidade longitudinal, afetando negativamente a dinâmica das cargas, a qualidade de rolamento e o custo operacional dos veículos. Além disso, devido ao acúmulo de água nessas áreas, há riscos adicionais à segurança dos usuários da via (DNIT, 2006a).

De acordo com a publicação IPR-720 (2006a), no tocante à carga, os afundamentos podem ser causados por:

- Esforços induzidos nos materiais constituintes dos pavimentos que são suficientes para causar cisalhamento, resultando em deslizamentos no interior do material.
- Cargas concentradas ou pressões excessivas nos pneus podem causar tensões que excedem a resistência ao cisalhamento dos materiais, resultando em afundamentos sob a carga de roda e frequentemente sollevamentos ao redor da área carregada.
- Carregamentos estáticos ou de longa duração podem causar afundamentos em materiais com comportamento viscoso, como as misturas betuminosas e alguns tipos de solo.
- Um grande número de repetições de cargas de pressões reduzidas ao longo do tempo pode causar pequenas deformações que se acumulam, manifestando-se como afundamentos canalizados nas trilhas de roda.

Segundo o WSDOT (2020), o preenchimento de sulcos com mistura asfáltica a quente (HMA) é o método mais amplamente utilizado. No entanto, uma segunda opção de preenchimento de sulcos é o uso de materiais de selagem com camada de brita ou outros tratamentos superficiais que contam com o preenchimento do afundamento. Em casos mais severos, é necessário realizar a fresagem e a recomposição da camada de revestimento.

Segundo a norma DNIT 005/2003, os afundamentos podem ser caracterizados como um afundamento plástico ou um afundamento de consolidação, como descritos a seguir

3.2.1 Afundamento plástico

Afundamento resultante da deformação plástica de uma ou mais camadas do pavimento ou do subleito, acompanhado de sollevamento. Se ocorrer em uma área de até 6 metros, é chamado de afundamento plástico local; se a área afetada for maior que 6 metros e estiver localizada ao longo da trilha de rodagem, é denominado afundamento plástico da trilha de rodagem (DNIT, 2003a).

O afundamento plástico nas trilhas de roda (ATP) (Figura 18) pode ser causado por falhas na dosagem da mistura asfáltica, como o excesso de ligante asfáltico. Além disso, a seleção

inadequada do tipo de revestimento asfáltico para a carga solicitante também pode ser uma causa, além de sofrer cargas de rodagem acima da carga suportada. Geralmente, esse tipo de afundamento é acompanhado por solevamento lateral, resultando em uma compensação volumétrica próxima à depressão (Bernucci et al., 2008).



Figura 18: Afundamento de trilha de roda (DAER-RS, 1978 Apud. DNIT, 2003a)

3.2.2 Afundamento de consolidação

Afundamento causado pela consolidação diferencial de uma ou mais camadas do pavimento ou subleito, sem apresentar solevamento. Se ocorrer em uma área de até 6 metros, é denominado afundamento de consolidação local; se a área afetada for maior que 6 metros e estiver localizada ao longo da trilha de rodagem, é chamado de afundamento de consolidação da trilha de rodagem (DNIT, 2003a).

Segundo Bernucci et al. (2008), o afundamento por consolidação em trilha de roda (ATC) (Figura 19) ocorre devido à densificação ou ruptura por cisalhamento das camadas subjacentes ao revestimento, podendo também ser causado pelo descolamento da película de asfalto junto ao agregado, um fenômeno conhecido como stripping. Normalmente, trincas se desenvolvem dentro das trilhas de roda ou em suas bordas. Geralmente, não há compensação volumétrica lateral, exceto em alguns casos de ruptura por cisalhamento.



Figura 19: Afundamento por consolidação em trilha de roda (ATC) (Bernucci et al., 2008)

O afundamento por consolidação localizado (ALC) (Figura 20) pode ser resultado de problemas ou deficiências construtivas, como falhas de compactação durante o processo de construção. Além disso, problemas de drenagem inadequada também são frequentes, levando ao acúmulo de água e eventualmente causando rupturas por cisalhamento localizadas conforme o movimento e a carga do tráfego. Em geral, é comum o desenvolvimento de trincas nas áreas deprimidas do pavimento (Bernucci et al., 2008).



Figura 20: Afundamento por consolidação localizado (ALC) (Bernucci et al., 2008)

3.3 Ondulação ou Corrugação

Deformação que se manifesta por ondulações ou corrugações transversais na superfície do pavimento (DNIT, 2003a).

De acordo com Bernucci et al. (2008), a corrugação (Figura 21) pode ocorrer devido à fluência da massa asfáltica, apresentando comprimentos de onda na faixa de centímetros a dezenas de centímetros. Geralmente, esse tipo de deformação é observado em áreas de aceleração ou desaceleração, rampas sujeitas ao tráfego de veículos pesados e lentos, curvas, entre outros locais. Nota-se que essa corrugação não se trata de ondulação causada pelo adensamento diferencial do subleito, que gera comprimentos de onda na ordem de metros.

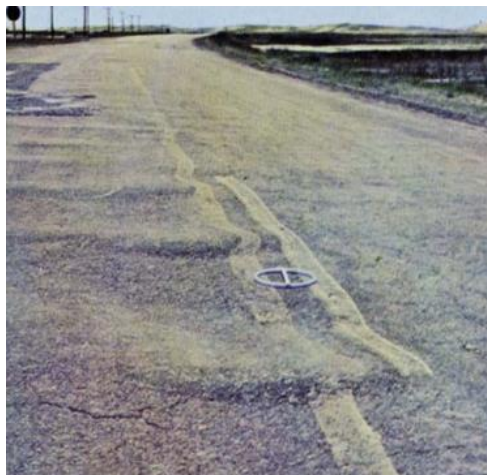


Figura 21: Ondulação (DAER – RS, 1978 Apud. DNIT, 2003a)

3.4 Escorregamento

O escorregamento, de acordo com a publicação de DNIT 005/2003, é caracterizado pelo deslocamento do revestimento em relação à camada subjacente do pavimento, resultando no surgimento de fendas em forma de meia-lua.

O escorregamento de massa asfáltica (E) (Figura 22) pode ocorrer devido à fluência resultante do excesso de ligante. Geralmente, é observado próximo às depressões localizadas, às trilhas de roda e às bordas dos pavimentos (Bernucci et al., 2008).



Figura 22: Escorregamento de massa (Bernucci et al., 2008)

Conforme Bernucci et al (2008), o escorregamento do revestimento asfáltico (E) (Figura 23) pode ser causado por falhas construtivas e de pintura de ligação. Esse tipo de problema difere do escorregamento de massa por fluência mencionado anteriormente. Enquanto o escorregamento de massa é devido à fluência do ligante, o escorregamento do revestimento ocorre devido a problemas na construção e na adesão entre camadas do pavimento.



Figura 23: Escorregamento de revestimento (Bernucci et al., 2008)

3.5 Exsudação

Este defeito é caracterizado pela presença excessiva de ligante betuminoso na superfície do pavimento, causada pela migração do ligante através do revestimento (DNIT, 2003a).

A exsudação (Figura 24) pode ser causada por falhas de dosagem que resultam em excesso de ligante, seja de forma localizada ou generalizada. Pode ocorrer, também, devido à segregação da massa, onde há concentração de ligante em alguns pontos e falta em outros. Além disso, o cravamento de agregados na base pode levar à ascensão do ligante à superfície do pavimento (Bernucci et al., 2008).



Figura 24: Exsudação (Moura, 2004 Apud. Bernucci et al., 2008)

3.6 Desgaste

Ocorrência resultante da remoção gradual de agregados do pavimento, evidenciada pela rugosidade da superfície do revestimento, causada por forças tangenciais geradas pelo tráfego (DNIT, 2003a), ou resultante da perda de mástique junto aos agregados (Bernucci et al., 2008), bem como possivelmente causada por fatores como pouco asfalto, superaquecimento ou má compactação (WSDOT, 2020).

De acordo com a publicação IPR-720 (DNIT, 2006a), o desgaste do pavimento começa quando a viscosidade do ligante cai devido à evaporação dos óleos mais leves do cimento asfáltico. Isso pode ser causado pelo aquecimento excessivo durante a usinagem ou pela oxidação decorrente de longa exposição às temperaturas ambientais.

Além disso, as forças geradas pelos pneus dos veículos que transitam pela rodovia podem causar a fratura do filme do ligante. Essas forças podem atrair ou retirar o agregado da matriz asfáltica devido a uma combinação de esforços horizontais e de sucção na área de contato dos pneus. Características como a pressão de contato, o tamanho e o tipo de pneu têm um impacto significativo na velocidade do desgaste, mais do que o peso por eixo dos veículos (DNIT, 2006a).

De acordo com Bernucci et al (2008) o desgaste (Figura 25) pode ser causado por uma série de fatores, incluindo falhas na adesividade entre o ligante e o agregado, conhecido como stripping.

Isso pode ocorrer devido à presença de água aprisionada e à sobrepressão nos vazios da camada de revestimento, levando ao descolamento do ligante. Problemas de dosagem, como deficiência no teor de ligante, e falhas nos bicos de aplicação em tratamentos superficiais também podem contribuir para o desgaste. Além disso, problemas executivos ou de projeto de misturas, como segregação da massa asfáltica, podem desencadear esse tipo de deterioração.



Figura 25: Desgaste (WSDOT, 2020)

A melhor opção de tratamento é realizar uma selagem simples para garantir que o pavimento esteja selado, reduzindo assim a deterioração rápida normalmente associada a esse problema. Se a patologia se tornar severa, uma selagem com camada de brita (chip seal) pode ser uma alternativa (WSDOT, 2020).

3.7 Panela ou buraco

Uma cavidade formada no revestimento devido a várias causas, incluindo a falta de adesão entre camadas sobrepostas, o que leva ao deslocamento dessas camadas e pode atingir as camadas inferiores do pavimento, resultando na desagregação dessas camadas (DNIT, 2003a).

Um buraco ou panela é uma área onde as trincas interligadas no pavimento, com a ação do tráfego e das intempéries, resultaram na remoção do revestimento ou mesmo de parte da base. Essa condição pode ser causada por diversas razões, incluindo falhas construtivas, como deficiência na compactação, umidade excessiva em camadas de solo, falha na imprimação, desagregação devido a falhas na dosagem do material, stripping ou segregação (Bernucci et al., 2008).

De acordo com o Manual de Recuperação de Pavimentos do DNIT (2006a), as principais causas da ocorrência de buracos (ou panelas) são:

- Excesso de carga por eixo dos veículos;
- Deficiência de projeto;

- Deficiências construtivas; e
- Ação da água devido a infiltração.

A formação de placas (Figura 27) em pavimentos está geralmente associada à perda de capacidade de suporte causada pela presença de água na fundação ou pelo subdimensionamento da estrutura. Essa condição resulta em seções enfraquecidas que sofrem maiores deflexões sob carga, propiciando o surgimento de trincas de fadiga. A infiltração de água através dessas trincas amplia a área enfraquecida, levando eventualmente à formação de buracos devido ao impacto do tráfego e ao enfraquecimento dos materiais. A deterioração é exacerbada pela penetração contínua de umidade, que enfraquece ainda mais a área circundante e aumenta o tamanho do buraco (DNIT, 2006a). Este processo pode ser observado na Figura 26.

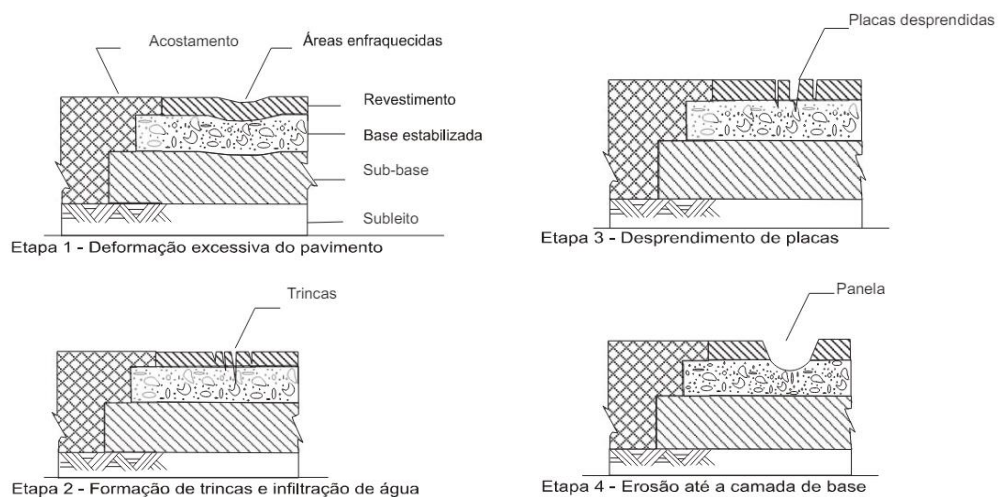


Figura 26: Formação de placas em pavimentos asfálticos (DNIT, 2006a)



Figura 27: Placa ou buraco (DAER – RS, 1978 Apud. DNIT, 2003a)

Os reparos de buracos geralmente serão remendos de profundidade total. Assim, a área de reparo sempre precisará se estender além dos limites do dano visível para alcançar material sólido, pois se os reparos incluírem apenas a área afetada, é comum que o problema volte a ocorrer (WSDOT, 2020).

3.8 Remendo

Processo de preenchimento de uma ou mais cavidades no pavimento, geralmente através da operação conhecida como "tapa-buraco" (DNIT, 2003a), isto é, refere-se ao processo de preenchimento de panelas, buracos ou qualquer outra depressão no pavimento utilizando massa asfáltica.

O preenchimento de depressões ou panelas com massa asfáltica é uma prática comum para a conservação de estradas. No entanto, embora seja uma medida de manutenção, é considerado um defeito, pois indica uma área de fragilidade no revestimento e pode prejudicar o conforto ao dirigir. Na Figura 29, vemos um exemplo de conservação bem executada, enquanto na Figura 28 fica evidente a falta de técnica nos reparos (Bernucci et al., 2008).



Figura 28: Remendo mal executado (Bernucci et al., 2008)



Figura 29: Remendo bem executado (Bernucci et al., 2008)

No caso em que ocorre a substituição do revestimento e, eventualmente, de uma ou mais camadas inferiores do pavimento, o remendo é denominado profundo. Geralmente tem

formato retangular. Já quando se trata de uma correção localizada da superfície do revestimento, realizada pela aplicação de uma camada betuminosa, denomina-se remendo superficial (Bernucci et al., 2008).

Apresenta-se, a seguir, um quadro resumo (Figura 30) dos defeitos descritos referente à classificação e codificação, presente na própria norma DNIT 005/2003 - TER.

FENDAS				CODIFICAÇÃO	CLASSE DAS FENDAS		
Fissuras				FI	-	-	-
Trincas no revestimento geradas por deformação permanente excessiva e/ou decorrentes do fenômeno de fadiga	Trincas Isoladas	Transversais	Curtas	TTC	FC-1	FC-2	FC-3
			Longas	TTL	FC-1	FC-2	FC-3
		Longitudinais	Curtas	TLC	FC-1	FC-2	FC-3
			Longas	TLL	FC-1	FC-2	FC-3
	Trincas Interligadas	"Jacaré"	Sem erosão acentuada nas bordas das trincas	J	-	FC-2	-
			Com erosão acentuada nas bordas das trincas	JE	-	-	FC-3
Trincas no revestimento não atribuídas ao fenômeno de fadiga	Trincas Isoladas	Devido à retração térmica ou dissecação da base (solo-cimento) ou do revestimento		TRR	FC-1	FC-2	FC-3
	Trincas Interligadas	"Bloco"	Sem erosão acentuada nas bordas das trincas	TB	-	FC-2	-
			Com erosão acentuada nas bordas das trincas	TBE	-	-	FC-3

OUTROS DEFEITOS				CODIFICAÇÃO
Afundamento	Plástico	Local	Devido à fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento ou do subleito	ALP
		da Trilha	Devido à fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento ou do subleito	ATP
	De Consolidação	Local	Devido à consolidação diferencial ocorrente em camadas do pavimento ou do subleito	ALC
		da Trilha	Devido à consolidação diferencial ocorrente em camadas do pavimento ou do subleito	ATC
Ondulação/Corrugação - Ondulações transversais causadas por instabilidade da mistura betuminosa constituinte do revestimento ou da base				O
Escorregamento (do revestimento betuminoso)				E
Exsudação do ligante betuminoso no revestimento				EX
Desgaste acentuado na superfície do revestimento				D
"Painéis" ou buracos decorrentes da desagregação do revestimento e às vezes de camadas inferiores				P
Remendos			Remendo Superficial	RS
			Remendo Profundo	RP

Figura 30: Quadro resumo dos defeitos: codificação e classificação (DNIT, 2003a)

4 Manutenção e Reabilitação

Uma ação de manutenção é descrita como qualquer tipo de reparo executado após a conclusão da construção do pavimento, visando preservar o período de vida útil inicialmente projetado para o pavimento. Já uma atividade de reabilitação é caracterizada como qualquer restauração que busca restaurar a condição do pavimento para atender sua função original, com o objetivo de prolongar sua vida útil em serviço. Uma estratégia de manutenção e reabilitação é definida como um conjunto de atividades e decisões destinadas a realizar reparos e melhorias no pavimento (Shoji, 2000).

Segundo AASHTO (2015), as naturezas de manutenção são as descritas a seguir:

- A Manutenção Corretiva inclui "atividades realizadas para abordar deficiências específicas que impactam negativamente as operações seguras e eficientes da instalação e a integridade futura da seção do pavimento. Esses tipos de atividades são geralmente reativas por natureza".
- A Manutenção de Rotina inclui "trabalho planejado e realizado de forma rotineira para manter e preservar a condição do sistema viário ou para responder a condições e eventos específicos que restauram o sistema viário a um nível adequado de serviço".
- A Manutenção Preventiva inclui "uma estratégia planejada de tratamentos economicamente eficazes para um sistema viário existente e seus apetrechos que preserva o sistema, retarda a deterioração futura e mantém ou melhora a condição funcional do sistema (sem aumentar significativamente a capacidade estrutural)".
- A Manutenção Catastrófica inclui "atividades de trabalho geralmente necessárias para devolver uma instalação viária a um nível mínimo de serviço enquanto uma restauração permanente está sendo projetada e agendada. Exemplos de situações que exigem atividades de manutenção catastrófica de pavimentos incluem explosões de pavimentos de concreto, lavagens de estradas, avalanches ou deslizamentos de rochas".
- A Preservação é definida como "um programa que emprega uma estratégia de longo prazo em nível de rede, que melhora o desempenho do pavimento usando um conjunto integrado e economicamente eficaz de práticas que estendem a vida útil do pavimento, melhoram a segurança e atendem às expectativas dos motoristas".
- A Reabilitação inclui "aperfeiçoamentos estruturais que estendem a vida útil de um pavimento existente e/ou melhoram sua capacidade de suportar carga. - A reabilitação menor consiste em aperfeiçoamentos não estruturais feitos nas

seções de pavimento existentes para eliminar fissuras superficiais causadas pela idade que se desenvolvem em pavimentos de asfalto de cima para baixo devido à exposição ambiental. Devido à natureza não estrutural das técnicas de reabilitação menor, esses tipos de técnicas de reabilitação são classificados na categoria de preservação de pavimentos. - A reabilitação maior 'consiste em aperfeiçoamentos estruturais que estendem a vida útil de um pavimento existente e/ou melhoram sua capacidade de suportar carga".

- A Reconstrução é definida como "a substituição de toda a estrutura do pavimento existente pela colocação de uma estrutura equivalente ou aumentada".

Na Tabela 9, é possível observar as atividades de pavimentação classificadas por propósito.

Tabela 9: Atividades de pavimentação por propósito (Geiger, 2005 Apud. AASHTO, 2015).

Tipo de Atividade	Propósito da Atividade				
	Aumentar Capacidade	Aumentar Força	Retardar Envelhecimento	Restaurar Características da Superfície	Melhorar ou Restaurar Funcionalidade
Nova Construção	✓	✓	✓	✓	✓
Reconstrução	✓	✓	✓	✓	✓
Reabilitação Maior		✓	✓	✓	✓
Reabilitação Menor			✓	✓	✓
Manutenção Preventiva			✓	✓	✓
Manutenção de Rotina					✓
Manutenção Corretiva					✓
Manutenção Catastrófica					✓

De modo geral, é observado que as cidades brasileiras enfrentam desafios significativos em relação à qualidade de seus pavimentos, os quais frequentemente se encontram em condições precárias, exigindo medidas de manutenção. Segundo Zanchetta (2017), esta realizada justifica-se por fatores como interferência política na esfera técnica, restrições orçamentárias, dimensionamento inadequado, ausência de manutenções programadas e escassez de opções de manutenção, além de uma fiscalização insuficiente das obras.

A seguir, tem-se o estudo de Causin (2001) que em pesquisa de SGPU, visitou as cidades listadas a seguir e constatou que a falta de um SGPU, conhecimento técnico e interesse de seus administradores resulta na realidade de, na maioria dos casos, realizarem apenas operações tapa-buracos e recapeamentos (Tabela 10). Em seguida, na Tabela 11, tem-se as manutenções usuais em pavimentos flexíveis no Brasil segundo Golçalves (1999).

Tabela 10: Cidades, habitantes e atividades de M&R (Causin, 2001).

Cidade	Número de habitantes	Atividades de M&R utilizadas pelas Prefeituras
Barretos	110.000	tapa-buracos e recapeamento
Sumaré	200.000	tapa-buracos e recapeamento
Colina	016.655	tapa-buracos e recapeamento
Bebedouro	080.000	manutenção corretiva
Jaboticabal	075.000	tapa-buracos e recapeamento
Guaíra	035.140	tapa-buracos e recapeamento
Monte alto	042.000	tapa-buracos e recapeamento

Tabela 11: Manutenções usuais em pavimentos flexíveis no Brasil (Gonçalves, 1999).

DESCRIÇÃO
Recapeamento simples em CBUQ
Fresagem total ou parcial do revestimento e aplicação de camada em CBUQ que aumente a capacidade estrutural do pavimento
Colocação de camada intermediária especial contra reflexão de trincas, seguida de recapeamento (“Sistema Anti-Reflexão de Trincas”)
Fresagem parcial do revestimento, seguida de aplicação de camada intermediária contra reflexão de trincas e cobertura com novo revestimento em CBUQ. Considera-se em dois níveis: 1 e 2, com o nível 2 envolvendo maiores espessuras
Reciclagem do revestimento e da base granular, formando-se uma base tratada com emulsão ou cimento e construindo-se um novo revestimento
Aplicação de Tratamento Superficial Duplo sobre o tratamento existente
Remoção e reconstrução (com ou sem reciclagem) do revestimento em tratamento e da camada de base, seguida de aplicação de camada de TSD
Remoção e reconstrução (com ou sem reciclagem) do revestimento existente e da camada de base, seguida de aplicação de camada de CBUQ
Remoção e reconstrução total do revestimento asfáltico existente, nas condições do projeto original, seguida de complementação da espessura da capa em CBUQ (reforço estrutural)
Remoção e reconstrução total do revestimento asfáltico

Nota-se que, segundo as informações levantadas, a manutenção de pavimentos no Brasil é, em geral, voltada a recapeamentos, com ou sem fresagem, tapa-buracos e reconstrução dos revestimentos. Esta modalidade de manutenção é mais onerosa se comparados às opções de manutenção que incluem manutenção preventiva e selagem de trincas (Zanchetta, 2017) e que, se atreladas a um sistema de gerenciamento podem gerar resultados mais satisfatórios.

Além disso, a adoção de planos de gerenciamento para implementar medidas preventivas na manutenção de pavimentos urbanos pode oferecer uma série de vantagens, especialmente em cidades com tráfego mais intenso, como São Paulo. Isso porque essas medidas visam prolongar

a vida útil das pavimentações, resultando em economias significativas não apenas nos custos diretos de manutenção, mas também nos custos indiretos associados a interrupções no tráfego.

Em ambientes urbanos movimentados, a aplicação de manutenções mais eficientes e rápidas podem reduzir significativamente o tempo em que as vias precisam ser bloqueadas para reparos. Isso minimiza o impacto negativo sobre a mobilidade urbana, contribuindo para a fluidez do trânsito e reduzindo as perdas econômicas que podem ocorrer devido a longas paralisações.

Assim, além de economizar em custos de reparo a longo prazo, esses planos ajudam a mitigar os efeitos adversos sobre a economia local causados por congestionamentos e interrupções no fluxo de veículos. Logo, se tornando um incentivo considerável para adoção por parte de órgãos públicos ou concessionárias gestoras de vias.

Em relação aos mecanismos de degradação e causas de defeitos, a publicação IPR-720 do DNIT (2006a) ressalta:

- Os mecanismos de deterioração das rodovias pavimentadas são influenciados pelas características do revestimento, que é mais resistente ao desgaste e à ação da água do que os materiais granulares das demais camadas do pavimento.
- As cargas de tráfego induzem tensões e deformações na estrutura do pavimento, sendo influenciadas pela magnitude do carregamento, pelos módulos e espessuras das camadas e pela capacidade de suporte do subleito.
- A ação do carregamento repetido propicia o desenvolvimento de fadiga e deformação nas camadas tratadas e no subleito.
- Os agentes das intempéries tornam a mistura asfáltica mais quebradiça, propiciando trincamento e desagregação.
- As trincas abertas permitem a entrada de água, acelerando a deterioração e reduzindo a resistência dos materiais.
- O somatório das deformações resulta em afundamentos e distorções no perfil longitudinal, promovendo a irregularidade do pavimento.
- O aumento da irregularidade é resultado de uma combinação de defeitos, não sendo um efeito isolado.

Sendo assim, na gestão de pavimentos urbanos, a complexidade e detalhamento excessivos não são justificados, pois podem reduzir a eficiência na coleta de dados e aumentar os custos, além de potencialmente causar interrupções no tráfego local (Shojin, 2000). Além disso, entende-se que ao tratar de vias urbanas, isto é, vias com velocidades reduzidas, os fatores mais críticos estão menos ligados à segurança do que em vias rodoviárias. Desta forma, os elementos críticos são defeitos que prejudicam o conforto e que podem causar danos aos

veículos e tais defeitos, por sua vez, são aparentes.

Assim, uma avaliação subjetiva realizada por especialistas por meio de inspeção visual, identificando o tipo, extensão e severidade dos defeitos, é considerada adequada. A extensão refere-se à frequência ou área afetada por um tipo de defeito, enquanto a severidade se relaciona ao grau de deterioração, geralmente classificado em níveis como baixo, médio e alto (Bertollo, 1997).

A definição de um índice, ou uma combinação de índices, é o caminho mais comum para determinar a necessidade de manutenção do pavimento. Como já abordado, utiliza-se usualmente índices como VSA, ICP, IRI, VDM, entre outros. A partir da avaliação, estudam-se as necessidades do pavimento, assim como as possibilidades existentes para realizar as intervenções, podendo ser realizadas apenas para recuperação de defeitos, ou realizada a readequação do pavimento, reforçando sua capacidade de carga.

Segundo o Manual Técnico de pavimentação da Cepsa Portuguesa (2010), as intervenções que não aumentam a capacidade de carga podem ter diferentes objetivos. Podem ser direcionadas para reparar defeitos pontuais, como ninhos ou peladas, ou para selar fendas. Também podem ser ações mais abrangentes na superfície do pavimento, visando impermeabilizar, retardar o envelhecimento da camada de desgaste ou melhorar suas características funcionais. Nessas situações, as técnicas a serem consideradas incluem tratamentos superficiais, como revestimentos superficiais, microaglomerados a frio, além da aplicação de camadas finas de misturas asfálticas a quente.

Quando há necessidade de aumentar a capacidade de carga e adaptar o pavimento a um determinado tipo de tráfego, uma das ações mais comuns na reabilitação é a aplicação de uma ou mais camadas de revestimento asfáltico como reforço. Uma alternativa cada vez mais frequente na reabilitação de pavimentos envolve a fresagem e reparação de uma ou mais camadas do pavimento existente, seguida pela substituição e reforço com a aplicação de novas camadas. Essa abordagem visa evitar que as degradações presentes no pavimento antigo afetem a nova superfície a curto prazo (CEPSA, 2010).

A seguir, constata-se formas de manutenção presentes na literatura que, quando atreladas a um SGP e devida gestão, podem, possivelmente, gerar resultados positivos no quesito de preservação da vida útil dos pavimentos e diminuição de custos ao longo de sua vida útil.

4.1 Misturas Asfálticas

4.1.1 Misturas asfálticas usinadas a quente

Essas misturas podem ser subdivididas, conforme sua granulometria, em graduação densa, graduação aberta e graduação descontínua. A graduação densa tem a curva granulométrica contínua de modo a ter um esqueleto mineral com poucos vazios, enquanto a graduação aberta tem curva granulométrica com poucos agregados da fração fina, permitindo vazios entre as

partículas tornando o material drenante. Já a graduação descontínua possui quantidade elevada de grãos de dimensões maiores o que torna o esqueleto mineral mais resistente à deformação permanente (Bernucci et al., 2008).

Neste tipo de revestimento, a mistura dos agregados e ligantes ocorre em uma usina estacionária. Trata-se do produto da mistura convenientemente proporcionada de agregados de vários tamanhos e cimento asfáltico, ambos aquecidos em temperaturas previamente escolhidas, em função da característica viscosidade-temperatura do ligante. No Brasil, o tipo mais empregado é concreto asfáltico (CA) (Bernucci et al., 2008).

De acordo com o Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Paraná (DER/PR) em sua publicação ES-P 21/17 (2017a), o concreto asfáltico usinado a quente (CAUQ) pode ser aplicado camadas de revestimento, recapeamento ou reperfilagem de pavimentos rodoviários, sendo:

Camada de rolamento ou "capa asfáltica" é a camada superior da estrutura que recebe diretamente o impacto do tráfego. A mistura usada nesta camada deve oferecer estabilidade e flexibilidade adequadas ao desempenho elástico da estrutura, além de condições de rugosidade que proporcionem segurança ao tráfego. Deve-se seguir as orientações do Manual de Execução do DER/PR sobre esse aspecto.

Camada de ligação ou "binder" é a camada que fica logo abaixo da capa asfáltica. Apresenta diferenças em relação à mistura usada na camada de rolamento, como o uso de agregados com maior diâmetro máximo, maior percentual de vazios, menor quantidade de "filler" (quando previsto) e menor consumo de ligante.

Camada de nivelamento ou "reperfilagem" é um serviço realizado com massa asfáltica de graduação fina, com a função de corrigir deformações na superfície de um revestimento antigo e, ao mesmo tempo, selar fissuras existentes.

4.1.2 Misturas asfálticas usinadas a frio

Esse tipo de revestimento consiste em misturas usinadas de agregados graúdos, miúdos e de enchimento, misturados com emulsão asfáltica de petróleo (EAP) à temperatura ambiente. Pode ser utilizado para revestir vias urbanas e rodovias de baixo volume de tráfego. No tocante a graduação, essa pode ser densa ou aberta. Os aspectos funcionais variam de acordo com o tipo de graduação escolhida, isto é, de acordo com o volume de vazios que, caso seja maior que 12%, a mistura será permeável e servirá como camada drenante. Ao contrário, poderá ser usado como revestimento, sendo impermeável (Bernucci et al., 2008).

As vantagens da técnica de misturas a frio estão ligadas principalmente ao uso de equipamentos mais simples, trabalhabilidade à temperatura ambiente, boa adesividade com quase todos os tipos de agregados britados, possibilidade de estocagem e flexibilidade elevada (BERNUCCI et al., 2008).

4.1.2.1 Pré-misturado a frio (PMF)

São constituídos por emulsões asfálticas com baixa viscosidade que possuem trabalhabilidade à temperatura ambiente, misturados por um equipamento misturador sem necessidade de aquecimento em usina (Balbo, 2007).

Além da utilização como camada de base de pavimentos, são recomendados para regularização de pavimentos existentes. No Brasil, esta mistura é frequentemente utilizada como material para execução de serviços de manutenção, principalmente em vias urbanas (tapa-buracos) (Balbo, 2007).

Apesar de não apresentar a mesma resistência mecânica que um CAP, sua resistência provida pelo esforço de compactação e o ganho de resistência mecânica que o material possui ao longo do tempo estimularam aplicações do PMF no caso de reciclagem de antigos revestimentos asfálticos fresados no exterior. (Balbo, 2007).

4.1.2.2 Lama Asfáltica

As lamas asfálticas são essencialmente uma mistura fluida de agregados minerais, material de enchimento ou fíler, emulsão asfáltica catiônica e água, uniformemente misturados e aplicados no local da obra a temperatura ambiente, utilizando equipamento móvel (Ceratti, 2015).

Estas misturas são principalmente utilizadas na manutenção de pavimentos, especialmente em revestimentos que apresentem patologias superficiais como fissurações sem desgaste, além de possuir características impermeabilizantes e de promover aderência para o rolamento (Balbo, 2007)

Geralmente, são aplicadas em ruas e vias secundárias, e ocasionalmente com granulometria mais grossa para restabelecer o atrito superficial e resistência à aquaplanagem. Além disso, são utilizadas como capa selante sobre tratamentos superficiais envelhecidos. No entanto, não são adequadas para corrigir irregularidades significativas nem aumentar a capacidade estrutural do pavimento (Ceratti, 2015). Além disso, esta técnica pode ser utilizada em correção de fendas e sob uma interface anti fendas antes da execução de uma camada de reforço (Figueiredo, 2011 Apud. Videira, 2014).

De acordo com o Manual de Conservação Rodoviária do DNIT (2005), a lama asfáltica é uma mistura densamente graduada e fluida que pode penetrar nos poros superficiais e fissuras de um revestimento asfáltico, promovendo a impermeabilização da superfície existente, caso as fissuras não estejam excessivamente abertas. Além disso, a lama asfáltica tem um efeito rejuvenescedor quando aplicada sobre um revestimento asfáltico oxidado e desgastado, melhorando sua textura e recuperando parcialmente as perdas de agregados finos.

Apesar de sua utilidade, a lama asfáltica não tem capacidade estrutural significativa devido à sua espessura reduzida e não deve ser aplicada em superfícies excessivamente deformadas ou

com avançado estágio de fissuração e desgaste. Além disso, uma aplicação precoce ou tardia pode resultar em ineficiência ou desperdício, sendo, portanto, fundamental selecionar o momento ideal para aplicar a lama asfáltica, com base nas condições da superfície (DNIT, 2005).

4.1.2.3 Microrrevestimento asfáltico a frio

Segundo Ceratti (2015), o Microrrevestimento Asfáltico a Frio (MRAF) é utilizado em diversas aplicações. Entre elas, destaca-se a recuperação funcional de pavimentos deteriorados, restaurando as condições de atrito superficial, preenchendo trilhas de roda pouco profundas originadas da camada de rolamento e corrigindo pequenas panelas e desgastes superficiais.

O recapeamento é uma técnica utilizada para corrigir deficiências superficiais mais severas, como afundamentos e desgastes intensos, que não podem ser resolvidas com resselagens. Envolve a construção de uma fina camada de revestimento betuminoso que varia entre 2,5 cm e 5,0 cm de espessura. Este procedimento oferece uma superfície impermeável, resistente ao escorregamento e à abrasão causada pelo tráfego (DNIT, 2006a), proporcionando uma melhoria significativa nas condições da via.

A publicação IPR-720 do DNIT (2006a) define que o microrrevestimento asfáltico visa corrigir os seguintes defeitos:

- O desgaste da superfície nas áreas onde as rodas passam frequentemente provoca a redução do coeficiente de atrito.
- Irregularidades longitudinais leves no pavimento, que não estão diretamente ligadas ao carregamento.
- Declive transversal inadequado, que causa dificuldades na drenagem da água superficial.
- Problemas relacionados ao ambiente, como rachaduras em blocos, desagregação e exposição às intempéries.

O MRAF consiste em uma mistura asfáltica a frio, processada em uma usina móvel especial, composta por agregados minerais, filer, água e emulsão modificada com polímero, e ocasionalmente com a adição de fibras, conforme a NBR 14948/2003 (Ceratti, 2015).

O microrrevestimento é uma técnica de manutenção econômica, desde que a deterioração do pavimento ainda esteja bem acima do nível mínimo aceitável. Tal técnica pode ser utilizada para corrigir sulcos no pavimento ou outras deficiências superficiais, fornecendo uma nova superfície de rodagem e aumentando a fricção (MERO, 2013). Além disso, pode ser aplicada como revestimento de pavimentos com baixo volume de tráfego, camada intermediária anti reflexão de trincas em projetos de reforço estrutural (Ceratti, 2015), camada de selagem inibidora de trincas camada de impermeabilização ou de rejuvenescimento (DER/SP, 2006a).

De acordo com a especificação técnica ET-022 do Departamento de Estradas de Rodagem de São Paulo (DER/SP, 2006a), para a aplicação do MRAF deve ser realizado o preparo da superfície, incluindo limpeza e reparo de eventuais patologias, como selagem de trincas em caso de origem não estrutural. A aplicação da mistura é feita por meio de um caminhão-usina, que deve manter uma velocidade uniforme e consistência da mistura, sendo necessário corrigir falhas imediatamente após a execução para garantir uma superfície homogênea.

A diferença desta mistura para a lama asfáltica está na empregabilidade das emulsões asfálticas modificadas com polímero elastomérico. A emulsão asfáltica RC, ou Ruptura Controlada, é projetada para se adequar ao tipo de material pétreo utilizado durante a execução do MRAF. Essa característica de ruptura controlada, juntamente com a presença de polímeros em sua composição, contribui para aumentar sua vida útil (Ceratti, 2015).

Segundo orientações do Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos do DNIT (2006a), devem ser efetuadas as seguintes etapas previamente à aplicação do MRAF.

- reparos localizados;
- reperfilamento;
- limpeza e pintura de ligação;
- eventuais alargamentos ou melhorias na geometria da rodovia;
- melhoria da drenagem; e
- controle das trincas de reflexão.

4.1.3 Misturas asfálticas mornas

As misturas usinadas a quente podem ser produzidas e compactadas em temperaturas mais baixas que as habituais. Essa categoria de mistura é chamada de mornas. Essas misturas utilizam métodos e/ou produtos que diminuem as temperaturas de usinagem e compactação das misturas asfálticas. Atualmente, a produção de misturas asfálticas mornas envolve o uso de: (i) técnica de asfalto em espuma, (ii) aditivos orgânicos (ceras) ou (iii) aditivos químicos (surfactantes), adicionados ao ligante asfáltico ou durante o processo de mistura do ligante com os agregados (Ceratti, 2015).

O uso de misturas asfálticas mornas tem crescido nos últimos anos devido às crescentes demandas por desenvolvimento sustentável e pela preservação das condições de segurança, meio ambiente e saúde (SMS) (Ceratti, 2015).

De acordo com Logaraj e Almeida (2009), a adição de aditivos químicos modificadores da tensão interfacial ao ligante asfáltico reduz o envelhecimento da mistura asfáltica causado pelo calor e ar, aumentando sua resistência à fadiga; melhora a resistência da mistura aos danos por

umidade induzida, promovendo melhor adesividade; facilita a incorporação de material reciclado ao processo e reduz a exposição dos trabalhadores a altas temperaturas, emissões, fumaça e odores no meio ambiente.

4.1.3 Misturas asfálticas recicladas

Quando um pavimento asfáltico em uso se deteriora estruturalmente, é necessário restaurar sua capacidade de carga. Isso pode ser feito construindo novas camadas ou removendo parte ou todo o revestimento danificado por meio de equipamento especial, como uma fresadora, e aplicando um novo revestimento asfáltico (Ceratti, 2015). A remoção do revestimento asfáltico danificado é denominada fresagem e os resíduos provenientes desta prática são viáveis como agregados para novos revestimentos como material granular para camada de reforço (Balbo, 2007).

A fresagem a frio envolve o corte ou desbaste de uma ou mais camadas do pavimento asfáltico por meio de um processo mecânico realizado a baixas temperaturas. Esse procedimento visa produzir uma superfície uniforme, adequada para o tráfego, livre de saliências e outras imperfeições (DER/SP, 2006b).

Segundo o Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo (DER/SP) na especificação técnica ET-DE-P00/038-A (2006b) a fresagem, geralmente, é realizada para remover pavimentos danificados antes da aplicação de um novo revestimento asfáltico, especialmente em áreas com remendos deteriorados, depressões, trincas e outros defeitos. Essa técnica pode ser realizada sem pré-aquecimento, abrangendo o corte, desbaste, transporte e descarga dos resíduos resultantes.

A fresagem é uma etapa preliminar importante para a reciclagem de pavimentos asfálticos, na qual o material proveniente da fresagem é utilizado na usinagem da nova mistura asfáltica a ser aplicada no local. Caso não seja prevista a utilização do material, o resultado da fresagem é carregado nos caminhões e transportado para locais de reaproveitamento ou descarte, conforme previsto no projeto (DER/SP, 2006b).

Diante da considerável quantidade de material fresado gerado, é crucial encontrar uma alternativa viável para sua disposição final, especialmente em obras que empregam misturas asfálticas como material de construção, ou em outras aplicações. Nesse contexto, a reciclagem de pavimentos asfálticos emerge como uma solução economicamente viável e ecologicamente sustentável. Além de oferecer uma destinação adequada para todo o material fresado, a reciclagem de pavimentos asfálticos apresenta as vantagens adicionais de reutilizar os agregados (e, em alguns casos, o ligante) e conservar energia (Balbo, 2007).

A reciclagem in loco envolve a escarificação da superfície do pavimento existente, o processamento no local dos materiais escarificados, possivelmente adicionando ligante (com ou sem aditivos para melhorar as propriedades do ligante) e o posicionamento simultâneo do material processado (MERO, 2013). Assim, a reciclagem de revestimento envolve o processo de aproveitamento de misturas asfálticas antigas e deterioradas para produzir novas misturas asfálticas, usando os agregados e o ligante asfáltico remanescente da fresagem, juntamente

com novos insumos, como agregados, CAP ou EAP novos, asfalto espuma e/ou aglomerantes hidráulicos (Ceratti, 2015).

O reaproveitamento, total ou parcial, é realizado através de processos de reusinagem a quente ou mornos. A primeira maneira consiste em processos a quente ou mornos, nos quais novos agregados e asfalto modificado por polímeros (CAP) são empregados, e em alguns casos, é adicionado um agente rejuvenescedor. Agregados fresados também são incorporados. Geralmente, a proporção de material fresado representa de 10 a 50% do total da nova mistura asfáltica (Ceratti, 2015).

A segunda maneira é por meio de processos a frio, um método estabelecido de reabilitação de pavimentos que fresa um pavimento de mistura asfáltica a quente existente, processa as fresagens por peneiramento e britagem secundária, mistura Emulsão Asfáltica de Pétroleo (EAP) adicional e coloca a mistura final em uma pilha pronta para espalhar e compactar sem necessidade de transporte e processamento externos (MERO, 2013).

As Misturas Asfálticas Recicladas Mornas (MARMs) oferecem benefícios ambientais comparáveis aos das Misturas Asfálticas Recicladas a Quente (MARQs), porém, consomem menos energia durante a produção, pois requerem temperaturas mais baixas. A única exigência distinta é a aquisição de um aditivo surfactante para mistura morna. A principal modificação no processo de dosagem consiste em preparar o asfalto modificado com um percentual específico deste aditivo antes de realizar a dosagem (Ceratti, 2015).

Nos casos nos quais é necessário reciclar a base do pavimento, pode realizar o procedimento de reciclagem de pavimento in situ a frio com espuma de asfalto, que é um processo de restauração realizado diretamente no local, aproveitando total ou parcialmente o revestimento existente. Geralmente, envolve a incorporação de parte ou toda a base já presente, além da adição de cimento Portland ou cal, cimento asfáltico em forma de espuma e água. Quando necessário, também são incluídos agregados. Após a mistura, o material é espalhado e compactado, formando assim uma nova base reciclada para o pavimento (DER/SP, 2006c)

4.2 Tratamentos Superficiais

Os tratamentos superficiais (TS) são revestimentos de camadas finas, constituídos por asfalto e agregados, executados sem utilização de processos usinagem sobre a base ou sobre um revestimento já existente de um pavimento (Balbo, 2007). O tratamento consiste na aplicação do ligante asfáltico sobre a base, seguida de distribuição de agregado, e sua compactação (DER/PR, 2017b).

Entre esses serviços, os realizados a frio no local se destacam pela sua simplicidade de aplicação, economia de energia e redução nos custos de transporte e estocagem de materiais (Ceratti, 2015).

Corriqueiramente, se utiliza cimento asfáltico de petróleo (CAP), asfaltos diluídos de cura rápida

e emulsões asfálticas. No caso dos CAPs, são aplicados a quente e utilizam-se os tipos menos viscosos para garantir a penetração do material asfáltico. Os asfaltos diluídos são utilizados quando não há outra camada de revestimento existente. Já no caso de emulsões asfálticas, aplica-se aquelas caracterizadas como de cura rápida e podem ser aquecidas para garantir espargimento do material (Balbo, 2007).

Seu processo construtivo consiste em aplicar o material asfáltico na superfície, distribuir uniformemente os agregados e, posteriormente, compactar. No caso de procedimentos de tratamentos superficiais duplos (TSD) ou triplos (TST), as camadas posteriores de agregados são aplicadas sucessivamente mediante a aplicação de imprimação entre as camadas e espera de fixação dos agregados pelo material asfáltico (Balbo, 2007).

No caso de vias de baixo tráfego ($VDM \leq 300$), são utilizados os tratamentos superficiais simples, devido a sua menor resistência a esforços tangenciais e a menor capacidade de deformação do pavimento existente (Figueiredo, 2011 Apud. Videira, 2014).

Na Europa, os procedimentos de controle na execução dos tratamentos superficiais são descritos na norma CSN EN 12271 (CEN, 2006), bem como os requisitos de desempenho na execução dos revestimentos superficiais.

Ressalta-se que quanto mais aplicações são feitas no tratamento superficial, mais questionáveis se tornam as vantagens econômicas do processo; nesse caso, outro tipo de revestimento, como o pré-misturado a frio, deve ser considerado (Ceratti, 2015).

4.2.1 Selagem

A selagem de trincas tem o objetivo de fornecer uma barreira eficaz para reduzir ou eliminar a infiltração de umidade da superfície do pavimento, o que pode resultar, em países com temperaturas reduzidas, em danos causados pelo congelamento e descongelamento aos materiais da superfície do pavimento ou enfraquecimento do subleito e, portanto, reduzindo a capacidade estrutural (MERO, 2013).

Em muitos casos, a vida útil dos pavimentos flexíveis pode ser prolongada através da adequada selagem das trincas que surgem na superfície. Isso envolve a remoção de materiais como pó ou pequenas partículas de agregado e a prevenção contra futuras infiltrações. Além disso, visa-se reduzir ou eliminar as aberturas das trincas para diminuir a infiltração de água, que não apenas causa defeitos relacionados à umidade, mas também acelera os danos relacionados ao carregamento (DNIT, 2006a).

Segundo o *Materials Engineering and Research Office* (2013), a técnica consiste em cortar mecanicamente uma camada de selante, limpar e secar com ar comprimido quente, e preencher a ranhura com asfalto borracha quente, seguido de aplicação de poeira mineral. Esta atividade é melhor realizada quando as trincas se tornam aparentes e dentro de 2 a 5 anos após o pavimento ter sido colocado, podendo, eventualmente, serem necessários tratamentos

sucessivos para garantir que todas as trincas significativas sejam adequadamente seladas de uma determinada seção.

Os principais pontos de infiltração de água superficial devem ser selados para evitar que os defeitos relacionados à umidade causem danos ao pavimento. Esses pontos incluem as juntas longitudinais de pavimentação entre a pista e o acostamento, as juntas longitudinais de pavimentação entre as faixas de tráfego e todas as trincas no revestimento do pavimento. (DNIT, 2006a).

O Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos do DNIT (2006a) orienta no tocante a avaliação da necessidade de selagem de trincas:

- Analisar o tipo de trincamento para determinar a eficácia da selagem. Geralmente, apenas as trincas transversais, longitudinais e as trincas entre pista e acostamento devem ser seladas;
- Trincas mais estreitas do que 4 mm e não lascadas não devem ser seladas, pois geralmente não são profundas e não requerem restauração;
- Trincas com largura entre 4 mm e 20 mm e ainda não lascadas devem ser limpas e seladas;
- Trincas com abertura maior do que 20 mm ou lascadas devem ser reparadas com remendos asfálticos superficiais.

O manual informa, ainda, que a selagem de trincas não é eficaz para trincas de fadiga ou couro de jacaré, que indicam uma ruptura estrutural e recomenda outras formas de recuperação, como capa selante, lama asfáltica, remendos profundos ou reforços estruturais para tais casos.

4.2.2 Imprimação

De acordo com o DNIT, o serviço de imprimação envolve a aplicação de material asfáltico sobre a superfície da base granular concluída, antes de executar qualquer revestimento asfáltico, com o objetivo de conferir coesão superficial, impermeabilizar e permitir condições de aderência entre a base e o revestimento a ser executado.

Tradicionalmente, a engenharia rodoviária utiliza o asfalto diluído de petróleo (ADP) tipo cura média CM 30 para serviços de imprimação. No entanto, nos últimos anos, devido às crescentes demandas por desenvolvimento sustentável e preservação das condições de segurança, meio ambiente e saúde (SMS), a aplicação de emulsões asfálticas para este tipo de tratamento de superfície se tornou mais comum (Ceratti, 2015).

4.2.3 Pintura de ligação

A pintura de ligação envolve a aplicação de emulsão asfáltica catiônica, conforme indicado pelo projeto, sobre uma base coesiva ou pavimento a ser restaurado, com o objetivo de promover condições de aderência entre as camadas. A aderência entre as diversas camadas é crucial para manter a integridade estrutural do pavimento, já que cada camada contribui para absorver os esforços resultantes da ação das cargas em movimento. Sem essa aderência, o pavimento não conseguiria assimilar esforços transversais ou longitudinais provenientes da passagem dos veículos (Ceratti, 2015).

A norma DNIT 145 2010 ES – Pintura de ligação com ligante asfáltico convencional estabelece a especificação de serviço para esse tipo de tratamento de superfície.

4.2.4 Capa selante

Uma forma de tratamento superficial conhecida como Cape Seal proporciona características de reabilitação e flexibilidade para pavimentos com trincas não ativas (Ceratti, 2015).

Esta técnica é um tipo de revestimento asfáltico delgado que combina duas técnicas de pavimentação em conjunto. Primeiramente, é aplicado um Tratamento Superficial Simples (TSS) utilizando agregados com diâmetro máximo variando entre 6,3mm a 13mm. Em seguida, é realizada uma selagem com MRAF (Microrrevestimento Asfáltico a Frio), que visa impermeabilizar a superfície e proporcionar a rugosidade ideal para o pavimento, garantindo segurança e conforto ao rolamento para os usuários da rodovia (Ceratti, 2015).

A capa selante é um serviço que envolve a aplicação de ligante asfáltico e agregado miúdo para melhorar as condições de impermeabilização e a segurança da camada tratada. Ela influencia a macrotextura dos revestimentos, aumentando a aderência da superfície. É aplicada sobre tratamentos superficiais, macadames asfálticos e pré misturados desgastados pela ação do tráfego e das intempéries, podendo ser aplicado para conservação de revestimentos asfálticos moderadamente fissurados (DNIT, 2006a).

O ligante normalmente utilizado é a emulsão asfáltica, aplicada em taxas reduzidas e diluídas com água. A capa selante é finalizada com uma cobertura de agregado miúdo, como areia ou pó de pedra, para completar o processo e garantir a impermeabilização desejada (DNIT, 2006a).

4.3 Remendos

A execução de remendos é utilizada para corrigir vários tipos de defeitos em revestimentos asfálticos, mas são feitos, corriqueiramente, para preencher os buracos causados pela deterioração natural ou escavações preparadas antecipadamente. Os remendos são realizados

utilizando misturas betuminosas a quente ou a frio e são complementados com compactação adequada, selagem dos bordos e limpeza posterior (DNIT, 2006a).

De acordo com a publicação IPR-720 do DNIT (2006a), existem dois tipos principais de remendos: superficiais e profundos. Os remendos superficiais visam selar trincas incipientes e evitar a penetração de umidade no pavimento. Isso pode ser feito aplicando uma capa selante ou uma camada fina de mistura betuminosa. Por outro lado, os remendos profundos são usados para reparos mais duradouros, exigindo a remoção do material danificado até uma profundidade que estabeleça uma base sólida, às vezes incluindo parte do subleito.

O manual do DNIT (2006a) ainda salienta que a execução de remendos é adequada para várias situações, como reparo de buracos, recomposição de segmentos com trincamento por fadiga e reparos localizados para regularização prévia da superfície antes da execução de recapamentos asfálticos.

No caso de patologias como as trincas do tipo “jacaré”, por exemplo, se as não forem extensas, o material da camada de base não estiver visível e não houver sinais de pavimento rebaixado, uma selagem com camada de brita pode ser uma possibilidade. No entanto, o método típico de reparo é realizar um remendo de profundidade parcial ou total. Fissuras de profundidade total se estendem por toda a estrutura do pavimento, enquanto as fissuras de profundidade parcial atravessam apenas uma parte do pavimento (WSDOT, 2020).

Para realização de remendos nos pavimentos, o Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos do DNIT (2006a) prescreve a execução de corte do material comprometido. O corte deve ser feito em toda a espessura da camada de revestimento, direcionando a escavação do centro do buraco para os bordos. Os bordos devem ser mantidos verticais e o corte deve atingir a profundidade necessária para alcançar um material estável, garantindo uma boa fundação para o remendo. Além disso, o fundo do buraco deve ser nivelado para uma melhor aplicação do reparo.

Após a escavação, deve-se remover e afastar o material do buraco, além de remover o pó remanescente no fundo. Em seguida, deve ser executada a pintura de ligação das cobrindo integralmente as paredes e o fundo do buraco escavado com emulsão asfáltica ou asfalto diluído (DNIT, 2006a).

Por fim, o material de reposição deve ser colocado no buraco, utilizando-se pré-mistura a frio ou o próprio concreto asfáltico. Este material deve ser lançado com pás quadradas, começando pelos bordos em direção ao centro, respeitando um limite de 10 cm de espessura, ou realizando diversas camadas de 10 cm. Em seguida, ele deve ser espalhado com um ancinho e, posteriormente, compactado, certificando a ausência de ressaltos entre o pavimento antigo e o remendo executado (DNIT, 2006a).

4.3.1 Reparo de painéis

Os buracos que surgem nos pavimentos de concreto asfáltico demandam restauração pontual

para garantir a segurança do tráfego. Se não forem reparados brevemente, podem levar à deterioração das áreas vizinhas, resultando em danos mais graves para a rodovia. No caso de reparos de painéis ou buracos deve incluir tanto a reposição do revestimento como das camadas subjacentes (DNIT, 2006a).

4.3.2 Reparo de trincas de fadiga

Os pavimentos flexíveis podem apresentar trincas de fadiga ou padrões de desgaste semelhantes à pele de jacaré quando não possuem a estrutura adequada para suportar as cargas do tráfego. Para corrigir isso, é comum realizar melhorias estruturais, como adicionando uma ou mais camadas asfálticas (reforço ou recapeamento espesso). No entanto, se as áreas mais danificadas não forem reparadas previamente, o novo recapeamento pode se deteriorar mais rapidamente nessas regiões, tornando crucial realizar correções locais antes do recapeamento, o que pode ser denominado "reconstrução localizada" (DNIT, 2006a).

4.4.3 Reperfilagem

A reperfilagem é uma técnica que visa corrigir as deformações e melhorar o conforto de rolamento do tráfego. O perfil longitudinal de um pavimento a ser reabilitado geralmente apresenta deficiências, como pequenas irregularidades superficiais e deformações, como afundamentos nas trilhas de roda ou corrugações, que podem ser excessivas em algumas áreas. A reperfilagem ou reparos localizados consistem na aplicação de uma fina camada de mistura e/ou remendos específicos em áreas mais irregulares, sem a necessidade de preparação prévia do pavimento. (DNIT, 2006a).

4.4 Tratamentos anti-deflexão de trincas

De acordo com o Manual de Pavimentação da Cepsa Portuguesa (2010), quando é necessário aplicar uma camada de reforço sobre um pavimento com fissuras, há o risco de as fissuras presentes no pavimento antigo se propagarem rapidamente através da nova camada de reforço, alcançando a superfície. A velocidade de propagação das fissuras será maior quanto menor for a espessura da camada de reforço e quanto maior for a amplitude dos movimentos relativos (horizontais e verticais) das bordas das fissuras.

Segundo a publicação IPR-710 do DNIT (2005), atualmente, as pesquisas estão focadas em desenvolver técnicas que evitem ou, pelo menos, retardem significativamente a ocorrência desse fenômeno, aumentando assim a durabilidade dos pavimentos e reduzindo os custos de reabilitação.

As Figuras 31 e 32 ilustram o processo de formação de trincas por reflexão.

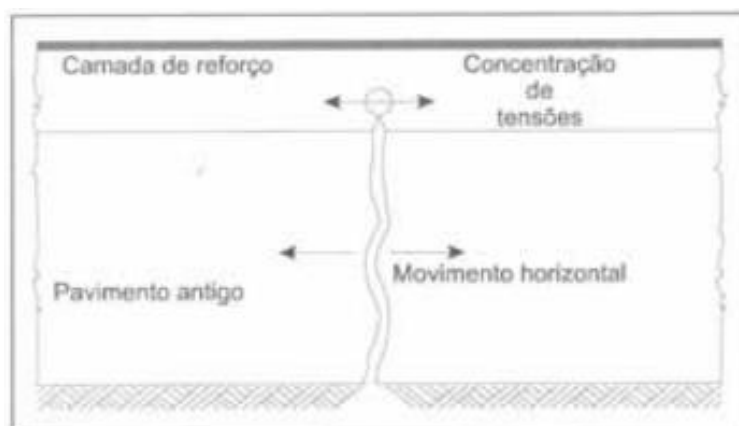


Figura 31: Tensões de tração na camada de reforço (DNIT, 2005)

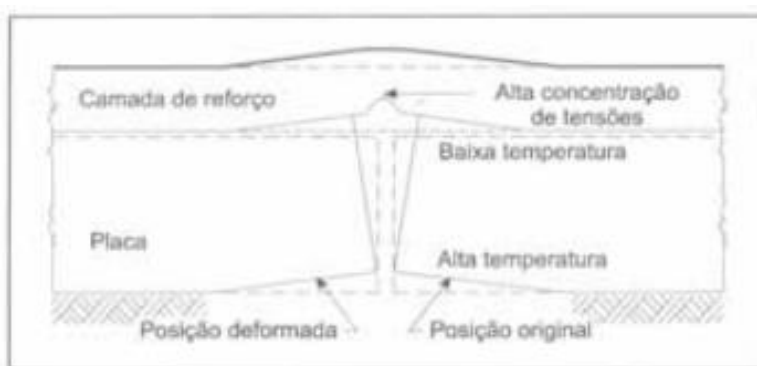


Figura 32: Reflexão de trincas (DNIT, 2005)

Tendo em vista retardar ou eliminar a reflexão de fendas, intervir sobre o pavimento antigo de forma a reduzir ou eliminar os movimentos das fendas, aumentar a espessura das camadas de reforço e utilizar misturas que, não sendo deformáveis, sejam mais flexíveis e resistentes ao fendilhamento, ou utilizar sistemas anti-reflexão de fendas (CEPSA, 2010).

No caso de sistemas anti-reflexão de trincas, o Manual de Pavimentação da Cepsa Portuguesa (2010) aborda:

- Argamassas betuminosas: Camadas de cerca de 2 cm que atuam na desaceleração da propagação de fendas. Consistem em uma mistura de agregado fino, com uma alta porcentagem de filler e um teor elevado de betume, normalmente modificado;
- Membranas betuminosas: Promovem impermeabilização da superfície, composto por camadas de betume modificado. Apresentam performance inferior à de argamassas ou geotêxtis impregnados.
- Geotêxtil impregnado: Trata-se de um sistema anti-reflexão de fendas composto por um geotêxtil de polipropileno não tecido impregnado com um ligante betuminoso, preferencialmente uma emulsão betuminosa modificada, criando assim uma membrana impermeável no local.

Referente às mantas geotêxtis, o ideal é realizar uma camada de nivelamento no pavimento trincado, aplicar pintura de ligação no pavimento existente e, posteriormente, estender o geotêxtil a cerca de um terço da camada de reforço (DNIT, 2005). A Figura 33 ilustra o assentamento de geotêxtil.

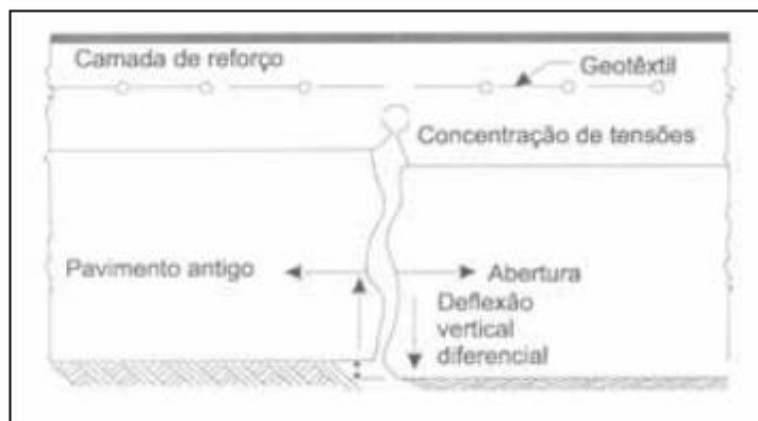


Figura 33: Assentamento de geotêxtil (DNIT, 2005)

A presença de uma estrutura composta por geotêxtil e asfalto em pavimentos reduz a propagação de trincas ao criar uma camada de descontinuidade viscoelástica. Essa camada diminui as tensões sobre trincas existentes, causadas por cargas de tráfego ou variações térmicas. Ela separa a camada trincada da nova camada de reforço, permitindo o movimento livre das bordas das trincas ou seu redirecionamento, o que ajuda a dissipar a propagação das trincas (DNIT, 2005).

O geotêxtil também atua como uma membrana com boas características de impermeabilização, aumentando a vida útil do pavimento ao impedir a entrada de água nas camadas mais profundas de sua estrutura, mesmo quando surgem novas trincas no revestimento ao longo do tempo. Ainda, o uso de geotêxteis tem sido bem-sucedido em pavimentos rígidos e flexíveis, com melhores resultados em pavimentos flexíveis onde não há trincas transversais de origem térmica. No entanto, trincas com movimentos substanciais podem rasgar a manta, comprometendo sua eficácia (DNIT, 2005).

5 Proposta de Sistema de Gerenciamento de Pavimentos Flexíveis Para Aplicação Urbana

5.1 Considerações iniciais

Este trabalho adota uma abordagem metodológica que envolve revisão da literatura, análise, tratamento e seleção de informações pertinentes para a proposta de uma matriz para embasamento de tomada de decisão dentro de um sistema de gerenciamento de pavimentos (SGP), também proposto com base na literatura estudada e com as adaptações pertinentes para a proposta de um SGP urbano.

Primeiramente, foi realizada uma revisão abrangente da literatura científica e técnica relacionada a SGPs, metodologias de avaliação de patologias em pavimentos, análise de redes rodoviárias, modelos de desempenho de pavimentos e estratégias de conservação e reabilitação para melhor embasamento e aplicação prática no estudo.

Tais informações foram pertinentes para propor a coleta de dados e a construção do inventário, análise e modelo de priorização, tipos de patologias e técnicas de manutenção correspondente, além da estruturação do SGP como um todo.

Em seguida, aprofundou-se principalmente na literatura técnica de órgãos internacionais que realizam a gerência dos pavimentos de suas unidades federativas acerca das técnicas de manutenção aplicadas em suas redes e seus critérios para a seleção da intervenção, nomeadamente nos âmbitos de tipo de patologia, severidade e extensão, haja vista que a aplicação tem como proposta utilização de parâmetros práticos observáveis para tomada de decisão de gerenciamento.

Tem-se como diretrizes principais aquelas apresentadas nas seguintes publicações: *Asphalt Roadway Rehabilitation Alternatives* (1997) da *Federal Highway Administration* (FHWA-SA-97-048); *Pavement Preservation Guidelines* (2021) e *Visual Distress Survey Manual* (2023), publicado por *South Dakota Department of Transportation* (SDDOT); *Flexible Pavement Preservation 2nd Edition* (2007), publicado pelo *California Department of Transportation* (Caltrans) *Division of Maintenance*; *Pavement Preservation Manual* (2020) e *Pavement Distress Identification Manual* (2011), publicados por *Minnesota Department of Transportation* (MnDOT); e o livro *Utilização de Ligantes Asfálticos em Serviços de Pavimentação*, escrito por Ceratti et al. (2015).

Tais informações foram analisadas, estudadas, adaptadas e organizadas em forma de uma matriz intuitiva para seleção das técnicas de manutenção com base em parâmetros definidos a partir do julgamento de sua aplicabilidade prática. Considerando isto, propôs-se a estrutura do SGP como um todo.

A metodologia proposta tem como base o cálculo do ICP, conforme proposto por ODOT (2006) para determinação da priorização com parâmetros semelhantes aos necessários para aplicação da matriz de decisão para melhor aplicabilidade do sistema, a partir da qual é aplicada a matriz de decisão com base no levantamento de patologias realizado em campo pelo avaliador, não sendo necessários ensaios e necessitando, apenas, de aparelhagem limitada e básica como trenas, réguas e gabaritos, com objetivo de viabilizar o método economicamente em uma ampla aplicação do sistema.

5.2 Contextualização

Um Sistema de Gerenciamento de Pavimentos (SGP), conforme definido em DNIT (2011), pode variar em complexidade, desde manual até automatizado, e deve ser concebido como um sistema dinâmico, modular e capaz de crescer ao longo do tempo. Este trabalho visa analisar e propor um SGP para uma pequena rede de pavimentos urbanos, levando em consideração pontos como o volume diário médio (VDM) reduzido e a velocidade de rolamento mais baixa quando comparados às rodovias.

De acordo com a Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2015), um dos problemas relacionados à estrutura dos pavimentos flexíveis no Brasil é a falta de cumprimento das normas técnicas. Isso leva a falhas construtivas que aceleram a deformação do pavimento, aumentando os custos de manutenção e conservação para garantir condições ideais de tráfego.

A manutenção efetiva seguindo um plano de gerenciamento poderia aumentar a vida útil das estruturas e diminuir o custo de manutenção (Lima et al., 2004). Porém, no Brasil, nota-se a falta de integração entre as diversas áreas do serviço público municipal, resultando em uma gestão da infraestrutura urbana realizada de maneira informal e influenciada por decisões políticas (Barra Martins et al., 2021). Ainda, normalmente o capital disponível para a conservação da malha viária é inferior às necessidades, o que força os administradores a tomarem decisões, optar pela recuperação de um trecho em detrimento de outro (Zanchetta, 2017).

Segundo Hudson (1997), nos Estados Unidos, por exemplo, os investimentos do governo representam bilhões de dólares ao longo de décadas e, por isso, os sistemas de transportes têm sido moldados pela legislação de acordo com desenvolvimento e, desta forma, foi sendo intensificado o uso de sistemas de gerência de pavimentos para preservar o capital investido.

Para Haas et al (1994), o objetivo do SGP é utilizar informações e parâmetros de decisão para criar um programa de construção e manutenção de pavimentos que maximize a eficácia no uso dos recursos disponíveis. Desta forma, entende-se que a adoção de SGPs poderia ser benéfico para utilizar os recursos disponíveis e oferecer aos usuários o pavimento em uma melhor condição de qualidade e segurança. E ainda, segundo Haas et al. (1994), para maximizar o capital disponível, deve-se fazer uma abordagem que seja organizada, sistemática e compatível com os serviços do dia a dia do organismo rodoviário.

Entende-se, conforme tratado ao longo deste trabalho, que as considerações conceituais de um SGP são desenvolvidas e válidas para pavimentos rodoviários. Contudo, realizados os devidos ajustes, pode-se obter um sistema de gerência de pavimentos urbanos que é o foco deste projeto. Ainda, as atividades de coleta de dados e de M&R que compõem o SGP urbano proposto devem ser economicamente viáveis e tecnicamente compatíveis com a capacidade das prefeituras ou órgãos de gestão.

Considerando o escopo deste trabalho de propor um SGP a nível de uma pequena rede de pavimentos urbanos, alguns pontos devem ser levados em consideração no tocante a escolha das manutenções sugeridas para o sistema, bem como as metodologias para levantamento do inventário.

Dentre elas, entende-se que o volume diário médio (VDM) deste tipo de via é reduzido em comparação ao de uma rodovia. Neste caso, interpreta-se que o âmbito de maior enfoque seja o de conforto ao rolamento, haja vista que as velocidades de rolamento menores e o tráfego reduzido possuem limitado risco no que tange a segurança em decorrência do estado do pavimento.

Ainda, por exigirem menores capacidades estruturais devido ao reduzido volume de veículos, concebe-se que as manutenções presentes neste SGP devam priorizar majoritariamente reparações funcionais para aprimorar o conforto de rolamento e conservações que estendam a vida útil do pavimento, e que não possuam foco em reparos estruturais e interferências de reforço ou incremento de carga, a menos que estritamente necessário.

Além disso, considerando os fatores anteriormente citados de VDM e velocidades reduzidas, não se justifica a aplicação de parâmetros frequentemente adotados em SGPs de rodovias, como ensaios de deflexão e análise de IRI, devido a menor influência desses critérios na segurança deste tipo de tráfego. Ainda, juntamente a vasta rede existente em São Paulo de pavimentos em estados precários e necessitados de intervenção, diminui a viabilidade econômica e de tempo para implementação de ensaios mais complexos.

Deste modo, a proposta consiste na realização da avaliação de manutenção e prioridade de interferência baseada em critérios mais práticos, majoritariamente obtidos por meio de levantamento visual contínuo (LVC) para utilização racional de recursos e objetividade nas medidas que devem realmente ser efetuadas, vide o impacto que as patologias nos pavimentos estão causando no tráfego no tocante a conforto e qualidade de rolamento.

É importante salientar, ainda, que as técnicas de manutenção definidas para implementação em um sistema de gerenciamento de pavimentos dependem diretamente da capacidade da organização responsável no tocante a recursos. Isto é, as técnicas passíveis de implementação podem variar dependendo da região, mesmo se ambos os SGPs forem direcionados para vias com características semelhantes. Nesta análise, cabe avaliação econômica da solução, análise socioeconômica, referente à função e importância das vias, além da análise técnica, que diz respeito à disponibilidade de maquinaria, funcionários, prazo hábil, etc.

Segundo a publicação IPR-745 do DNIT (2011), a análise econômica permite que sejam avaliadas as alternativas de M&R e se constitui numa ferramenta de tomada de decisão, em função de critérios pré-estabelecidos. Nesta análise, devem ser levados em consideração os fatores políticos, econômicos e sociais. A função social de uma rodovia não pode ser desprezada, quando se efetua a análise de relação benefício/custo.

Dentro deste contexto, a Figura 34 demonstra um fluxograma, desenvolvido para ilustrar o procedimento proposto para o SGP.

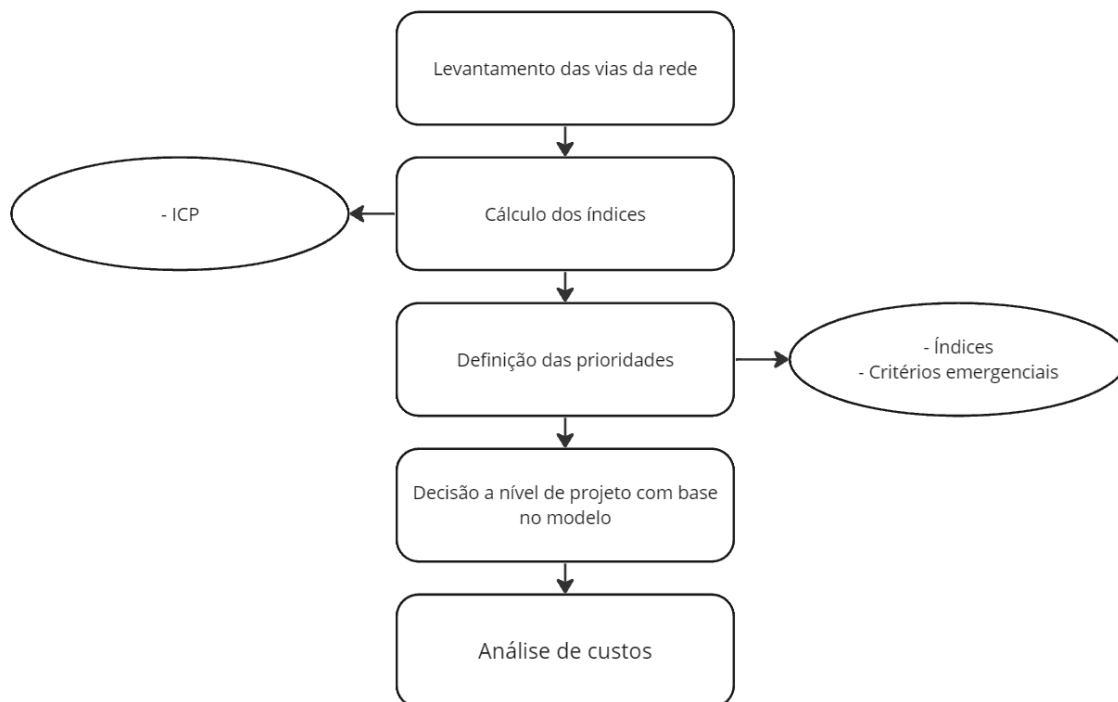


Figura 34: Fluxograma do Sistema de Gerenciamento de Pavimentos proposto

5.3 Inventário e coleta de dados

O SGP proposto consiste em, primeiramente, obter um inventário das vias de interesse a partir do LVC. Tal levantamento será realizado à luz do procedimento DNIT 006 (2003b) e, também, levará em consideração o documento *Pavement Condition Rating System* (ODOT, 2006).

Considerando o descrito na norma DNIT 005/2003 – TER: Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos – Terminologia e na norma DNIT 006/2003 – PRO: Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos – Procedimento, juntamente com o processo de compatibilização com as demais literaturas, posteriormente explicado, adicionado à análise de praticidade e importância, adotam-se as seguintes patologias para avaliação da condição da superfície:

- Trincas longitudinais;

- Trincas transversais;
- Trincas em bloco;
- Trincas tipo “couro de jacaré”;
- Desgaste e polimento superficial;
- Afundamentos;
- Remendos;
- Painelas e buracos.
- Trincas de borda e térmicas

A norma DNIT 006/2003 - PRO define diretrizes para inventariar e classificar as ocorrências aparentes e as deformações permanentes nas trilhas de roda e suas prováveis causas, possibilitando uma avaliação mais aprofundada. Também serve como uma etapa preliminar para determinar a necessidade de uma avaliação estrutural do pavimento e como complemento dessa avaliação, segundo a própria norma.

Contudo, para a avaliação de patologias, a normativa indica que devem ser anotadas as presenças de qualquer ocorrência presente na norma DNIT 005/2003 – TER. Com tais informações, é possível calcular o Índice de Gravidade Global. Contudo, conforme discutido ao longo do trabalho, este índice pode não representar precisamente uma situação urbana, sendo necessários dados complementares de cada defeito para avaliar a severidade e a extensão do defeito.

Portanto, além da observação das patologias, é importante a medição de alguns dados como:

- Área de todas as ocorrências;
- Abertura (no caso de trincas);
- Profundidade (no caso de afundamentos e panelas); e
- Quantidade (no caso de remendos e panelas).

Tais medições foram adotadas a partir do estudo das literaturas e compatibilização de níveis de severidade (abordado no tópico a diante). Isto é, para determinar a severidade das patologias, neste trabalho, utiliza-se as medições mencionadas e isto servirá de fundamento para determinar as ações necessárias.

Além disso, a norma define como superfície de avaliação aquela delimitada pelas bordas da faixa de tráfego e por duas seções transversais, situadas, respectivamente, a 3,00 m antes e 3,00 m após a estação considerada, sendo cada estação situada, nas rodovias de pista simples,

a cada 20m alternados em relação ao eixo da pista de rolamento (40 m em 40 m em cada faixa de tráfego) e nas rodovias com pista dupla, a cada 20 m, na faixa de tráfego mais solicitada de cada pista.

Evidentemente, tal divisão foi elaborada para situações rodoviárias e, portanto, entende-se que em uma aplicação urbana esta delimitação poderia ignorar a presença de defeitos nos trechos não selecionados, bem como diversas vias poderiam possuir poucas estações, resultando em uma amostragem pequena. Em geral, reconhece-se que critérios de amostragem não seriam benéficos para a análise em vias urbanas.

Com isso em mente, e considerando que o método tem como fim ser prático, objetivo e viável, tem-se que considerar uma área de avaliação que siga tais critérios. Para isso, leva-se em conta dois fatores. Primeiramente, vias locais urbanas possuem, muitas vezes, a extensão de um lado de um quarteirão, cerca de 100m. Isso considerando que as vias avaliadas sejam controladas considerando a extensão de um quarteirão, isto é, sendo divididas e limitadas pelos cruzamentos. Desta forma, podem ser controladas pelo nome da rua e a altura, ou seja, os números das residências do trecho (ex: Rua Anacleto 94-221).

Além disso, até mesmo vias com extensões maiores não serão substancialmente maiores que 100m. Ou seja, adotando um trecho de 100m o avaliador é capaz de avaliar totalmente diversas vias e, no caso de vias maiores, a amostragem de 100m de avaliação representa uma extensão satisfatória para apresentar um resultado condizente, visto que inventariar uma via muito longa torna o processo demorado e ineficiente. Em casos onde hajam vias demasiadamente extensas, o avaliador pode dividir a via a partir de um ponto de referência próprio e tratar como duas vias diferentes, por exemplo, como se fossem divididas por um cruzamento.

Para facilitar o levantamento e as medições manuais, propõe-se que o trecho seja dividido em subtrechos de 20m para preenchimento do formulário (proposto adiante). Ainda, para vias mais extensas que 100m, propõe-se a subdivisão em cinco trechos de 20m, totalizando 100m, priorizando o posicionamento dos subtrechos nas áreas com presença de patologias mais graves, como afundamentos e panelas, que podem causar maior distúrbio ao tráfego e, por isso, não podem deixar de compor a análise.

Com o objetivo de facilitar o levantamento do inventário, foi elaborado um formulário auxiliar, apresentado na Figura 35, para preenchimento durante a coleta de dados em campo, de modo a alimentar os dados necessários, tanto para o inventário, como para o futuro cálculo do ICP, definição dos parâmetros de severidade e extensão e, também, para análise da matriz de decisão.

Posteriormente, são anotados os níveis de severidade e extensão, conforme a análise da matriz do ICP e a avaliação final, conforme a matriz de decisão, que serão abordadas a diante.

FORMULÁRIO DE LEVANTAMENTO DE INVENTÁRIO

Identificação da via: _____ Data: _____ Código: _____
 Extensão: _____ Responsável: _____
 Largura: _____ Órgão/Cidade: _____

Defeito	Medida	Trecho 1	Trecho 2	Trecho 3	Trecho 4	Trecho 5	Total			
		Medição	Medição	Medição	Medição	Medição	Medição	Severidade*	Extensão	Nível Deterioração*
Desgaste superficial / Desagregação	Área (m ²)									
Exsudação ou Polimento Superficial	Agregado visível (1)									
	Superfície preta (2)									
Remendos (m²)	Área (m ²)									
	Quantidade (un)									
Desintegração da Superfície / Descolamento / Cavidades	Área (m ²)									
	Profundidade (mm)									
Deficiência na selagem de trincas	(%)									
Afundamentos	Profundidade (mm)									
	Área (m ²)									
Aterros	Quantidade (un)									
Buracos ou "Panelas"	Quantidade (un)									
	Área (m ²)									
	Profundidade (mm)									
Trincas tipo "jacaré" (m²)	Área (m ²)									
	Abertura (mm)									
Trincas em bloco (m²)	Área (m ²)									
	Abertura (mm)									
Trincas transversais (m²)	Área (m ²)									
	Abertura (mm)									
Trincas longitudinais (m²)	Área (m ²)									
	Abertura (mm)									
Trincas nas bordas	Área (m ²)									
	Abertura (mm)									
Trincas térmicas	Área (m ²)									
	Abertura (mm)									

*Severidade (B/M/A) com base no ICP, e nível de deterioração do pavimento (1-10)

Observações:	Croqui:									Anotações:
									Assinatura: _____	

Figura 35: Formulário proposto para o levantamento em campo

5.3.1 Métodos de medição

Segundo a norma NORMA DNIT 433/2021-PRO, o levantamento do percentual de área trincada envolve a consideração de todos os tipos de trincas, sejam elas isoladas, transversais, longitudinais ou interligadas de fadiga, sem diferenciação. O trecho é dividido longitudinalmente utilizando como referência o estaqueamento físico determinado para o trecho e transversalmente subdividido em faixas de rolamento, que são divididas em três subfaixas transversais (central, interna e externa), e formando retângulos de 2 metros na longitudinal.

Qualquer trincamento observado compromete toda a área do retângulo avaliado, que é considerado completamente trincado. O percentual de área trincada ($AT\%$) é calculado pela proporção entre o número de retângulos (células) com a presença de trincas e o número total de retângulos no segmento monitorado.

Evidentemente, tal metodologia pode ser de execução operosa, resultando em tempos elevados para a aferição para demarcar e avaliar cada faixa de rolamento. Além disso, grande parte de vias locais urbanas não apresentam demarcação de divisão de faixa de rolamento, dificultando a demarcação.

Assim, entende-se que uma forma mais prática e conveniente para medição da área, e a metodologia proposta no âmbito do trabalho, seja a partir da utilização de um gabarito e trenas. No caso da área de afundamentos, painelas, desgastes e remendos, a área pode ser medida através da medição de seus lados, simplificando para um formato retangular. No caso de trincas, pode-se estimar a área de influência e, a partir do apoio do gabarito, determinar a medida.

Não obstante, no caso das trincas, é necessário para a obtenção dos graus de severidade a medição de suas aberturas. Para isso, convém-se utilizar um fissurômetro ou até mesmo uma régua milimetrada.

Ainda segundo a norma DNIT 433/2021-PRO (DNIT, 2021), para determinar o afundamento de trilha de roda, as medições devem ser realizadas em milímetros, com um espaçamento de 10 metros ao longo do trecho avaliado, utilizando uma trelça. As medições devem ser feitas nas trilhas de roda interna (TRI) e externa (TRE), movendo a trelça transversalmente dentro da trilha até obter a leitura máxima.

Naturalmente, com o escopo de tornar a medição mais prática e reduzir a dependência de instrumentação, entende-se que o posicionamento de um gabarito plano sobre o afundamento e a medição, com auxílio de uma régua milimetrada, do fundo do defeito até o gabarito atende ao critério necessário.

5.4 Priorização

Segundo a publicação IPR-745 (DNIT, 2011), as análises de priorização são essenciais para otimizar a alocação de recursos, visando maximizar benefícios ou minimizar custos dentro das

restrições orçamentárias. Para isso, é necessário estabelecer procedimentos objetivos que reduzam ao mínimo as subjetividades no processo de priorização.

Desta forma, propõe-se a utilização do cálculo do ICP objetivo, pois entende-se que este índice fornecerá um critério lógico e imparcial a ser utilizado para a análise da priorização das vias. A metodologia de cálculo do ICP foi preferida em relação ao cálculo do Índice de Gravidade Global (IGG), índice proposto pelo DNIT 006 (2003b), pois este está projetado para a aplicação em rodovias, analisando em critério de amostras e, desta forma, entende-se que seu resultado pode ser afetado, não sendo representativo quando aplicado em vias urbanas. Assim, será utilizado para este trabalho uma adaptação realizada a partir das diretrizes do procedimento descrito em ODOT (2006), que foi tratado e desenvolvido ao longo do capítulo 2.3.2.4 deste trabalho.

Desta forma, propôs-se o seguinte formulário (Figura 36), para tratativa conjunta com o formulário de inventário, que possibilitará a definição da severidade e extensão dos defeitos, bem como calcular o ICP posteriormente.

Para obter o ICP, é necessário preencher o formulário com os dados obtidos no levantamento da via. Com os dados preenchidos, obtém-se, para cada patologia, um fator numérico pelo qual se deve multiplicar o peso de cada patologia. Este cálculo resultará em “pontos de dedução”. Estes pontos devem ser descontados de um valor total de “100”, resultando no valor final do ICP.

ICP - NÍVEIS DE SEVERIDADE E EXTENSÃO

TIPO DE DETERIORAÇÃO	Peso	GRAVIDADE*			EXTENSÃO**			ESTADO***
		B	M	A	O	F	E	
Desagregação	10	Ligeira perda de areia	Textura aberta	Áspero ou esburacado	<20%	20-50%	>50%	
Exsudação	5	Não avaliado	Agregado e betume visíveis	Superfície preta	<10%	10-30%	>30%	
Remendos	5	<0,09 m ²	<0,84 m ²	>0,84 m ²	<6/km	6-12/km	>12/km	
Desintegração da Superfície / Descolamento / Cavidades	5	Profundidade <25 mm, área <0,84 m ²	<25 mm, >0,84 m ² ; >25 mm, <0,84 m ²	>25 mm e >0,84 m ²	<3/km	3-6/km	>6/km	
Deficiência na selagem de trincas	5	Não considerado			<50%	>50%	Sem selante	
Afundamento	10	3-10 mm	10-19 mm	>19 mm	<20%	20-50%	>50%	U
Aterros	0	Efeito notável na viagem	Algum desconforto	Má viagem	<1,2/km	1,2-2,5/km	>2,5/km	
Buracos ou "Panelas"	10	profundidade <25 mm, área <0,84 m ²	<25 mm, >0,84 m ² ; >25 mm, <0,84 m ²	>25 mm e >0,84 m ²	<3/km	3-6/km	>6/km	U
Trincas nas trilhas das rodas	15	Trincas simples/múltiplas <6 mm	Trincas múltiplas >6 mm	Trincamento em "couro de jacaré" >6 mm com fragmentação	<20%	20-50%	>50%	U
Trincas em bloco e transversais	10	>1,8 m x 1,8 m ou trincas transversais	1,8 m x 1,8 m a 0,9 m x 0,9 m	<0,9 m x 0,9 m	<20%	20-50%	>50%	
Trincas longitudinais	5	Simple, <6 mm, sem fragmentação	Simple/múltiplas 6-25 mm, alguma fragmentação	Múltiplas, >25 mm, com fragmentação	<15 m por 30 m	15-45 m por 30 m	>45 m por 30 m	U
Trincas nas bordas	10	Abertas, <6 mm	>6 mm, alguma fragmentação	>6 mm, fragmentação moderada	<20%	20-50%	>50%	U
Trincas térmicas	10	<6 mm	6-25 mm	>25 mm	CS > 60 m	CS 22,5-60 m	CS <22,5 m	

Código:

***Defeitos inclusos no calculo de deduções estruturais

ICP - FATORES DE PONDERAÇÃO DO ÍNDICE DE CONDIÇÃO DO PAVIMENTO

TIPO DE DETERIORAÇÃO	Peso	PESO DE GRAVIDADE*			PESO DE EXTENSÃO			PONTOS DE DEDUÇÃO*	ESTRUTURAL
		B	M	A	O	F	E		
Desagregação	10	0,3	0,6	1	0,5	0,8	1		
Exsudação	5	0,8	0,8	1	0,6	0,9	1		
Remendos	5	0,3	0,6	1	0,6	0,8	1		
Desintegração da Superfície / Descolamento / Cavidades	5	0,4	0,7	1	0,5	0,8	1		
Deficiência na selagem de trincas	5	1	1	1	0,5	0,8	1		
Afundamento	10	0,3	0,7	1	0,6	0,8	1	T	
Aterros	0	0	0	0	0	0	0		
Buracos ou "Panelas"	10	0,4	0,8	1	0,5	0,7	1	T	
Trincas nas trilhas das rodas	15	0,4	0,7	1	0,5	0,7	1	T	
Trincas em bloco e transversais	10	0,4	0,7	1	0,5	0,7	1		
Trincas longitudinais	5	0,4	0,7	1	0,5	0,7	1	T	
Trincas nas bordas	10	0,4	0,7	1	0,5	0,7	1	T	
Trincas térmicas	10	0,4	0,7	1	0,5	0,7	1		

*B = BAIXA
M = MÉDIA
A = ALTA

**O = OCASIONAL
F = FREQUENTE
E = EXTENSIVA

Dedução Total =
Soma de dedução estrutural =
100 - Dedução Total = ICP =

Figura 36: Formulário proposto do ICP

5.5 Proposta de matriz de decisão

Na aplicação do método, após definidas as prioridades através do ICP, seria realizada a análise a nível de projeto da via mais crítica utilizando uma matriz de decisão que relaciona os defeitos levantados em campo com as manutenções a serem aplicadas.

O primeiro passo realizado foi o estudo de defeitos e suas causas no capítulo 3. Com base neste estudo, elaborou-se a Tabela 12 para melhor capacidade analítica no tocante aos defeitos e suas causas. Tais defeitos foram selecionados devido ao impacto possível na vida útil do pavimento e na qualidade de rolamento. Além disso, foram considerados defeitos frequentes em pavimentos flexíveis, baseados na norma do DNIT 005/2003 e DNIT 006/2003 para melhor objetividade de classificação.

Em seguida, foi realizada uma revisão bibliográfica para identificar as técnicas de M&R, desenvolvida no capítulo 4, aplicáveis a cada defeito apresentado na Tabela 13, considerando os níveis de severidade. As técnicas de M&R foram classificadas conforme suas finalidades, compatibilizando informações para representar adequadamente as vias urbanas brasileiras

Tabela 12: Patologias em pavimentos flexíveis e suas causas

Nomenclatura DNIT 005/2003			Definição	Causas
Trincas no revestimento geradas por deformação permanente excessiva e/ou decorrentes do fenômeno de fadiga	Trincas Isoladas	Transversais	São defeitos na superfície do pavimento que enfraquece o revestimento e possibilita a entrada de água, resultando em um enfraquecimento adicional da estrutura. Uma vez iniciada, a trinca tende a se estender e se agravar ao longo do tempo, eventualmente levando à degradação do revestimento (DNIT, 2006a)	Umidificação da base devido à infiltração de água pelos acostamentos desprotegidos, combinada com o impacto do tráfego (Bernucci et al., 2008).
		Longitudinais		Falhas executivas Recalques diferenciais, Juntas longitudinais mal executadas em diferentes frentes de compactação Envelhecimento do ligante asfáltico (Bernucci et al., 2008).
	Trincas Interligadas	“Jacaré”		Ação repetida das cargas do tráfego; Envelhecimento do ligante asfáltico e perda de flexibilidade Compactação inadequada do revestimento Subdimensionamento da estrutura do pavimento Rigidez excessiva do revestimento em estruturas com alta deflexão. Reflexão de trincas de natureza semelhante. Recalques diferenciais (Bernucci et al., 2008)
Trincas no revestimento não atribuídas ao fenômeno de fadiga	Trincas Isoladas	Devido à retração térmica ou dissecação da base (solocimento) ou do revestimento		Reflexão de trincas pré-existentes; Contração do pavimento causada pelo frio extremo (Bernucci et al., 2008)
	Trincas Interligadas	“Bloco”		Reflexão das fissuras da base (Bernucci et al., 2008)

Nomenclatura DNIT 005/2003	Definição	Causas
<p style="text-align: center;">Afundamento plástico</p>	<p>Deformação permanente que se manifesta como uma depressão na superfície do pavimento, com ou sem levantamento, podendo assumir a forma de afundamento plástico ou de consolidação (DNIT, 2003a)</p>	<p>Esforços suficientes para causar cisalhamento, resultando em deslizamentos no interior do material.</p> <p>Cargas concentradas ou pressões excessivas que excedem a resistência ao cisalhamento dos materiais</p> <p>Carregamentos estáticos ou de longa duração</p> <p>Um grande número de repetições de cargas de pressões reduzidas ao longo do tempo (DNIT, 2006a)</p>
<p style="text-align: center;">Afundamento por consolidação</p>		<p>Falhas de compactação durante o processo de construção</p> <p>Drenagem inadequada (acúmulo de água e eventualmente causando rupturas por cisalhamento localizadas conforme o movimento e a carga do tráfego)</p> <p>Densificação ou ruptura por cisalhamento das camadas subjacentes ao revestimento</p> <p>Descolamento da película de asfalto junto ao agregado (stripping) (Bernucci et al., 2008)</p>
<p style="text-align: center;">Escorregamento</p>	<p>Deslocamento do revestimento em relação à camada subjacente do pavimento, resultando no surgimento de fendas em forma de meia-lua (DNIT, 2003a).</p>	<p>Fluência resultante do excesso de ligante</p> <p>Observado próximo às depressões localizadas, às trilhas de roda e às bordas dos pavimentos (Bernucci et al., 2008).</p>
<p style="text-align: center;">Exsudação</p>	<p>Este defeito é caracterizado pela presença excessiva de ligante betuminoso na superfície do pavimento, causada pela migração do ligante através do revestimento (DNIT, 2003a).</p>	<p>Falhas de dosagem que resultam em excesso de ligante</p> <p>Segregação da massa, onde há concentração de ligante em alguns pontos e falta em outros</p> <p>Cravamento de agregados na base que pode levar à ascensão do ligante à superfície do</p>

Nomenclatura DNIT 005/2003	Definição	Causas
		pavimento (Bernucci et al., 2008).
Desgaste	Ocorrência resultante da remoção gradual de agregados do pavimento, evidenciada pela rugosidade da superfície do revestimento, causada por forças tangenciais geradas pelo tráfego (DNIT, 2003a), ou também resultante da perda de mástique junto aos agregados (Bernucci et al., 2008).	Falhas na adesividade entre o ligante e o agregado Presença de água aprisionada e à sobrepressão nos vazios da camada de revestimento, levando ao descolamento do ligante Deficiência no teor de ligante Problemas executivos: segregação da massa asfáltica. (Bernucci et al., 2008)
“Painéis” ou buracos	Uma cavidade formada no revestimento devido a várias causas, incluindo a falta de adesão entre camadas sobrepostas, o que leva ao deslocamento dessas camadas e pode atingir as camadas inferiores do pavimento, resultando na desagregação dessas camadas (DNIT, 2003a).	Excesso de carga por eixo dos veículos; Deficiência de projeto; Deficiências construtivas; e Ação da água devido a infiltração. (DNIT, 2006a)
Remendos	Processo de preenchimento de uma ou mais cavidades no pavimento, geralmente através da operação conhecida como "tapa-buraco", isto é, refere-se ao processo de preenchimento de painéis, buracos ou qualquer outra depressão no pavimento utilizando massa asfáltica. (DNIT, 2003a)	Embora seja uma medida de manutenção, é considerado um defeito, pois indica uma área de fragilidade no revestimento e pode prejudicar o conforto ao dirigir (Bernucci et al., 2008)

Tabela 13: Técnicas de M&R para pavimentos flexíveis

Classificação	Descrição	Técnicas de M&R	Descrição
Conservação Rotineira	Operações para reparar ou sanar defeito para propiciar conforto e segurança ao rolamento (DNIT, 2005)	Selagem de trincas	Fornecer uma barreira através da aplicação de uma camada asfáltica selante para reduzir ou eliminar a infiltração de água da superfície do pavimento e, assim, evitar defeitos relacionados a umidade (MERO, 2013).
		Remendos superficiais	Os remendos são realizados utilizando misturas betuminosas. Técnica utilizada para corrigir vários tipos de defeitos em revestimentos asfálticos, principalmente para preencher os buracos causados pela deterioração natural ou escavações preparadas antecipadamente. (DNIT, 2006a)
		Preenchimento de Trincas	O preenchimento de fissuras é o processo de colocação de material em fissuras de trabalho/não trabalho para reduzir substancialmente a infiltração de água. O preenchimento de rachaduras é caracterizado pela preparação mínima das rachaduras e pelo uso de materiais de preenchimento betuminosos (MnDOT, 2020).
Conservação Preventiva Periódica	Operações periódicas para evitar surgimento ou agravamento de defeitos (DNIT, 2005)	Tratamento Superficial	O tratamento consiste na aplicação do ligante asfáltico sobre a base, seguida de distribuição de agregado, e sua compactação (DER/SP, 2006d). Sua aplicação proporciona uma camada resistente ao desgaste, alta flexibilidade e melhora a aderência (Ceratti, 2015)
		Pré misturado a frio (PMF)	São constituídos por emulsões asfálticas com baixa viscosidade, utilizados como camada de base de pavimentos e recomendados para regularização de pavimentos existentes. (Balbo, 2007)
		Lama asfáltica	As lamas asfálticas são essencialmente uma mistura fluida de agregados minerais, material de enchimento ou fíler. Possui características impermeabilizantes e promove aderência ao rolamento. São utilizadas na manutenção de pavimentos em patologias superficiais como fissurações (Ceratti, 2015)
		Microrrevestimento asfáltico	Mistura asfáltica usinada composta por agregados minerais, fíler, água e emulsão modificada com polímero. Utilizado para recuperação funcional de pavimentos deteriorados, restaurando as condições de atrito superficial, preenchendo trilhas de roda pouco profundas originadas da camada de rolamento e corrigindo pequenas panelas e desgastes superficiais (Ceratti, 2015).

Classificação	Descrição	Técnicas de M&R	Descrição
		Fresagem	O preenchimento de fissuras é o processo de colocação de material em fissuras de trabalho/não trabalho para reduzir substancialmente a infiltração de água. O preenchimento de rachaduras é caracterizado pela preparação mínima das rachaduras e pelo uso de materiais de preenchimento betuminosos (DNIT, 2005).
		Recapeamento com mistura asfáltica	Consiste na execução de uma camada de revestimento delgada. Introduce melhorias na serventia do pavimento sem adição de aporte estrutural (DNIT, 2005)
		Reciclagem	A reciclagem in loco escarifica e processa o pavimento existente no local, adicionando ligante e aditivos, e reposiciona o material processado. Esse processo reutiliza misturas asfálticas antigas junto com novos insumos como agregados, ligantes novos, asfalto espuma e aglomerantes hidráulicos para produzir novas misturas asfálticas (MERO, 2013; Ceratti, 2015)
		Fresagem e recapeamento	Realizada para remover pavimentos danificados antes da aplicação de um novo revestimento asfáltico, especialmente em áreas com remendos deteriorados, depressões, trincas e outros defeitos (DER/SP, 2006b)
Reabilitação	Restaurar a integridade estrutural de um ativo, bem como trabalhos que podem ser necessários para corrigir defeitos de segurança significativos (ODOT, 2019)	Remendo Profundo	Usados para reparos mais duradouros, exigindo a remoção do material danificado até uma profundidade que estabeleça uma base sólida, às vezes incluindo parte do subleito (DNIT, 2006a).
Reconstrução	Aperfeiçoamentos que estendem vida útil do pavimento ou melhora suas características (DNIT, 2005)	Substituição do pavimento	Utilizado em pavimentos com deteriorações severas, com necessidade de reparo extensivo da base (FWHA, 1997)
		Reconstrução com tratamento antirreflexão de trincas	Utilizado para retardar ou eliminar a reflexão de fendas, intervir sobre o pavimento antigo de forma a reduzir ou eliminar os movimentos das fendas. Pode-se aumentar a espessura das camadas de reforço, utilizar misturas resistentes ao fendilhamento, ou utilizar sistemas antirreflexão de fendas (como mantas) (CEPSA, 2010).

Tradicionalmente, para embasar as decisões e gerar um programa de gerenciamento, o Manual de Gerência de Pavimentos do DNIT (2011) apresenta alguns programas de manutenção adotados para exemplificação das análises de programas, que são frequentemente utilizados para definir o momento de atuação em uma via. Esta publicação cita o seguinte programa (Tabela 14):

Tabela 14: Modelo de programa de gerenciamento (DNIT, 2011)

Programa 1 - Tapa-Buracos e Selagem de Trinca	
Tapa-Buraco	Nº buracos \geq 10/km
Selagem de Trinças	trinças \geq 10%

A publicação IPR-745 do DNIT (2011) ainda apresenta o seguinte exemplo de padrões de manutenção utilizados para análises no software HDM-4:

- Executar manutenção de rotina, incluindo limpeza e conservação dos acostamentos e sinalização todo ano, a um determinado custo por km;
- Tapar 80% dos buracos, toda vez que atingir a quantidade de cinco buracos por km, a um determinado custo por m²;
- Efetuar recapeamento com 60 mm de CBUQ, quando a área trincada atingir 35% da área pavimentada e/ou a irregularidade atingir o valor de IRI=3,5.

Como anteriormente discutido, os sistemas de gerenciamento existentes possuem foco em pavimentos rodoviários. Para o escopo deste trabalho, principalmente tratando-se de uma análise de projeto, ou até uma pequena rede, os parâmetros existentes na literatura são excessivos comparado com o plausível de pavimentos urbanos em pequenas redes.

Como exemplo, salienta-se o parâmetro de 10 buracos por km para execução de uma operação de tapa buracos. A nível de projeto, há pavimentos de poucas centenas de metros ou menos nos quais este parâmetro é inviável. Ainda, a utilização de IRI como parâmetro dificulta a aplicação pela necessidade de ensaios mais profundos para a tomada de decisão.

Desta forma, como anteriormente discutido, é proposto neste trabalho a utilização de defeitos, avaliando critérios de severidade e extensão para embasar as decisões de manutenção.

Para a avaliação das M&R, parâmetros de severidade e extensão e classificações, foi realizado um levantamento na bibliografia e estudos de manuais e documentos oficiais de departamentos de transportes internacionais que realizam gerenciamento de pavimentos: FHWA (1997); SDDOT (2021); SDDOT (2023); Caltrans (2007); MnDOT (2011); MnDOT (2020); ODOT (2006); e um livro técnico de Ceratti et al. (2015) de modo a fundamentar o trabalho em práticas testadas e usuais por grandes instituições.

Primeiramente, comparou-se as técnicas de M&R's adotadas para cada tipo de defeito e adotou-se a técnica tanto com base em frequência de recomendação, bem como em suas aplicações e limitações, considerando a matriz final, representada na Figura 37.

Defeitos	Níveis de Severidade	Não Fazer Nada	Preenchimento de trincas	Selagem de Trincas	Tratamento Superficial (TS)	Revestimentos Superficiais	Microrrevestimento	Recapeamento fino com CAUQ	Microfresagem (+ Remendo Superficial)	Remendo Profundo	Fresagem	Reciclagem base + recapeamento	Recapeamento com CAUQ + tratamento antirreflexão de trincas
Trincas Transversais	Baixa	③	① ③	① ② ③ ④	① ④	① ④ ②	① ② ④		①				
	Média		① ③	① ② ③	③ ④	③ ④ ①	④	② ④		④	④		
	Alta		③	③				③	①		④	④	④
Trincas Longitudinais	Baixa	③	① ③	① ② ③ ④	④	① ② ④	② ④		①				
	Média		① ③	② ③	④	① ④	④	② ④		④	④		
	Alta		③	③				③		③	④	④	④
Trincamento em Bloco	Baixa	③	① ③	① ③	① ③	① ③	①		①	④	④		
	Média		① ③	① ③	③	③		③ ④			④	④	
	Alta							③			④		④
Trincas por Fadiga (jacaré)	Baixa	③	③	③	② ③	② ③	②	②		④	④		
	Média		③	② ③	③	② ③		② ③ ④			④	④	
	Alta							③	②		④		④
Afundamento	Baixa	③					① ②	②	① ④				
	Média	③					① ②	② ③ ④					
	Alta				③		②	② ③			③	④	
Desagregação	Baixa	③			① ② ④	① ② ④ ③	① ④	② ④	①				
	Média				① ② ③	① ② ③	①	② ④					
	Alta				② ③	② ③		② ③		③	④	④	
Remendos	Baixa	③			③	① ③							
	Média				③	③					③		
	Alta							③					
Polimento	Baixa						④	④	②				
	Média							④	② ④				
	Alta							② ④	② ④	④			
Panela ou buraco	Baixa							④		③ ④			
	Média							④		③	④		
	Alta							③		③		④	

M&R adotado

MnDOT (2011, 2020) ①
 Caltrans (2007) ②
 SDDOT (2021, 2023) ③
 Ceratti (2015) ④

Figura 37: Comparativo de técnicas de M&R

Para a classificação de severidade (baixa, média ou alta), notou-se que não há um critério padrão. Isto é, há uma grande variação entre as fontes no quesito de sugestões de técnicas mais eficientes para cada severidade de defeito. Assim, foram analisados diversos parâmetros para determinar a severidade ou extensão dos defeitos e diferentes critérios para demonstrar efetividade e combinações de tratamentos. Além disso, há variação na gama de defeitos considerados e técnicas de M&R utilizadas.

No tocante aos parâmetros de severidade, a maior parte das fontes apresenta critérios apenas para trincamentos e consideram diferentes critérios de medidas e características visuais de estado.

Os fatores acima observados contribuem para grande variedade e diversidade de sugestões de técnicas de M&R no quadro comparativo, além de que cada fonte consultada se dispõe de objetivos próprios. Isto é, certas fontes sujeitam-se a sugerir técnicas específicas para cada defeito, enquanto outras tem como objetivo sugerir gamas maiores de técnicas e classificá-las como mais efetivas ou viáveis para determinadas situações. Além disso, as fontes por terem diferentes escopos e nacionalidades, possuíam diferentes terapias analisadas.

Em relação às técnicas de M&R, tem-se como exemplo a consideração de tratamentos antirreflexão de trincas apenas por parte de Ceratti et al. (2015). Além disso, fatores como a diferença de apresentação, combinações de atividades e variações de técnicas semelhantes atrapalham a eficiência da análise.

Visando contornar esta situação, no que tange a técnicas de M&R, adaptou-se a tabela para comportar o máximo de informações, contudo, simultaneamente, foram agrupadas certas técnicas como “revestimentos superficiais” que englobam vários tipos de tratamentos realizados superficialmente como lama asfáltica, *fog seal*, *slurry seal*, etc e considerou-se na matriz final tais revestimentos como lama asfáltica, pois entende-se que esta técnica atenderia as situações para as quais seria indicada.

A seguir, tem-se um quadro matriz de técnicas de manutenção da *Materials Engineering And Research Office* (MERO, 2013). Nota-se, todavia, a generalidade das sugestões de manutenção no tocante aos graus de severidade que a dos defeitos. Neste trabalho, buscou-se estruturar um sistema no qual considerasse melhores soluções considerando o estado de severidade do defeito, uma vez que este fator é crucial para determinar a efetividade da solução aplicada.

Tabela 15: Matriz de decisão para pavimentos flexíveis de MERO (2013)

Atividade de Tratamento		Prevenção de Infiltração de Água	Danos Severos Localizados	Desagregação, ou Baixa Resistência ao Deslizamento	Qualidade da Rodagem	Deterioração Ambiental	Capacidade Estrutural e Tráfego
Manutenção de rotina	Reparo de buracos	●	◆		●	●	
	Manutenção de acostamento					●	●
	Manutenção de drenagem	●	○				
	Remendo com emulsão asfáltica	◆	●	○	●		
	Reparo de distorções localizadas	●	●			●	
Reabilitação / Preservação	Selagem de trincas e juntas	●			●	●	
	Reparo com mistura asfáltica quente	●	●		●		○
	Selagem superficial			◆	●	●	○
	Texturização			●	●		○
	Reparo de faixas de asfalto / remendo profundo	●	○		●		○
	Recapeamento com mistura asfáltica quente		●	○	●		●
	Remoção de camada superficial e recapeamento		●	●	●		○
	Reciclagem in situ	●			●	●	●

,onde:

- = Melhorias Significativa;
- ◆ = Melhorias Moderadas;
- = Melhorias Limitadas.

Nota-se que a fonte se baseia na natureza da problemática que aflige o pavimento. Contudo, em uma aplicação prática, entende-se que ao encontrar um “dano severo localizado”, por exemplo, o avaliador se depararia com diversas opções de reparo e, portanto, não haveria uma solução de imediato.

Desta forma, como este trabalho visa tornar a avaliação prática, objetiva e eficiente, e como a principal problemática de pavimentos urbanos são as patologias, buscou-se compor a matriz de forma a avaliar criteriosamente e objetivamente os defeitos, de modo a retornar como opção de solução a técnica mais apropriada para a situação avaliada. Entende-se, portanto, a necessidade de avaliar os defeitos e suas severidades.

Contudo, como discutido anteriormente, deparou-se com grande variação de critérios para determinar a severidade dos defeitos durante os estudos da literatura, além da grande variação de decisão de técnicas escolhidas para cada defeito. Deste modo, foram adotadas mais classificações de severidade, além do convencional “baixa, média e alta”.

Os nomeados “níveis de deterioração” são baseados no grau de deterioração do pavimento. Para esta classificação, foram estudados os critérios documentados em *Asphalt Roadway Rehabilitation Alternatives* da *Federal Highway Administration* (FHWA, 1997) e passaram a comportar grupos de defeito em grau de severidade e extensão, conforme comparação entre as fontes e julgamento próprio para aplicação urbana.

A base presente no documento classifica os defeitos em níveis em uma escala de 0 a 10, conforme uma série de características e, ainda, define as técnicas de manutenções para cada nível de severidade. Abaixo, apresenta-se uma tabela criada a partir do documento e adaptada de forma a se compatibilizar com o projeto. Assim, a Tabela 16 refere-se aos níveis de deterioração e as técnicas associadas.

Tabela 16: Níveis de deterioração adotados x técnica de reabilitação

Nível	Avaliação	M&R
10	Nova construção	Não fazer nada
9	Reabilitação recente, condições semelhantes a um novo pavimento	Não fazer nada
8	Revestimento recente ou aplicação recente de nova camada asfáltica	Não fazer nada
7	Primeiros sinais de envelhecimento	Não fazer nada / Preenchimento de trincas
6	Sinais de envelhecimento, mas boas condições estruturais	Selagem de trincas / Microrevestimento/ Lama Asfáltica
5	Envelhecimento mais graves da superfície, mas boas condições estruturais	Microrevestimento / Lama Asfáltica / Recapeamento
4	Envelhecimento significativo e primeiros sinais de necessidade de reforços	Reciclagem ou remendo superficial
3	Camada de revestimento comprometida	Remendo profundo ou reciclagem total
2	Deterioração severa	Reconstrução e reparo da base
1	Falha	Reconstrução total

O pavimento analisado será enquadrado nos níveis de deterioração e este nível, por sua vez, indicará a terapia a ser aplicada. A definição da categoria será obtida a partir das diretrizes da

matriz de decisão final proposta, apresentada posteriormente.

O racional por trás da adoção de 10 classificações de deterioração está no enquadramento mais minucioso e preciso, o que se entende ser necessário nas vias urbanas e quando avaliando defeitos por si só. Como exemplo, nota-se como dependendo do grau de envelhecimento, vide níveis 5 e 4, a terapia passa de um tratamento de superfície para a remoção e substituição de parte do revestimento existente.

Com o objetivo de adotar para o trabalho um critério único de severidade, foram estudadas fontes de órgãos internacionais gerenciadores de pavimentos. O estudo havia como fim a comparação e adaptação para utilização urbana.

A seguir, tem-se quadros realizados a partir da documentação analisada que serviram como base para a definição dos critérios adotados. Primeiramente, observa-se a Tabela 17 com os dados obtidos do documento *Visual Distress Survey Manual* do órgão *South Dakota Department Of Transportation* (SDDOT, 2023).

Tabela 17: Critérios de severidade e extensão de defeitos do SDDOT (2021)

Defeitos	Severidade			Extensão			
	BAIXA	MÉDIA	ALTA	BAIXA	MODERADA	ALTA	EXTREMA
Trincas Transversais	Largura da trinca não selada < 6,35 mm Largura da trinca selada < 19,05 mm Sem depressão da trinca	Largura da trinca não selada > 6,35 mm, < 25,4 mm Largura da trinca selada > 19,05 mm < 25,4 mm Depressão da trinca < 6,35 mm	Trinca com largura > 25,4 mm Depressão da trinca > 6,35 mm	Espaçamento médio das trincas maior que 15,24 metros (50 pés)	Espaçamento médio das trincas < 15,24 metros, > 7,62 metros	Espaçamento médio das trincas < 7,62 metros e > 3,66 metros	Espaçamento médio das trincas < 3,66 metros
Trincas por Fadiga	Trincas finas e paralelas na(s) trilha(s) das rodas	Padrão de trincas do tipo "jacaré" claramente desenvolvido	Padrão de trincas do tipo "jacaré" claramente desenvolvido com descamação e distorção	1% a 9% da trilha das rodas afetada	10% a 24% da trilha das rodas afetada	25% a 49% da trilha das rodas afetada	Mais de 49% da trilha das rodas afetada
Trincamento em Bloco	Trincas longitudinais aleatórias entre as trilhas de roda, ou trincas transversais e longitudinais interconectadas que formam blocos maiores que 1,83 metros por lado.	Trincas transversais e longitudinais interconectadas que formam blocos de 0,91 a 1,83 metros por lado,	Trincas transversais e longitudinais interconectadas que formam blocos de menos de 0,91 metros por lado,	1 a 9% da seção	10 a 49% da seção	Mais de 49% da seção	-
Remendos	O remendo não apresenta qualquer tipo de deterioração visual e proporciona uma superfície de rolagem suave.	O remendo apresenta deterioração de baixa ou média severidade e/ou rugosidade perceptível.	O remendo exibe deterioração de alta severidade e/ou rugosidade distinta.	1 a 9% da seção é afetada	10 a 24% da seção é afetada	25 a 49% da seção é afetada	Mais de 49% da seção é afetada

Em seguida, apresenta-se os critérios obtidos no documento *Pavement Distress Identification*

Manual do *Minnesota Department Of Transportation* (MnDOT, 2011) na Tabela 18.

Tabela 18: Critérios de severidade de defeitos do MnDOT (2011)

Defeitos	Severidade		
	BAIXA	MÉDIA	ALTA
Trincas Transversais	Qualquer trinca, > 1,83 metros de comprimento, incluindo trincas que se desviam em uma junção com uma trinca longitudinal, sem trincas aleatórias. Trinca selada em boas condições	Trinca transversal à linha central da via, com trincas aleatórias de baixa severidade adjacentes a menos de 30,48 cm de distância. Pequena quantidade de remendos ou estalos Trincas que foram reparadas com materiais de mistura quente	Trinca com trincas aleatórias adjacentes significativas (30,48 cm ou mais de distância) Grandes áreas de esfarelamento Material faltante e/ou buracos.
Trincas Longitudinais	Única trinca \geq 0,91 metros de comprimento, sem trincas aleatórias, Trinca que foi fresada e selada em boas condições	Trinca com trincas aleatórias de baixa severidade adjacentes a menos de 30,48 cm de largura Pequena quantidade de remendos ou estalos Trincas que foram reparadas com materiais de mistura quente em boas condições	Trinca com trincas aleatórias adjacentes significativas (30,48 cm ou mais de distância) Grandes áreas de esfarelamento Material faltante e/ou buracos.
Fissuras de Junta	Única trinca \geq 0,91 metros de comprimento, sem trincas aleatórias, Trinca que foi fresada e selada em boas condições	Trinca com trincas aleatórias de baixa severidade adjacentes a menos de 30,48 cm de largura Pequena quantidade de remendos ou estalos Trincas que foram reparadas com materiais de mistura quente em boas condições	Trinca com trincas aleatórias adjacentes significativas (30,48 cm ou mais de distância) Grandes áreas de esfarelamento Material faltante e/ou buracos.

Nota-se, todavia, a ausência de critérios de extensão, no caso do manual do MnDOT que, apesar de abordar diversos defeitos e métodos de identificação, apresenta critérios de severidade apenas para trincas e fissuras de junta. Ademais, as fontes não abordam todos os defeitos existentes e, ainda, não abordam os mesmos defeitos entre si.

Tendo isto em vista, a Tabela 19 demonstra um exemplo, no caso da comparação de trincas transversais e longitudinais entre as fontes no quesito critério de severidade, classificando os defeitos em severidade “baixa”, “média” e “alta”, e o racional utilizado para compor a matriz de decisão.

Tabela 19: Comparação entre graus de severidade

Defeito	Referência	Baixa	Média	Alta
Trincas Transversais/Longitudinais	SSDOT	< 6,35 mm	> 6,35 mm, < 25,4 mm	>25,4 mm
	MnDOT	> 1,83 metros de comprimento, sem trincas aleatórias.	Trincas aleatórias de baixa severidade adjacentes a menos de 30,48 cm de distância. Pequena quantidade de remendos ou estalos	Trinca com trincas aleatórias adjacentes significativas (30,48 cm ou mais de distância)
	ODOT	Simples, <6 mm, sem fragmentação	Simples/múltiplas 6-25 mm, alguma fragmentação	Múltiplas, >25 mm, com fragmentação

Por sua vez, a Tabela 20 apresenta as adaptações realizadas nos critérios de nível de deterioração, adaptados a partir das diretrizes presentes em FHWA (1997) no caso das trincas a partir das diversas fontes estudadas, visando a melhor adaptação para compor o produto final.

Tabela 20: Critérios adotados em trincas isoladas

Classificação	Revestimento recente ou aplicação recente de nova camada asfáltica	Primeiros sinais de envelhecimento	Sinais de envelhecimento mas boas condições estruturais	Envelhecimento mais graves da superfície, mas boas condições estruturais	Envelhecimento significativo e primeiros sinais de necessidade de reforços	Necessidade de reparos em toda a camada de revestimento
Nível de severidade	8	7	6	5	4	3
FWHA	Apenas reflexão de juntas/Seladas/ de baixa gravidade (<=6mm abertura)	Abertas 6mm por reflexão ou juntas	Abertas de 6 a 13 mm por reflexão ou juntas	Abertas 13 mm/Leve desagregação e Trincas secundárias/Fissuração longitudinal das extremidades do pavimento	Múltiplas Trincas com leves desagregações/Trincas na trincha de roda	Trincas próximas com desagregação ou erosão de borda
Adaptado	Apenas reflexão de juntas/Seladas/ de baixa gravidade (<=6mm abertura)	Abertas 6mm a 13 mm por reflexão ou juntas; Baixa deteriorização	Abertas de 6 a 13 mm por reflexão ou juntas; Deteriorização moderada	Abertas 13 a 25 mm; Erosão e trincas secundárias; Fissuração longitudinal das extremidades do pavimento	Trincas abertas > 25mm; Múltiplas Trincas com desgaste; Trincas na trincha de roda	Trincas próximas, formando interligações, com desagregação, erosão de borda ou fragmentação; Abertas >25 mm;

Em certos casos, os defeitos foram detalhados para melhor atender a proposta, adaptando os critérios utilizando as referências para compor os limites de severidade, visando, assim, representar a técnica mais viável de aplicação, considerando a aplicação em meio urbano. A Tabela 21 demonstra os critérios adotados para panelas ou buracos. No caso, nota-se a falta de detalhamento e especificação do que significa buracos ocasionais ou frequentes e é carente de critérios de profundidade ou área do buraco, critérios os quais foram adotados com base no estudo e na comparação das demais fontes.

Tabela 21: Critérios adotados para “panelas” ou buracos

Nível de severidade	7	5	4	3	2
FWHA	-	-	-	Buracos ocasionais	Frequência de buracos
Adaptado	Pequenos buracos, fora da trincha de roda, com pouca ocorrência	Profundidade <= 10mm; <= 1 ocorrência / 100m	Poucas ocorrências; profundidade <25 mm, área <0,84 m ²	Buracos ocasionais; ou (<25 mm, >0,84 m ²); (>25 mm, <0,84 m ²);	Buracos frequentes; ou (>25 mm e >0,84 m ²)

Outra consideração pertinente apresenta-se no caso de trincas por bloco, foram considerados

os tamanhos dos lados formados no bloco, além de sua área. Enquanto no caso referente às trincas tipo “jacaré”, por se tratar de um defeito que indica problemas estruturais, seu nível de severidade pode ser sempre tratado com alto. Embora na matriz tenha sido tratado com classificações relativas, a classificação geral do defeito é grave e envolve requalificações do revestimento ou, em casos mais graves, requalificação da base.

A matriz de decisão final (Figura 38) visa relacionar, portanto, os dados referentes aos defeitos coletados em campo com a condição do pavimento e, através de tal classificação, propor a técnica de M&R mais adequada para a situação.

Em resumo, a matriz apresenta uma classificação de deterioração e necessidade de manutenção de pavimentos, variando de níveis mais leves (10, 9 e 8) a níveis críticos de falha total (1 e 2). Ela descreve os tipos de patologias, como trincas longitudinais, transversais, em bloco, e tipo “jacaré”, além de defeitos como afundamentos e remendos, e associa esses defeitos a possíveis intervenções de manutenção. Nos níveis mais leves (10 a 7), indica-se que há pouca deterioração, muitas vezes limitada a reflexos de juntas e pequenas aberturas, enquanto, à medida que os níveis caem para 4 e abaixo, há um agravamento das condições, com trincas mais abertas, afundamentos severos e perda significativa da estrutura superficial. A necessidade de intervenções como selagem de trincas, reciclagem, ou até reconstrução total se intensifica com a gravidade do desgaste.

Os limites e os critérios utilizados para embasar as decisões foram propostos a partir das referências citadas e estudadas, isto é, possui amparo teórico significativo, dado a natureza dos órgãos consultados.

Na seção a seguir, são descritos os graus de deterioração, além das manutenções necessárias e seus custos estimados, para comparação de investimentos devidos para o manutenção da via

Manutenção	Não fazer nada	Não fazer nada	Não fazer nada	Não fazer nada / Preenchimento de trincas	Selagem de trincas / Microrrevestimento/ Lama Asfáltica	Microrrevestimento / Lama Asfáltica / Reperfilagem	Reciclagem ou remendo superficial	Remendo profundo ou reciclagem total	Reconstrução e reparo da base	Reconstrução total	
Nível	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
Avaliação	Nova construção	Reabilitação recente, condições semelhantes a um novo pavimento	Revestimento recente ou aplicação recente de nova camada asfáltica	Primeiros sinais de envelhecimento	Sinais de envelhecimento mas boas condições estruturais	Envelhecimento mais graves da superfície, mas boas condições estruturais	Envelhecimento significativo e primeiros sinais de necessidade de reforços	Camada de revestimento comprometida	Deterioração severa	Falha	
Trincas longitudinais	Nova construção	Reabilitado recentemente	Apenas reflexão de juntas/Seladas/ de baixa gravidade (<=6mm abertura)	Abertas 6mm a 13 mm por reflexão ou juntas; Baixa deteriorização	Abertas de 6 a 13 mm por reflexão ou juntas; Deteriorização moderada	Abertas 13 a 25 mm; Erosão e trincas secundárias; Fissuração longitudinal das extremidades do pavimento	Trincas abertas > 25mm; Múltiplas Trincas com desgaste; Trincas na trilha de roda	Trincas próximas, formando interligações, com desagregação, erosão de borda ou fragmentação; Abertas >25 mm;		Falha	
Trincas transversais			Ocasionais/bem espaçadas (>12m)/Seladas ou de baixa gravidade (<=6mm abertura)	Abertas 6mm a 13 mm espaçadas de 6 a 12 metros; Baixa deteriorização	Abertas de 6 a 13 mm, algumas espaçadas a menos de 3m; Deteriorização moderada	Abertas 13 a 25 mm; Erosão e trincas secundárias	Trincas abertas > 25mm; Múltiplas Trincas com desgaste;	Trincas próximas, formando interligações, com desagregação, erosão de borda ou fragmentação; Abertas >25 mm;			
Trincas em bloco					Sinais de primeiras aparições (<=10%); Blocos maiores que 1,8 m x 1,8 m	Até 50% da superfície (<=10% A <=50%); Blocos com lados entre 0,9 m e 1,8 m	Acima de 50% da superfície; Blocos menores que 0,9 m x 0,9 m	Acima de 50% da superfície; Blocos menores que 0,9 m x 0,9 m			
Trincas tipo "jacaré"								Até 25% da área da superfície; ou com depressão > 13 mm (*)	Acima de 25% da área da superfície		
Desgaste superficial (desagregação)				Pouco desgaste causado pelo tráfego (**)	Desagregação leve com perda de finos; Área <20%	Moderada-severa (perda de agregados finos e graúdos); 20% < Área < 50%	Desagregação severa, aspera e esburacada; Área >50%				
Polimento superficial				Polimento leve; ou < 20% (**)	Polimento moderado; ou 20 - 50%	Polimento extensivo ou severo; ou > 50%					
Afundamentos						Afundamentos leves, não apresentam risco ao tráfego (<9mm); <20%	Leves afundamentos ou irregularidades (<= 13mm), pode apresentar risco; <20%	Afundamentos moderados (entre 13 a 25mm); ou 20 - 50%	Afundamentos severos >50mm; ou > 50%		
Remendos				Excelentes condições ou boas condições (**)		Alguns remendos e separações da borda do pavimento	Remendos com outros defeitos associados; outros defeitos associados de nível 5 ou inferior	Remendos com outros defeitos associados de nível 4 ou inferior	Remendos extensivos em condições ruins; outros defeitos associados de nível 3 ou inferior		
Paneias ou buracos				Pequenos buracos, fora da trilha de roda, com pouca ocorrência (**)		Profundidade <= 10mm; <= 1 ocorrência / 100m	Poucas ocorrências; profundidade <25 mm, área <0,84 m²	Buracos ocasionais; ou (<25 mm, >0,84 m²); (>25 mm, <0,84 m²);	Buracos frequentes; ou (>25 mm e >0,84 m²)		

(*) No caso de ser o único defeito da seção, realizar "reperfilagem com CAUQ"

(**) Não fazer nada

Figura 38: Matriz de decisão de M&R com base em defeitos

5.6 Divisão dos níveis de deterioração e estimativas de investimento de correção por nível

Como abordado no tópico anterior, a divisão dos níveis de deterioração propostos foi feita a partir do estudo das patologias, da ponderação das técnicas existentes de manutenção e reabilitação, bem como da análise do uso de cada uma delas por diversas fontes, acrescentando a classificação por grau de severidade.

Desta forma, cada patologia evidenciada no pavimento, a partir da análise de sua severidade, será referente a um grau de deterioração do pavimento, para o qual será sugerido uma terapia considerada mais aconselhável pela matriz de decisão.

Para a composição de um orçamento para cada nível de deterioração, foram utilizadas as tabelas de preços unitários não desonerados do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo (DER/SP), com referência de 31/12/2023

É de suma importância ressaltar que o dimensionamento e a caracterização dos materiais, assim como suas especificações, dependem de uma avaliação prévia baseada em estudos e projetos detalhados. Esses elementos são essenciais para garantir a execução correta e, conseqüentemente, a durabilidade das soluções de pavimentação. As dimensões adotadas para este capítulo são baseadas em médias de fontes consultadas, permitindo a obtenção de parâmetros para a mensuração estimada dos custos de manutenção por metro quadrado de via para o escopo deste trabalho.

No caso de pavimentos recentemente construídos (nível 10), pavimentos recentemente reabilitados (nível 9) e estruturas que tiveram reaplicação recente de camadas asfálticas ou em boas condições (nível 8), entende-se que não são necessárias atividades de M&R, sendo importante apenas a contínua observação dessas estruturas.

Em pavimentos do nível 7, os quais apresentam os primeiros sinais de envelhecimento, entende-se que é benéfico o reparo de trincas, pequenos buracos e descolamentos a partir do preenchimento dessas cavidades. Tal medida visa diminuir a infiltração de água, que acelera os danos relacionados ao carregamento e danos provenientes de umidade (DNIT, 2006a).

Neste caso, tem-se como base de preço unitário o seguinte item 37.03.05 da tabela de preços unitários onerados do DER/SP, adaptado utilizando um consumo de 0,15 L/m² de trincas para obtenção de R\$ 6,94 em m², representado na Tabela 22 a seguir:

Tabela 22: Custos estimados para manutenção de deterioração de grau 7

7.1		GRAU DE DETERIORAÇÃO 7			m ²	R\$ 6,94	
Código	Código Fonte	Fonte base	Material + Serviço + Mão de obra + Equipamento	Unidade	Custo Unitário	Coef.	Valor
7.1.1	37.03.05	DER/SP	SELAGEM DE TRINCA	litro	R\$ 46,27	0,15	R\$ 6,94

Já em estados de claros sinais de envelhecimento, porém sem prejuízos estruturais, denominado nível 6, as técnicas de manutenção sugeridas consistem em selagens de trinca, microrrevestimento a frio ou lama asfáltica.

Entre tais escolhas, a terapia utilizada poderá ser indicada pelo responsável de acordo com as circunstâncias. Em geral, de acordo com as bibliografias consultadas, é recomendável selar trincas longitudinais e transversais com o objetivo de reduzir infiltrações e danos provenientes deste fator (MERO, 2013). A lama asfáltica pode renovar outros tratamentos superficiais envelhecidos e tratar uma área com maior concentração de fissuras sem desgaste (Balbo, 2007). Já no caso do microrrevestimento a frio, recomenda-se a utilização para corrigir condições de atrito, desgaste, intempéries e reparar pequenas painelas e descolamentos (Ceratti, 2015). Os custos estimados para manutenção de grau 6 estão descritos na Tabela 23.

Tabela 23: Custos estimados para manutenção de deterioração de grau 6

6.1		GRAU DE DETERIORAÇÃO 6 - OPÇÃO 1			m²	R\$ 8,62		
<i>Código</i>	<i>Código Fonte</i>	<i>Fonte base</i>	<i>Material + Serviço + Mão de obra + Equipamento</i>	<i>Unidade</i>	<i>Custo Unitário</i>	<i>Coef.</i>	<i>Valor</i>	
6.1.1	37.03.17	DER/S P	CAPA SELANTE BETUMINOSA	m2	R\$ 8,62	1	R\$ 8,62	
6.2		GRAU DE DETERIORAÇÃO 6 - OPÇÃO 2			m²	R\$ 11,98		
<i>Código</i>	<i>Código Fonte</i>	<i>Fonte base</i>	<i>Material + Serviço + Mão de obra + Equipamento</i>	<i>Unidade</i>	<i>Custo Unitário</i>	<i>Coef.</i>	<i>Valor</i>	
6.2.1	23.06.05	DER/S P	TRATAMENTO SUPERFICIAL COM LAMA ASFALTICA	m2	R\$ 11,98	1	R\$ 11,98	
6.3		GRAU DE DETERIORAÇÃO 6 - OPÇÃO 3			m²	R\$ 25,58		
<i>Código</i>	<i>Código Fonte</i>	<i>Fonte base</i>	<i>Material + Serviço + Mão de obra + Equipamento</i>	<i>Unidade</i>	<i>Custo Unitário</i>	<i>Coef.</i>	<i>Valor</i>	
6.3.1	23.06.04.0 1	DER/S P	MICROREVESTIMENTO COM POLIMERO A FRIO (MCAF)	m2	R\$ 25,58	1	R\$ 25,58	

Assim, estima-se que neste nível de deterioração seja necessário um investimento de R\$ 8,62 a R\$ 25,58 por m³, a depender da natureza das manifestações patológicas presentes no pavimento e da escolha do responsável.

Ao atingir o nível de deterioração 5, caracterizado pelo grave envelhecimento da superfície, mas integridade estrutural, propõe-se a aplicação de microrrevestimento, lama asfáltica ou realizar um recapeamento. A composição destes custos se encontra na Tabela 24.

A lama asfáltica pode compor uma camada selante para as trincas e o microrrevestimento pode ser aplicado para correção de declividades, buracos, afundamentos e preenchimento de trilhas de roda (Balbo, 2007; Ceratti, 2015). Além disso, tipicamente, recapeamentos são aplicados em

áreas de falha do pavimento ou problemas de desgaste, em vez de áreas com problemas na base ou sub-base. Trilhas de rodas, desagregação, pitting (formação de cavidades), trincas menores e oxidação são falhas típicas onde o recapeamento pode ser eficaz na restauração rápida e permanente da superfície (WSDOT, 2020) e pode ser aplicado quando há uma área relevante a ser reabilitada, recuperando de maneira mais eficiente uma seção.

Tabela 24: Custos de tratamento grau de deterioração 5

5.1		GRAU DE DETERIORAÇÃO 5 - OPÇÃO 1			m²	R\$ 11,98	
<i>Código</i>	<i>Código Fonte</i>	<i>Fonte base</i>	<i>Material + Serviço + Mão de obra + Equipamento</i>	<i>Unidade</i>	<i>Custo Unitário</i>	<i>Coef.</i>	<i>Valor</i>
5.1.1	23.06.05	DER/SP	TRATAMENTO SUPERFICIAL COM LAMA ASFALTICA	m2	R\$ 11,98	1	R\$ 11,98
5.2		GRAU DE DETERIORAÇÃO 5 - OPÇÃO 2			m²	R\$ 25,58	
<i>Código</i>	<i>Código Fonte</i>	<i>Fonte base</i>	<i>Material + Serviço + Mão de obra + Equipamento</i>	<i>Unidade</i>	<i>Custo Unitário</i>	<i>Coef.</i>	<i>Valor</i>
5.2.1	23.06.04.0 1	DER/SP	MICROREVESTIMENTO COM POLIMERO A FRIO (MCAF)	m2	R\$ 25,58	1	R\$ 25,58
5.3		GRAU DE DETERIORAÇÃO 5 - OPÇÃO 3			m²	R\$ 47,89	
<i>Código</i>	<i>Código Fonte</i>	<i>Fonte base</i>	<i>Material + Serviço + Mão de obra + Equipamento</i>	<i>Unidade</i>	<i>Custo Unitário</i>	<i>Coef.</i>	<i>Valor</i>
5.3.1	23.08.03.0 1	DER/SP	CAMADA ROLAMENTO-CBUQ GRADUACAO C-S/DOP	m3	R\$ 1.596,20	0,03	R\$ 47,89

Tal grau de deterioração, bem como o nível anterior, consiste em tratar a superfície do pavimento com lama asfáltica ou microrrevestimento, totalizando um investimento de R\$ 11,98 a R\$ 25,58 por m², com a possibilidade de ser necessária a aplicação de um recapeamento com nova mistura asfáltica, representando um investimento de R\$ 1.596,20 por m³. Utilizando uma espessura estimada de 3 cm para compor o custo em metros quadrados, tem-se o preço para um recapeamento de R\$ 47,89 por m².

A partir do quarto grau de deterioração, o pavimento apresenta um envelhecimento significativo e possui os primeiros sinais de necessidade de reforços. Neste caso, é recomendada a execução de um remendo superficial, fresando a seção com as manifestações patológicas críticas e, posteriormente, recolocando esta camada de revestimento, podendo ser este material fresado reciclado ou não, a depender de condições econômicas e de viabilidade. A composição dos custos de grau de deterioração 4 estão descritos na Tabela 25.

Esta técnica visa, principalmente, recompor segmentos afetados por defeitos que evidenciam

fadiga da estrutura, realizando reparos localizados, especialmente buracos (DNIT, 2006a).

Tabela 25: Custos estimado de tratamento grau de deterioração 4

4.1		GRAU DE DETERIORAÇÃO 4 - OPÇÃO 1			m²	R\$ 50,36	
<i>Código</i>	<i>Código Fonte</i>	<i>Fonte base</i>	<i>Material + Serviço + Mão de obra + Equipamento</i>	<i>Unidade</i>	<i>Custo Unitário</i>	<i>Coef.</i>	<i>Valor</i>
4.1.1	37.03.02	DER/S P	REMENDO PRE-MISTURADO A FRIO	m3	R\$ 2.517,98	0,02	R\$ 50,36

4.2		GRAU DE DETERIORAÇÃO 4 - OPÇÃO 2			m²	R\$ 35,29	
<i>Código</i>	<i>Código Fonte</i>	<i>Fonte base</i>	<i>Material + Serviço + Mão de obra + Equipamento</i>	<i>Unidade</i>	<i>Custo Unitário</i>	<i>Coef.</i>	<i>Valor</i>
4.2.1	37.03.03	DER/S P	REPARO EMERGENCIAL DE PAV.- TAPA BURACO	m3	R\$ 1.764,64	0,02	R\$ 35,29

Neste caso, considerando um remendo superficial de profundidade de 2 cm, uma vez que não é o objetivo remover toda a camada de revestimento, estima-se que o item custaria, em média, R\$ 50,36 por m². É possível optar por uma opção tapa buraco em casos específicos, nas quais o problema principal seja de fato um buraco, ou mesmo em casos nos quais o pavimento não esteja classificado no nível 4, mas a cavidade está localizada em um ponto muito prejudicial. Esta opção pode ser menos custosa, mas não possui o mesmo benefício do reparo com um remendo bem executado.

Quando há necessidades de reparo em toda a camada de revestimento (nível 3), entende-se que é necessário executar um remendo profundo, caso a deterioração crítica seja concentrada em uma seção pequena, ou realizar uma reciclagem total do revestimento asfáltico. A composição do custo estimado para este grau de deterioração é apresentada na Tabela 26.

Fissuração em pele de jacaré com depressão maior que 1/2 polegada é um bom indicativo de que a deterioração do pavimento é em toda a profundidade e que material estável pode ser encontrado apenas na sub-base (WSDOT, 2020). Isto faz com que seja necessário a realização de remendos profundos, removendo completamente a camada de revestimento para a recomposição da seção, pois o material do revestimento já se encontra comprometido. Ainda, o material da fresagem pode ser reciclado para compor o novo revestimento como agregado para diminuir o impacto ambiental da intervenção.

Tabela 26: Custos estimados de tratamento grau de deterioração 3

3.1	GRAU DE DETERIORAÇÃO 3		m²	R\$ 110,93
------------	-------------------------------	--	----------------------	-------------------

<i>Código</i>	<i>Código Fonte</i>	<i>Fonte base</i>	<i>Material + Serviço + Mão de obra + Equipamento</i>	<i>Unidade</i>	<i>Custo Unitário</i>	<i>Coef.</i>	<i>Valor</i>
3.1.1	37.03.18	DER/SP	FRESAGEM PAVIMENTO	m3	R\$ 363,07	0,05	R\$ 18,15
3.1.2	23.08.03.01	DER/SP	CAMADA ROLAMENTO-CBUQ GRADUACAO C-S/DOP	m3	R\$ 1.596,20	0,05	R\$ 79,81
3.1.3	23.05.01	DER/SP	IMPRIMADURA BETUMINOSA IMPERMEABILIZANTE	m2	R\$ 12,97	1,00	R\$ 12,97

Para obter os custos em m², estima-se que as camadas de revestimento possuem majoritariamente uma espessura de 5 cm. Assim, tem-se que o custo de fresagem do pavimento passa a ser R\$ 18,15 por m², e o custo do novo revestimento de R\$ 79,81 por m². Desta forma, totalizando o custo de reparo de uma seção classificada como “nível 3” em cerca de R\$ 110,93.

A Tabela 27 apresenta os custos estimados ao atingir o grau de deterioração 2, denominado “deterioração severa”, o pavimento deverá ser submetido a uma reconstrução e reparo da base. Entende-se que nesses casos é benéfico a aplicação de tratamentos antirreflexão de trincas para garantir maior durabilidade para o novo revestimento que será aplicado, protegendo-o da reflexão das trincas provenientes da base (CEPSA, 2010).

Tabela 27: Custos estimados de tratamento grau de deterioração 2

2.1	GRAU DE DETERIORAÇÃO 2			m²	R\$ 169,37		
<i>Código</i>	<i>Código Fonte</i>	<i>Fonte base</i>	<i>Material + Serviço + Mão de obra + Equipamento</i>	<i>Unidade</i>	<i>Custo Unitário</i>	<i>Coef.</i>	<i>Valor</i>
2.1.1	37.03.18	DER/SP	FRESAGEM PAVIMENTO	m3	R\$ 363,07	0,05	R\$ 18,15
2.1.2	37.03.04	DER/SP	REPARO DE BASE BRITA GRADUADA	m3	R\$ 664,38	0,07	R\$ 46,51
2.1.3	24.14.02	DER/SP	MANTA GEOTEXTIL TECIDA	kg	R\$ 65,72	0,14	R\$ 9,20
2.1.4	23.05.01	DER/SP	IMPRIMADURA BETUMINOSA IMPERMEABILIZANTE	m2	R\$ 12,97	1,00	R\$ 12,97
2.1.5	37.03.09	DER/SP	PREPARO E MELHORAMENTO SUB-LEITO	m2	R\$ 2,73	1,00	R\$ 2,73
2.1.6	23.08.03.01	DER/SP	CAMADA ROLAMENTO-CBUQ GRADUACAO C-S/DOP	m3	R\$ 1.596,20	0,05	R\$ 79,81

Como anteriormente discutido, a fresagem terá um custo unitário de R\$ 18,15 por m². Segundo o Manual de Pavimentação do DNIT (2006b), a espessura mínima da camada de base é de 15 cm, considerando serem vias de tráfego leve, as espessuras das vias avaliadas provavelmente possuem espessuras de 15 a 20 cm. Ainda, considerando que a fresagem deve remover a seção danificada da estrutura e, portanto, entende-se que recuperar cerca de metade da base seria o suficiente para, na grande maioria dos casos, tratar qualquer afundamento ou patologia, considera-se 7 cm de profundidade de reparo, tornando o serviço R\$ 46,61/m².

Contudo, entende-se que as dimensões das camadas dos pavimentos seguem critérios de cálculo de seus projetos, considerando o material aplicado, tráfego esperado, entre outros fatores. Desta forma, para o âmbito deste trabalho utilizou-se os valores de referência citados para compor os preços em m².

No tocante à utilização de manta geotêxtil para o tratamento antirreflexo de trincas, segundo dados da CEPISA (2010), a taxa de geotêxtil terá cerca de 140 g/m² e sujeito a mudanças de acordo com o projeto. Desta forma, tem-se um custo estimado com o valor fornecido de R\$ 9,20/m². Por fim, o concreto asfáltico utilizado para o novo revestimento, como anteriormente discutido, haveria o custo de R\$ 71,85/ m².

Assim, portanto, tem-se para pavimentos classificados como “em deterioração severa”, o custo estimado para a manutenção de R\$ 169,37/m².

Por fim, nos casos em que o pavimento que apresenta deteriorações acima das constatadas e apresenta uma falha visual (nível 1), deverá ser conduzida a reconstrução total da estrutura.

É relevante ressaltar que no caso de reconstrução de pavimentos, a base ou a sub-base antiga podem ser recicladas. Como afirma Balbo (2007), a reciclagem de pavimentos asfálticos é uma prática é economicamente vantajosa e sustentável, pois oferece uma destinação adequada para o grande volume de material fresado gerado na fresagem da estrutura a ser reconstruída. Essa solução permite, portanto, a reutilização de agregados, diminuindo a geração de resíduos, além de conservar energia do processo.

Relembra-se, também, que a exequibilidade da reconstrução do pavimento, bem como a viabilidade de reciclagem para este fim, dependem de um projeto estudado e realizado especificamente para a estrutura em questão. É necessário um dimensionamento preciso da nova estrutura e a devida avaliação da capacidade do material existente na via para a prática. Contudo, com o escopo de estimar os custos referentes a reconstrução, considerou-se os itens da a seguir (Tabela 28) para composição do custo unitário, bem como dimensões hipotéticas para compatibilização das unidades de medida.

Tabela 28: Custos estimados de tratamento grau de deterioração 1

1.1		GRAU DE DETERIORAÇÃO 1			m ²	R\$ 267,17	
Código	Código Fonte	Fonte base	Material + Serviço + Mão de obra + Equipamento	Unidade	Custo Unitário	Coef.	Valor
1.1.1	37.03.18	DER/SP	FRESAGEM PAVIMENTO	m3	R\$ 363,07	0,35	R\$ 127,07
1.1.2	23.05.02	DER/SP	IMPRIMADURA BETUMINOSA LIGANTE	m2	R\$ 3,83	1,00	R\$ 3,83
1.1.3	23.13.07.05	DER/SP	RECICLAGEM DE PAVIMENTO COM ADICAO DE 20% BRITA.	m3	R\$ 144,96	0,30	R\$ 43,49
1.1.4	23.08.03.01	DER/SP	CAMADA ROLAMENTO-CBUQ GRADUACAO C-S/DOP	m3	R\$ 1.596,20	0,05	R\$ 79,81
1.1.5	23.05.01	DER/SP	IMPRIMADURA BETUMINOSA IMPERMEABILIZANTE	m2	R\$ 12,97	1,00	R\$ 12,97

Considerando, com este fim, a fresagem do pavimento a espessura estimada de 5 cm do revestimento e as espessuras de 15 cm de base e da sub-base, tem-se o custo de R\$ 127,07/m².

Para a base reciclada, foi considerado o material fresado da antiga estrutura com a adição de 20% de pedra britada não reciclada, resultando em um custo unitário de R\$ 43,49/m² considerando uma base e sub-base de 15 cm de espessura cada uma. Lembrando que estas dimensões e a proporção de materiais são decisões que devem ser fundamentadas no projeto específico de cada obra, representando neste trabalho apenas uma estimativa razoável.

A imprimadura betuminosa ligante para a camada de revestimento, se necessário, tem seu custo estimado em R\$ 3,83/m², enquanto a imprimadura impermeabilizante para a base tem um custo estimado de R\$ 12,97/m². Considerando uma espessura presumida de 5 cm para o novo revestimento asfáltico, contabiliza-se um custo de R\$ 79,81/m². Desta forma, para uma reconstrução completa do pavimento seria necessário um investimento de, aproximadamente, R\$ 267,17/m².

Abaixo, tem-se, portanto, um quadro resumo com os itens de M&R por grau de deterioração e seus custos por metro quadrado de pavimento (Tabela 29). Em seguida, tem-se um gráfico (Figura 39) que representa o crescimento do investimento necessário conforme a deterioração do pavimento e um gráfico de mapa de árvore referentes ao investimento unitário necessário para uma seção em cada grau de deterioração, que representa visualmente a proporção dos valores unitários em cada nível na Figura 40.

Tabela 29: Custos estimados de manutenção por grau de deterioração do pavimento

Item	Descrição	Unidade	Valor
1.1	GRAU DE DETERIORAÇÃO 1	m ²	R\$ 267,17
2.1	GRAU DE DETERIORAÇÃO 2	m ²	R\$ 169,37
3.1	GRAU DE DETERIORAÇÃO 3	m ²	R\$ 110,93
4.1	GRAU DE DETERIORAÇÃO 4 - OPÇÃO 1	m ²	R\$ 50,36
4.2	GRAU DE DETERIORAÇÃO 4 - OPÇÃO 2	m ²	R\$ 35,29
5.1	GRAU DE DETERIORAÇÃO 5 - OPÇÃO 1	m ²	R\$ 11,98
5.2	GRAU DE DETERIORAÇÃO 5 - OPÇÃO 2	m ²	R\$ 25,58
5.3	GRAU DE DETERIORAÇÃO 5 - OPÇÃO 3	m ²	R\$ 47,89
6.1	GRAU DE DETERIORAÇÃO 6 - OPÇÃO 1	m ²	R\$ 8,62
6.2	GRAU DE DETERIORAÇÃO 6 - OPÇÃO 2	m ²	R\$ 11,98
6.3	GRAU DE DETERIORAÇÃO 6 - OPÇÃO 3	m ²	R\$ 25,58
7.1	GRAU DE DETERIORAÇÃO 7	m ²	R\$ 6,94

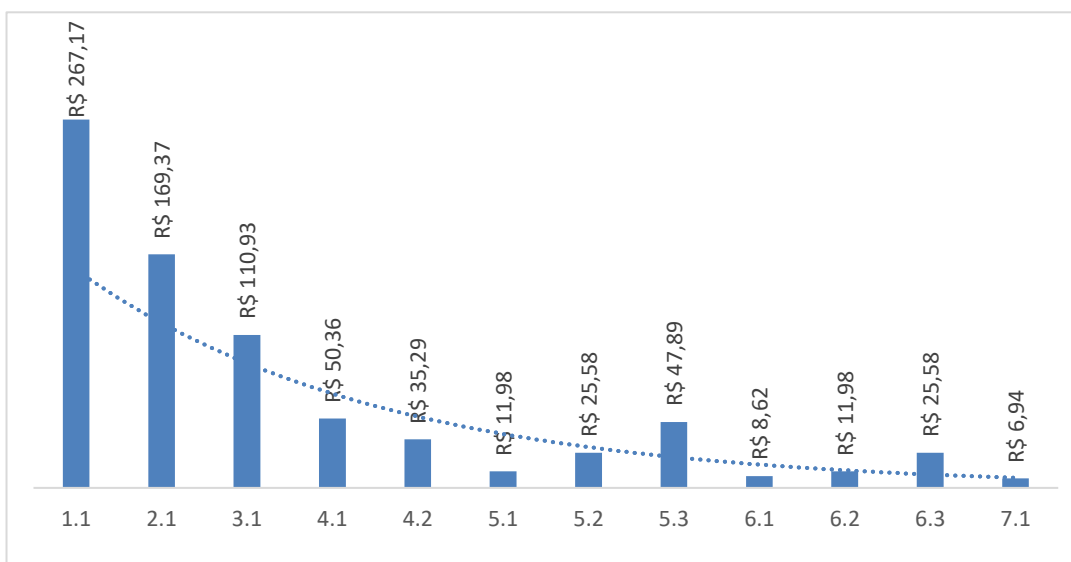


Figura 39: Gráfico de custo estimado para manutenção em diferentes graus de deterioração

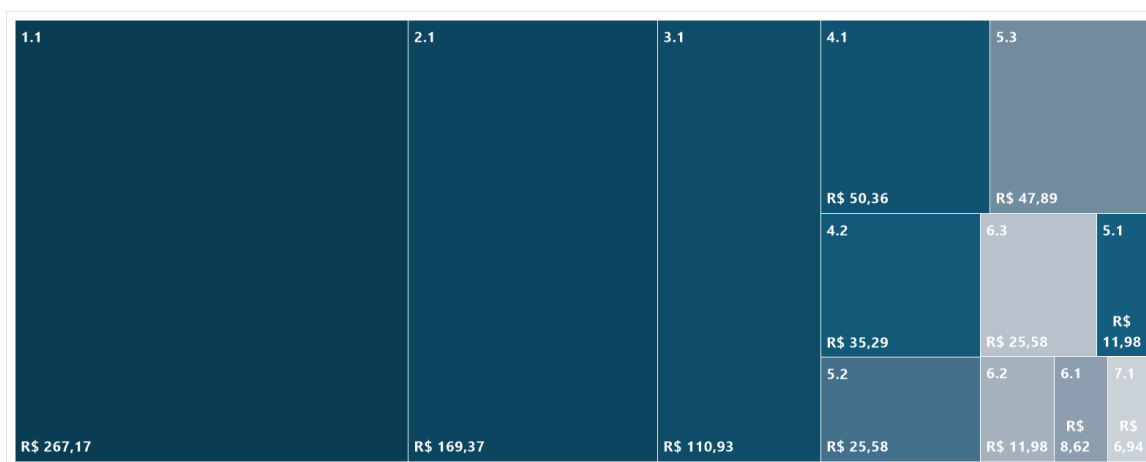


Figura 40: Comparação de proporção de custos estimados por grau de deterioração

Através do gráfico, é possível interpretar que, conforme a deterioração do pavimento atinge graus mais elevados e mais graves, logicamente, é necessário um investimento mais significativo para o reparo. Isso é consequência da metodologia de manutenção imposta pelas condições mais severas, nas quais são necessárias maior quantidade de material, maquinária e serviços.

Em contrapartida, em cenários mais próximos da construção do pavimento, ou quando deteriorações são mais brandas, é possível realizar técnicas de manutenção mais simples, como as camadas selantes e aplicações de microrrevestimento, que impedirão o avanço das patologias e aumentarão a qualidade de rolamento, a segurança e vida útil do pavimento.

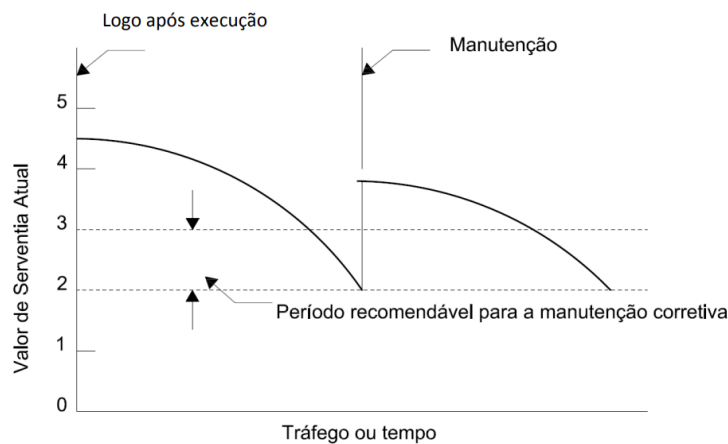


Figura 41: Período recomendável para manutenção do pavimento (DNIT, 2011)

A partir do gráfico apresentado, entende-se que a gestão ativa do estado da vida útil das vias torna possível identificar períodos ótimos de manutenção, recuperando a capacidade e a longevidade da via e, desta forma, evitando que a via atinja níveis de deterioração nos quais sejam necessários atividades de manutenção mais onerosas, conforme verificado no estudo de estimativa de custos.

O Manual de Gerência de Pavimentos do DNIT (2011) cita levantamentos do Banco Mundial que demonstram que a falta de investimento oportuno na manutenção e restauração de rodovias em países desenvolvidos resultou em prejuízos significativos. O atraso na realização desses serviços levou a um aumento considerável nos custos inicialmente estimados, que poderiam ter sido evitados com intervenções adequadas. Naquele período, os gastos com esses serviços saltaram de 12 bilhões para 90 bilhões de dólares.

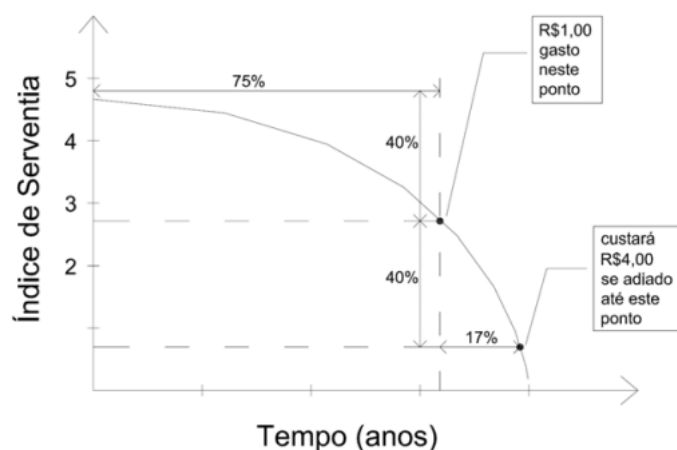


Figura 42: Índice de serventia x vida útil do pavimento (DNIT, 2011)

Ademais, o adiamento das atividades de manutenção provoca uma série de impactos negativos no planejamento e na gestão de uma rede viária. Enquanto a análise se deteve a um trecho específico, o planejamento deve abranger a rede como um todo, considerando os diferentes níveis de utilização dos segmentos (DNIT, 2011).

Além disso, como já abordado, tais técnicas além de serem mais baratas e prolongarem a vida útil do pavimento, elas possuem seu tempo de aplicação significativamente mais célere, colaborando para uma liberação mais rápida da via após sua realização. Por outro lado, as manutenções mais acentuadas precisarão de mais tempo com a via interditada para a execução, ocupando mais espaço para toda a maquinária e haverá, portanto, um custo indireto superior para o cumprimento da atividade.

Em síntese, o gerenciamento eficaz dos pavimentos exige uma abordagem estratégica de manutenção preventiva e corretiva. A execução de reparos oportunos, principalmente em estágios iniciais de deterioração, não apenas prolonga a vida útil do pavimento, mas também resulta em economia significativa de recursos e tempo. Intervenções mais simples, como selagem e microrrevestimento, são proveitosas para evitar o avanço das patologias, enquanto adiamentos e deteriorações avançadas implicam em custos elevados e mais complexidade na execução dos serviços. Dessa forma, é imprescindível adotar um planejamento proativo para minimizar os impactos financeiros e operacionais ao longo da vida útil da via.

Dando continuidade, a próxima seção abordará a aplicação prática do modelo de gerenciamento de pavimentos proposto que, conforme orientado pela publicação IPR-745 (DNIT, 2011), é conveniente que a implementação do SGP seja demonstrada em uma escala reduzida, permitindo a identificação de ajustes necessários e melhorias contínuas antes da aplicação em larga escala.

6 Aplicação do sistema proposto e discussões

6.1 Inventário e dados

De modo a compor o inventário do sistema de gerenciamento de pavimentos proposto, e como anteriormente descrito, utilizou-se o método de Levantamento Visual Contínuo (LVC) de vias locais urbanas. Para isso, baseou-se no dissertado ao longo do projeto, como o procedimento DNIT 006 (2003b) e, também, o documento *Pavement Condition Rating System* (ODOT, 2006).

Foram determinadas 5 vias locais para aplicação em pequena escala do sistema de gerenciamento de pavimentos urbanos proposto. Tal aplicação visou verificar diversos aspectos referentes a metodologia, tais como a praticidade, objetividade, velocidade, facilidade e eficácia; além de buscar avaliar o cumprimento dos objetivos propostos, como a eficiência da matriz de decisão, da classificação do índice de condição do pavimento e os aspectos econômicos.

Todas as vias avaliadas são da região norte da cidade de São Paulo (Brasil) e são denominadas vias locais, de baixa velocidade e de baixo volume médio diário. Tais vias são apresentadas na tabela a seguir (Tabela 30).

Tabela 30: Vias estudadas

Código	Nome	Largura (m)	Extensão (m)	Trechos
1	Rua Piatá 759-863	6,95	111,40	5
2	Rua Anacleto 94-221	7,70	84,20	4
3	Rua Carapocaia 45-119	6,80	85,70	4
4	Rua Capitão Francisco Lipe 843-938	8,31	67,40	3
5	Rua Elvira de Borto 19-79	9,04	64,30	3



Figura 43: Localização das vias avaliadas

Durante o levantamento, registra-se imagens dos defeitos para compor um pequeno relatório fotográfico, informando a partir de cada imagem a patologia em questão, além informações relevantes como área, profundidade (afundamentos) e abertura (trincas).

Com os dados levantados durante a inspeção, preenche-se os formulários propostos com as informações necessárias. Primeiramente, é preenchido o formulário de levantamento, com as medições de campo. Posteriormente, é possível preencher a tabela do ICP e realizar o cálculo deste índice.

Tanto os relatórios fotográficos, bem como os formulários preenchidos encontram-se no Anexo 1. Nesta seção, contudo, será detalhado o procedimento com a via Piatá, que foi definida como a via prioritária a partir dos critérios do método, como será demonstrado posteriormente. Assim, tem-se abaixo o formulário da Rua Piatá preenchido conforme o levantamento em campo.

FORMULÁRIO DE LEVANTAMENTO DE INVENTÁRIO										
Identificação da via: Rua Piatá 759-863		Data: 16/06/2024					Código: #1			
Extensão: 111,4 m		Responsável: Victor S.								
Largura: 6,95 m		Orgão/Cidade: São Paulo								
Defeito	Medida	Trecho 1	Trecho 2	Trecho 3	Trecho 4	Trecho 5	Total			
		Medição	Medição	Medição	Medição	Medição	Medição	Severidade*	Extensão	Nível Deterioração*
Desgaste superficial / Desagregação	Área (m ²)				3,00	2,00	0,6%	M	O	6
Exsudação ou Polimento Superficial	Agregado visível (1) Superfície preta (2)									
	Área (m ²)									
Remendos (m ²)	Quantidade (un)		1	1	1	4	7	A	O	4
	Área (m ²)		5,00	4,00	2,50	19,50	31,00			
Desintegração da Superfície / Descolamento / Cavidades	Área (m ²)									
	Profundidade (mm)									
Deficiência na selagem de trincas	(%)							NA	E	NA
Afundamentos	Profundidade (mm)	20	12	12	21	20	21	A	O	3
	Área (m ²)	4,00	8,00	1,00	4,00	7,50	2,9%			
Aterros	Quantidade (un)									
Buracos ou "Painelas"	Quantidade (un)	2		1	1	2	6	M	E	3
	Área (m ²)	2,00		0,03	0,10	0,11	2,24			
	Profundidade (mm)	20		5	21	16	21			
Trincas tipo "jacaré" (m ²)	Área (m ²)									
	Abertura (mm)									
Trincas em bloco (m ²)	Área (m ²)	64,00	5,00				8,3%	A	E	5
	Abertura (mm)	10	7				10			
Trincas transversais (m ²)	Área (m ²)		5,00	4,00	2,50	21,00	3,9%	M	O	7
	Abertura (mm)		8	13	7	10	13			
Trincas longitudinais (m ²)	Área (m ²)	1,50		3,75	10,00		1,8%	M	O	5
	Abertura (mm)	9		21	9		21			
Trincas nas bordas	Comprimento (m)					5,00	4,5%	B	O	8
	Abertura (mm)					4	4			
Trincas térmicas	Área (m ²)									
	Abertura (mm)									

*Severidade (B/MA) com base no ICP, e nível de deterioração do pavimento (1-10)

Observações:	Croqui:									Anotações:
										Assinatura: _____

Figura 44: Formulário de inventário preenchido – Rua Piatá (Via #1)

Analisando a tabela de levantamento de inventário, observa-se que a patologia de maior ocorrência ao longo dos trechos é relacionada às trincas em bloco, com uma área total de 64 m², correspondendo a 8,3% da via, seguida pelas trincas transversais, que representam 3,9% da área total. Além disso, há uma alta incidência de remendos, com 31 m², o que pode indicar reparos frequentes devido à degradação prévia. Afundamentos e buracos ("painelas") são menos frequentes, mas ainda presentes, somando 2,9% e 2,24 m², respectivamente. Trincas longitudinais e trincas nas bordas aparecem com menor impacto, porém são relevantes, principalmente devido a gravidade no trecho 5.

A seguir, apresenta-se na Tabela 31 e na Tabela 32 o resumo do levantamento, com a compilação das informações obtidas.

Tabela 31: Resumo do levantamento em campo

Defeito	Medida	Via #1	Via #2	Via #3	Via #4	Via #5
		Medição	Medição	Medição	Medição	Medição
Desgaste superficial / Desagregação	Área (m ²)	5,00	19,08	1,75	-	6,42
Exsudação ou Polimento Superficial	Agregado visível (1)	-	-	-	-	-
	Superfície preta (2)	-	-	-	-	-
Remendos (m²)	Quantidade (un)	7	11	12	13	5
	Área (m ²)	31,00	71,50	16,79	57,60	28,70
Desintegração da Superfície / Descolamento / Cavidades	Área (m ²)	-	1,10	1,20	-	0,30
	Profundidade (mm)	-	30	9	-	5
Deficiência na selagem de trincas	(%)	-	-	-	-	-
Afundamentos	Profundidade (mm)	21	35	26	12	26
	Área (m ²)	24,50	5,50	29,59	3,30	3,50
Aterros	Quantidade (un)	-	-	-	-	-
Buracos ou "Painéis"	Quantidade (un)	6	-	2	3	-
	Área (m ²)	2,24	-	0,18	0,26	-
	Profundidade (mm)	21	-	40	51	-
Trincas tipo "jacaré" (m²)	Área (m ²)	-	2,80	-	-	-
	Abertura (mm)	-	15	-	-	-
Trincas em bloco (m²)	Área (m ²)	69,00	11,69	-	57,35	48,82
	Abertura (mm)	10	20	-	25	17
Trincas transversais (m²)	Área (m ²)	32,50	9,48	23,12	112,03	31,04
	Abertura (mm)	13	10	19	20	20
Trincas longitudinais (m²)	Área (m ²)	15,25	26,60	131,92	-	-
	Abertura (mm)	21	8	20	-	-
Trincas nas bordas	Área (m ²)	5,00	-	2,10	-	-
	Abertura (mm)	4	-	15	-	-
Trincas térmicas	Área (m ²)	-	-	-	-	-
	Abertura (mm)	-	-	-	-	-

Tabela 32: Resumo do levantamento por trechos

Defeito	Medida	Trecho 1	Trecho 2	Trecho 3	Trecho 4	Trecho 5	Total	
		Medição	Medição	Medição	Medição	Medição	Total	Medição
Desgaste superficial / Desagregação	Área (m ²)	9,48		8,67	12,10	2,00	32,25	1,0%
Exsudação ou Polimento Superficial	Agregado visível (1)							
	Superfície preta (2)							
Remendos (m²)	Quantidade (un)	11	17	11	5	4	48	
	Área (m ²)	49,60	86,49	43,38	6,62	19,50	205,59	6,4%
Desintegração da Superfície / Descolamento / Cavidades	Área (m ²)		1,20	0,30	1,10		2,60	0,1%
	Profundidade (mm)		9	5	30		30	
Deficiência na selagem de trincas	(%)							
Afundamentos	Profundidade (mm)	26	21	26	35	20		35
	Área (m ²)	21,90	16,29	8,78	11,92	7,50	66,39	2,1%
Aterros	Quantidade (un)							
Buracos ou "Painéis"	Quantidade (un)	4	1	1	3	2		11
	Área (m ²)	2,10	0,16	0,03	0,28	0,11	2,68	0,1%
	Profundidade (mm)	20	51	5	40	16		51
Trincas tipo "jacaré" (m²)	Área (m ²)		2,80				2,80	0,1%
	Abertura (mm)		15					15
Trincas em bloco (m²)	Área (m ²)	70,09	61,92	54,85			186,86	32,1%
	Abertura (mm)	20	20	25				25
Trincas transversais (m²)	Área (m ²)	59,26	84,01	41,40	2,50	21,00	208,17	35,8%
	Abertura (mm)	20	20	19	7	10		20
Trincas longitudinais (m²)	Área (m ²)	83,10		49,97	40,70		173,77	29,9%
	Abertura (mm)	9		21	16			21
Trincas nas bordas	Área (m ²)	2,10				5,00	7,10	1,2%
	Abertura (mm)	15				4		15
Trincas térmicas	Área (m ²)							
	Abertura (mm)							

A partir da tabela fornecida, é possível observar alguns pontos importantes em relação aos defeitos encontrados nos trechos analisados da via. Abaixo está uma interpretação dos dados com base em algumas observações:

Trincas transversais são a patologia mais recorrente, com uma área total de 208,17 m², o que representa 35,8% da área afetada nos trechos analisados. Esse defeito é significativamente maior quando comparado a outras patologias, indicando que esse tipo de trinca é predominante ao longo da via.

As trincas em bloco também aparecem com bastante frequência, afetando uma área total de 186,86 m², representando 32,1% do total. Esse tipo de patologia, em conjunto com as trincas transversais, parece ser um dos principais problemas estruturais da via.

As trincas longitudinais somam uma área total de 173,77 m² (29,9%), destacando-se como uma das patologias mais presentes, com aberturas médias variando entre 16 e 21 mm.

Remendos ocupam uma área total de 205,59 m² (6,4%), sendo identificados em todos os trechos, com o trecho 2 apresentando a maior concentração (86,49 m²). Este dado pode indicar a necessidade de intervenções frequentes e pontuais ao longo do tempo, mostrando uma degradação ou reparos mal feitos.

Afundamentos, embora não tão extensivos quanto as trincas, somam uma área de 66,39 m² (2,1%) com profundidades variando entre 20 e 35 mm. Esse defeito, embora menos comum, apresenta risco potencial para a integridade da via e pode afetar a qualidade de rodagem. Além disso, nota-se que há afundamentos por consolidação em todas as vias, indicando deficiência na compactação ao realizar os remendos.

Desgaste superficial/Desagregação também está presente, ocupando uma área total de 32,25 m² (1,0%), com maior ocorrência no trecho 1 (9,48 m²) e no trecho 4 (12,10 m²), sugerindo que essas áreas estão sujeitas a maior atrito ou exposição a fatores climáticos.

Outras patologias, como trincas tipo “jacaré” (2,80 m²) e buracos ou “panelas” (2,68 m²), têm uma ocorrência relativamente mais baixa, indicando que são defeitos pontuais, mas ainda assim demandam atenção para evitar agravamentos futuros. Sendo os buracos, mesmo pouco frequentes, a patologia de maior impacto direto no tráfego, podendo prejudicar mais gravemente os veículos, além de facilitar a infiltração de água e o agravamento da deterioração do revestimento.

De maneira geral, trincas transversais, trincas em bloco e trincas longitudinais são as patologias mais expressivas ao longo dos trechos analisados, o que pode sugerir problemas relacionados à flexibilidade e resistência da camada asfáltica. Já defeitos como afundamentos e remendos pontuam a necessidade de manutenções recorrentes, indicando possíveis falhas no processo de conservação da via.

6.2 Comparação da condição do pavimento e priorização

A partir dos dados levantados, visa-se obter espontaneamente o Índice de Condição de Pavimento, haja vista que este cálculo é realizado através de medidas objetivas levantadas em campo e, portanto, o formulário do levantamento de patologias preenchido conterá os dados necessários.

A partir do preenchimento do quadro de “ICP - NÍVEIS DE SEVERIDADE E EXTENSÃO”, o avaliador obterá os níveis de severidade de cada patologia. Este dado será utilizado no quadro de “ICP - FATORES DE PONDERAÇÃO DO ÍNDICE DE CONDIÇÃO DO PAVIMENTO” e, desta forma, cada via poderá ter seu índice calculado.

Tais formulários preenchidos e o cálculo de todas as vias levantadas encontram-se no Anexo 1. A seguir, demonstra-se a Tabela 33 com a comparação dos ICP's obtidos.

Tabela 33: Comparação dos índices de condição de pavimento

Código	Nome	ICP	Classificação
1	Rua Piatá 759-863	61,25	Aceitável a Ruim
2	Rua Anacleto 94-221	67,75	Aceitável
3	Rua Carapocaia 45-119	71,80	Aceitável
4	Rua Capitão Francisco Lipe 843-938	82,20	Boa
5	Rua Elvira de Bortole 19-79	79,50	Boa

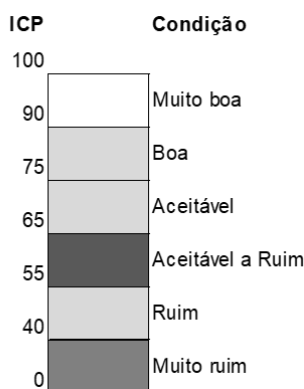


Figura 45: Classificação conforme ICP

Conforme a Figura 46, entende-se que utilizando o critério de ICP proposto, as vias Elvira de Bortole e Capitão Francisco Lipe encontram-se em boas condições, enquanto a Rua Anacleto e a Rua Carapocaia encontram-se em situação aceitável. Já a Rua Piatá foi classificada como “Aceitável a Ruim”, indicando que, no caso desta rede de pavimentos, esta via deveria ser priorizada para tratamentos e manutenções.

Para o detalhamento do método, tem-se a demonstração do preenchimento do formulário da via prioritária.

ICP - NÍVEIS DE SEVERIDADE E EXTENSÃO

TIPO DE DETERIORAÇÃO	Peso	GRAVIDADE*			EXTENSÃO**			ESTADO***
		B	M	A	O	F	E	
Desagregação	10	Ligeira perda de areia	Textura aberta	Áspero ou esburacado	<20%	20-50%	>50%	
Exsudação	5	Não avaliado	Agregado e betume visíveis	Superfície preta	<10%	10-30%	>30%	
Remendos	5	<0,09 m ²	<0,84 m ²	>0,84 m ²	<6/km	6-12/km	>12/km	
Desintegração da Superfície / Descolamento / Cavidades	5	Profundidade <25 mm, área <0,84 m ²	<25 mm, >0,84 m ² ; >25 mm, <0,84 m ²	>25 mm e >0,84 m ²	<3/km	3-6/km	>6/km	
Deficiência na selagem de trincas	5	Não considerado			<50%	>50%	Sem selante	
Afundamento	10	3-10 mm	10-19 mm	>19 mm	<20%	20-50%	>50%	U
Aterros	0	Efeito notável na viagem	Algum desconforto	Má viagem	<1,2/km	1,2-2,5/km	>2,5/km	
Buracos ou "Panelas"	10	profundidade <25 mm, área <0,84 m ²	<25 mm, >0,84 m ² ; >25 mm, <0,84 m ²	>25 mm e >0,84 m ²	<3/km	3-6/km	>6/km	U
Trincas nas trilhas das rodas	15	Trincas simples/múltiplas <6 mm	Trincas múltiplas >6 mm	Trincamento em "couro de jacaré" >6 mm com fragmentação	<20%	20-50%	>50%	U
Trincas em bloco e transversais	10	>1,8 m x 1,8 m ou trincas transversais	1,8 m x 1,8 m a 0,9 m x 0,9 m	<0,9 m x 0,9 m	<20%	20-50%	>50%	
Trincas longitudinais	5	Simples, <6 mm, sem fragmentação	Simples/múltiplas 6-25 mm, alguma fragmentação	Múltiplas, >25 mm, com fragmentação	<15 m por 30 m	15-45 m por 30 m	>45 m por 30 m	U
Trincas nas bordas	10	Abertas, <6 mm	>6 mm, alguma fragmentação	>6 mm, fragmentação moderada	<20%	20-50%	>50%	U
Trincas térmicas	10	<6 mm	6-25 mm	>25 mm	CS > 60 m	CS 22,5-60 m	CS <22,5 m	

Código:

#1

*** Defeitos incluídos no cálculo de deduções estruturais

ICP - FATORES DE PONDERAÇÃO DO ÍNDICE DE CONDIÇÃO DO PAVIMENTO

TIPO DE DETERIORAÇÃO	Peso	PESO DE GRAVIDADE*			PESO DE EXTENSÃO			PONTOS DE DEDUÇÃO*	ESTRUTURAL
		B	M	A	O	F	E		
Desagregação	10	0,3	0,6	1	0,5	0,8	1	3	
Exsudação	5	0,8	0,8	1	0,6	0,9	1	0	
Remendos	5	0,3	0,6	1	0,6	0,8	1	3	
Desintegração da Superfície / Descolamento / Cavidades	5	0,4	0,7	1	0,5	0,8	1	0	
Deficiência na selagem de trincas	5	1	1	1	0,5	0,8	1	5	
Afundamento	10	0,3	0,7	1	0,6	0,8	1	6	T
Aterros	0	0	0	0	0	0	0	0	
Buracos ou "Panelas"	10	0,4	0,8	1	0,5	0,7	1	8	T
Trincas nas trilhas das rodas	15	0,4	0,7	1	0,5	0,7	1	0	T
Trincas em bloco e transversais	10	0,4	0,7	1	0,5	0,7	1	10	
Trincas longitudinais	5	0,4	0,7	1	0,5	0,7	1	1,75	T
Trincas nas bordas	10	0,4	0,7	1	0,5	0,7	1	2	T
Trincas térmicas	10	0,4	0,7	1	0,5	0,7	1	0	

*B = BAIXA
M = MÉDIA
A = ALTA

**O = OCASIONAL
F = FREQUENTE
E = EXTENSIVA

Dedução Total = 38,8
Soma de dedução estrutural = 17,8
100-Dedução Total = ICP = 61,3

Figura 46: Formulário de cálculo do Índice de Condição de Pavimento (Via #1)

As classificações de severidade “alta, baixa, média” e extensão “ocasional, frequente, extensiva” são obtidas através deste formulário e preenchidas no formulário de levantamento. Essas classificações são utilizadas para selecionar os fatores de ponderação e realizar o cálculo do ICP com base nas patologias. Quanto menor o ICP, mais deteriorada está a via e, por conseguinte, exige mais atenção e reparos mais expressivos.

Com a via prioritária determinada, pode-se partir para a próxima etapa do método, que consiste na determinação do grau de deterioração, bem como a deliberação das técnicas de M&R recomendadas para o tratamento da via.

6.3 Definição das técnicas de M&R

A definição do grau de deterioração consiste no preenchimento da matriz a partir dos dados levantados no inventário da via. A seguir, tem-se a matriz de decisão da via Piatá preenchida (Figura 47).

A matriz de decisão, conforme explicado no decorrer do trabalho, procura se adaptar para a via e para as patologias das vias analisadas, indicando exatamente o tratamento que deve ser realizado a partir da avaliação dos defeitos e das respectivas gravidades. Tal matriz da Rua Piatá servirá de exemplo de funcionamento da matriz e demonstração do racional devido.

Primeiramente, observa-se que a via possui afundamentos e buracos profundos, o que agravam o nível de deterioração para 3, indicando que a camada de revestimento está comprometida nestas regiões. Os buracos e afundamentos desta forma podem facilmente causar danos a veículos que trafegam na via ou, até mesmo, acidentes. Desta forma, seguindo a matriz, tem-se a recomendação de realizar remendos profundos, removendo toda a espessura camada de revestimento das regiões afetadas e aplicando um novo revestimento no local.

Posteriormente, identifica-se que alguns remendos da via apresentam outras patologias associadas que possuem gravidade elevada, nomeadamente as trincas. Neste caso, o defeito indica o envelhecimento significativo da camada de revestimento e delibera que seja aplicado um remendo superficial, removendo parcialmente a espessura do revestimento a ponto de remover todo o segmento afetado e reaplicar um novo revestimento asfáltico nas áreas com tal patologia.

Em seguida, tem-se que as trincas em bloco e as trincas longitudinais, configuram uma condição de envelhecimento grave da superfície sem comprometimento estrutural (grau 5). Isso indica ao avaliador que é recomendável a aplicação de microrrevestimento, lama asfáltica ou um recapeamento na seção.

Manutenção	Não fazer nada	Não fazer nada	Não fazer nada	Não fazer nada / Preenchimento de trincas	Selagem de trincas / Microrrevestimento/ Lama Asfáltica	Microrrevestimento / Lama Asfáltica / Reperflagem	Reciclagem ou remendo superficial	Remendo profundo ou reciclagem total	Reconstrução e reparo da base	Reconstrução total	
Nível	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
Avaliação	Nova construção	Reabilitação recente, condições semelhantes a um novo pavimento	Revestimento recente ou aplicação recente de nova camada asfáltica	Primeiros sinais de envelhecimento	Sinais de envelhecimento mas boas condições estruturais	Envelhecimento mais graves da superfície, mas boas condições estruturais	Envelhecimento significativo e primeiros sinais de necessidade de reforços	Camada de revestimento comprometida	Deterioração severa	Falha	
Trincas longitudinais	Nova construção	Reabilitado recentemente	Apenas reflexão de juntas/Seladas/ de baixa gravidade (<=6mm abertura)	Abertas 6mm a 13 mm por reflexão ou juntas; Baixa deteriorização	Abertas de 6 a 13 mm por reflexão ou juntas; Deteriorização moderada	Abertas 13 a 25 mm; Erosão e trincas secundárias; Fissuração longitudinal das extremidades do pavimento	Trincas abertas > 25mm; Múltiplas Trincas com desgaste; Trincas na trilha de roda	Trincas próximas, formando interligações, com desagregação, erosão de borda ou fragmentação; Abertas >25 mm;			
Trincas transversais			Ocasionais/bem espaçadas (>12m)/Seladas ou de baixa gravidade (<=6mm abertura)	Abertas 6mm a 13 mm espaçadas de 6 a 12 metros; Baixa deteriorização	Abertas de 6 a 13 mm, algumas espaçadas a menos de 3m; Deteriorização moderada	Abertas 13 a 25 mm; Erosão e trincas secundárias	Trincas abertas > 25mm; Múltiplas Trincas com desgaste;	Trincas próximas, formando interligações, com desagregação, erosão de borda ou fragmentação; Abertas >25 mm;			
Trincas em bloco					Sinais de primeiras aparições (<=10%); Blocos maiores que 1,8 m x 1,8 m	Até 50% da superfície (<=10% A <=50%); Blocos com lados entre 0,9 m e 1,8 m	Acima de 50% da superfície; Blocos menores que 0,9 m x 0,9 m	Acima de 50% da superfície; Blocos menores que 0,9 m x 0,9 m; Fragmentação, deteriorização das bordas			
Trincas tipo "jacaré"								Até 25% da área da superfície; ou com depressão > 13 mm (*)	Acima de 25% da área da superfície		
Desgaste superficial (desagregação)				Pouco desgaste causado pelo tráfego (**)	Desagregação leve com perda de finos; Área <20%	Moderada-severa (perda de agregados finos e graúdos); 20% < Área < 50%	Desagregação severa, aspera e esburacada; Área >50%				
Polimento superficial				Polimento leve; ou < 20% (**)	Polimento moderado; ou 20 - 50%	Polimento extensivo ou severo; ou > 50%					
Afundamentos						Afundamentos leves, não apresentam risco ao tráfego (<9mm); <20%	Leves afundamentos ou irregularidades (<= 13mm), pode apresentar risco; <20%	Afundamentos moderados (entre 13 a 25mm); ou 20 - 50%	Afundamentos severos >50mm; ou > 50%		
Remendos				Excelentes condições ou boas condições (**)		Alguns remendos e separações da borda do pavimento	Remendos com outros defeitos associados; outros defeitos associados de nível 5 ou inferior	Remendos com outros defeitos associados; outros defeitos associados de nível 4 ou inferior	Remendos extensivos em condições ruins; outros defeitos associados de nível 3 ou inferior		
Paneles ou buracos				Pequenos buracos, fora da trilha de roda, com pouca ocorrência (**)		Profundidade <= 10mm; <= 1 ocorrência / 100m	Poucas ocorrências; profundidade <25 mm, área <0,84 m²	Buracos ocasionais; ou (<25 mm, >0,84 m²); (>25 mm, <0,84 m²);	Buracos frequentes; ou (>25 mm e >0,84 m²)		

Figura 47: Matriz de decisão da Rua Piatá (Via #1)

Assim, ao utilizar a matriz de decisão para orientar a análise e interpretação individual, o avaliador pode concluir que o recapeamento se apresenta como solução mais viável e eficaz. Isso se deve ao fato de que há uma área considerável comprometida pelas trincas longitudinais e em bloco, mas ainda há outros defeitos menos severos como as trincas transversais, que devem ser tratadas com preenchimento de trincas, e o desgaste superficial, que requer intervenções como selagem, microrrevestimento ou aplicação de lama asfáltica. Considerando o recapeamento das trincas em bloco e longitudinais, seria possível aplicar uma nova camada de revestimento nas seções afetadas, abrangendo áreas com níveis mais brandos de deterioração. Tal abordagem otimizaria o processo, reduzindo o tempo de interdição da via e aumentando a eficiência das intervenções.

6.4 Considerações e discussão do método proposto

Como tratado ao longo do trabalho e, principalmente, ao longo desta seção, o método de gerenciamento de pavimentos urbanos proposto consiste em realizar o levantamento de um inventário, calcular o índice de condição dos pavimentos e utilizar a matriz de decisão para definir as estratégias de manutenção.

Desta forma, devido a grande quantidade de vias locais existentes, a maior dificuldade do método se encontra em realizar o levantamento do inventário. Para a realização do trabalho, devido a indisponibilidade de equipe para auxiliar na obtenção desses dados, visando viabilidade foi proposta uma abordagem de amostra com utilização de 5 vias em um bairro, o qual o autor pôde compor o inventário. Durante esta etapa, verificou-se algumas dificuldades para sua realização.

Dentre elas, notou-se dificuldade de realizar medições em vias que apresentavam um movimento considerável de veículos, que perturbavam a continuidade das medições. O problema não se apresenta gravemente crítico pois, perante observações, as vias locais com movimentação realmente intensa de carros são, normalmente, avenidas com qualidade do pavimento aceitável, com defeitos localizados de fácil medição.

No tocante a defeitos, apresentou-se maior dificuldade de medir trincas e remendos. Referente às trincas, a dificuldade se encontra quando um pavimento possui trincas espaçadas, em pequena quantidade, porém ao longo de todo o pavimento. Este problema pode levar a maior tempo para medir ou, ainda, exigir aproximações.

No caso dos remendos, verificou-se que grande parte das vias apresentam muitos remendos, que, em alguns casos, cobrem grande parte da via. Isso se deve, provavelmente, aos métodos reativos de tratamento de pavimentos, utilizando-se apenas técnicas de tapa-buracos ou recapeamentos. Porém, a maioria destes remendos são bem executados e não atrapalham a viagem. Os defeitos mais comuns em relação à remendos são afundamentos por consolidação, provavelmente em detrimento de má compactação após execução, ocasionando trincas e irregularidade na superfície. Neste caso, a medição é mais simples e não deve ser desprezada.

Por fim, o levantamento foi realizado apenas por uma pessoa. Em uma das vias, o autor obteve auxílio e notou-se uma maior facilidade para realizar a atividade. A dinâmica utilizada foi a captura de fotos e anotação por uma das partes, enquanto a outra simultaneamente realizava as medições. Esta dinâmica facilitou a organização, continuidade e fluência do processo. Portanto, mesmo sendo uma etapa trabalhosa, em um contexto de realização por equipe, o processo pode ser substancialmente mais veloz.

Referente a obtenção dos resultados ou produtos das tabelas e matrizes, notou-se que é de fácil realização. Afinal, o método fora proposto com o fim de ser objetivo, simples e prático. A concepção dos formulários foi realizada para obter todas as informações necessárias a partir de um único levantamento de campo.

Porém, durante a realização do procedimento completo, percebeu-se que algumas informações, apesar de serem facilmente obtidas, não era um ponto de preenchimento do formulário de campo. Isso se deve, principalmente, ao método de cálculo de ICP, que exige algumas informações diferentes das consideradas na matriz de decisão, como dimensões dos “blocos” de trincamento, por exemplo, que não são preenchidas no formulário inicial.

Além disso, os cálculos necessários no método, como o cálculo do ICP, provaram ser de fácil realização, principalmente quando aliados a um software, ou no caso deste trabalho em específico, uma simples planilha de excel. Isso porque a maior parte das informações necessárias para definição dos índices de ponderação já foram prontamente obtidas no levantamento e, desta forma, a partir do preenchimento da tabela, o resto do desenvolvimento é descomplicado. Ademais, os outros cálculos de áreas em percentual ou até de estimativa de investimento são práticos quando utiliza-se uma planilha previamente configurada.

No caso deste trabalho, utilizou-se papel impresso para o levantamento em campo e, posteriormente, os dados foram alimentados em uma planilha com os cálculos formulados e, desta forma, todas as informações foram naturalmente obtidas.

Nesta perspectiva, no tocante a estimativas de custo e avaliações econômicas, como previamente discutido, é possível realizar uma análise simplória, comparando diferentes técnicas de manutenção possíveis sobre determinadas circunstâncias. Contudo, é de difícil avaliação econômica abrangente considerando o impacto das manutenções ao longo da vida útil e, conseqüentemente, o impacto financeiro ao longo do tempo sobre as perspectivas preditivas do envelhecimento daquela estrutura.

Para isto, os sistemas de gerenciamento utilizam softwares complexos e programados com séries históricas e padrões. Desta maneira, julga-se promissor o pensamento de incrementar o método proposto, possivelmente, a partir da implementação de seus procedimentos a um software programado para calcular diversos cenários e obter uma análise econômica completa a partir das diretrizes apontadas pelo método.

No fim, o estudo se propôs a avaliar vias urbanas locais de tráfego diário baixo. As avenidas, entretanto, podem apresentar um volume médio relativamente alto e exigir prioridades em

relação às vias de menor velocidade de rolamento e menor volume de tráfego. Pensando, portanto, nestes casos e, principalmente, prezando pela segurança dos usuários, é interessante a proposta consideração de um critério de velocidade de rolamento e volume diário na composição da priorização de manutenção das vias.

Contudo, em geral, o método provou atingir o escopo de analisar uma via urbana a partir de seus pontos mais críticos para a segurança do tráfego, no caso, as patologias. O método visa avaliar as vias considerando a heterogeneidade dos defeitos e as particularidades em cada via, indicando precisamente uma manutenção adequada e, ainda, procura indiciar a necessidade de reparos de rotina e preventivos para preservação da vida útil do pavimento, diminuindo os custos de manutenção ao longo do ciclo.

6.5 Discussões sobre a manutenção de pavimentos em São Paulo

Durante o período de realização deste trabalho observa-se, na cidade de São Paulo, a realização de diversas manutenções nas vias pavimentadas para a melhoria das condições de trânsito e segurança. No entanto, a execução dessas manutenções frequentemente ocorre em um contexto de falta de dados oficiais e transparência, o que torna difícil a avaliação das medidas tomadas. Apesar dessas limitações, é perceptível que as manutenções estão sendo realizadas com base em urgências, focando em áreas que apresentam problemas mais significativos e imediatos.

Considerando a vastidão e a complexidade da infraestrutura viária de São Paulo, é compreensível que haja numerosos pontos críticos que necessitam de atenção urgente, como buracos e valetas em más condições que prejudicam o tráfego em um grau quando comparado a outros defeitos. A cidade possui uma extensa rede de vias que, devido à alta circulação de veículos e à qualidade inferior do pavimento em alguns trechos, demanda tais intervenções para garantir a segurança e a fluidez do tráfego.

Além disso, a priorização das manutenções aparenta, também, seguir critérios relacionados à movimentação e ao fluxo de trânsito. Um exemplo disso foi em intervenções realizadas nas proximidades da estação de metrô da Linha 1 – Azul: Parada Inglesa. Esta rua não apenas serve ao tráfego de passageiros em direção ao metrô, mas também atua como uma via coletora para uma importante via arterial, que liga a cidade de Norte a Sul. Essa escolha sugere que as manutenções são planejadas para minimizar o impacto em áreas de alto tráfego, priorizando locais que influenciam o fluxo urbano em maior escala.

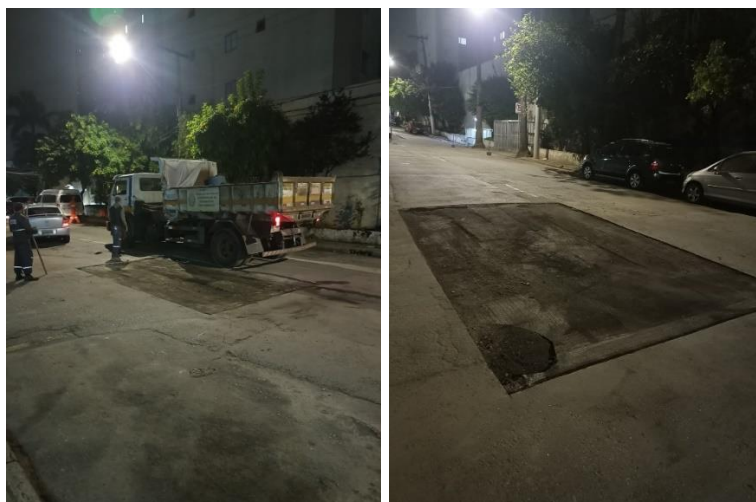


Figura 48: Fresagem em áreas danificadas da rua Antônio Domingues de Carvalho

Contudo, na mesma rua, foi realizada uma ação para passagem de alguma interferência de serviço público. Foram abertas duas valas para passagem ou manutenção das instalações e, prontamente, foram reconstruídas as valetas.



Figura 49: Valas para intervenção

Contudo, percebeu-se após a liberação para o tráfego que o serviço deixou defeitos no revestimento asfáltico. O buraco observado na Figura 50 abaixo é uma manifestação patológica que irá evoluir e causar diversos problemas para o tráfego deste local, potencializado pelo fato de ser localizado em uma área importante de acesso ao metrô e, portanto, movimentada.



Figura 50: Valeta reconstruída e via danificada devido a intervenção

Ao mobilizar recursos e esforços para uma determinada atividade, entende-se que o ideal é solucionar a maior gama de problemas possíveis para otimizar os recursos e garantir a qualidade da estrutura. Por mais que os agentes realizaram fresagens e reparos de outros defeitos ao longo da via durante este período, considerando que esta via foi interditada, gerou custos indiretos e transtorno ao tráfego local, o serviço não poderia ter ocasionado defeitos que exigirão reparos em breve.

Entende-se que, apesar de haver indícios de planejamento estratégico nas manutenções realizadas, os resultados poderiam ser ainda mais eficazes se um plano fosse aplicado de forma integral e contínua. Isso implicaria uma transição de um modelo reativo para um modelo proativo, com um foco maior em manutenções preventivas. Tais medidas têm o potencial de estender a vida útil das estruturas viárias e de reduzir os custos associados a manutenções emergenciais.

Além disso, uma maior transparência nos processos de manutenção permitiria avaliações mais precisas e o desenvolvimento de estratégias ainda mais eficazes para o gerenciamento da infraestrutura viária de São Paulo, com o objetivo de implementar a estratégia de melhoria contínua e preservar a malha ininterruptamente, minimizando a influência de interesses políticos por trás das decisões.

Apesar disto, segundo dados do Diário Oficial da cidade de São Paulo (2024), a Prefeitura de São Paulo lançou, em junho de 2022, o maior Programa de Recapeamento da história da cidade, com investimento inicial de R\$ 1 bilhão e meta de recuperar 20 milhões de metros quadrados de vias até o final do projeto. As vias são escolhidas com base no volume de tráfego, a condição do pavimento e demandas da comunidade.

Para isso, a Prefeitura mapeou 100% das vias asfaltadas da cidade, utilizando o Sistema Gaia, que monitora as condições das ruas em tempo real por meio de sensores instalados em táxis e carros de aplicativos. Esses sensores, acoplados à suspensão dos veículos, enviam informações

sobre ondulações e trepidações das vias, classificando o estado do asfalto em categorias como ótimo, bom, regular, ruim e péssimo.

O Sistema possibilitou analisar a qualidade das vias e identificar o asfalto da cidade digitalmente pela primeira vez, realizando o acompanhamento mensal das ruas e avenidas, além de identificar mudanças que ocorreram com o passar do tempo

Desta forma, conforme discutido ao longo do texto, o acompanhamento da deflexão e da irregularidade é de suma importância para vias expressas e rodovias, que existem em grande extensão na cidade de São Paulo e, assim, entende-se que a iniciativa apresenta substancial utilidade neste quesito.

Porém, entende-se que este levantamento em áreas de pavimentos locais acaba por validar os afundamentos e buracos, que por sua vez são patologias relevantes a serem diagnosticadas, mas carece em perceber os demais defeitos e suas severidades, que como discutido ao longo do trabalho, são de grande relevância para preservação e manutenção da vida útil do pavimento.

Entende-se, portanto, que a matriz de decisão proposta neste trabalho, bem como a metodologia de classificação e avaliação de patologias, poderiam ser um acréscimo benéfico para o sistema de monitoramento implementado em São Paulo, e poderiam apoiar para definir estratégias preventivas para extensão da vida útil de pavimentos de vias locais considerando diversas patologias e suas severidades, além de uma gama maior de estratégias de intervenção, principalmente no que se refere à manutenções preventivas.

Isso porque, segundo dados da própria Prefeitura de São Paulo (2024), a iniciativa tem o objetivo de recuperar 20 milhões de metros quadrados, e isso poderá ser realizado através de atividades de tapa-buraco e recapeamento. Como discutido ao longo do trabalho, são manutenções que, apesar de necessárias considerando o estado atual da malha, poderiam ser evitadas se a manutenção preventiva fosse uma prática habitual e evitasse que as patologias nos pavimentos evoluíssem e, desta forma, estabelecessem a necessidade desta natureza de intervenção.

Portanto, entende-se que o gerenciamento eficiente da malha, preservando a vida útil do pavimento através de manutenções preventivas, poderia diminuir o investimento necessário para programas como este para recuperar a malha rodoviária. Isto é, um capital menor pode ser aplicado na manutenção da malha a partir de um gerenciamento mais eficaz, e o orçamento excedente pode ser usufruído pela prefeitura em melhorias em áreas distintas.

7 Considerações finais

A pesquisa em questão se deparou com um cenário dominado por sistemas de gerenciamento de pavimentos (SGPs) direcionados a rodovias. Estes modelos, projetados para analisar extensos trechos de vias expressas, tem o objetivo de preservar a segurança dos usuários que trafegam a velocidades elevadas e, portanto, há necessidade de coletar dados como irregularidade e deflexão, por exemplo. Para isso, são necessários ensaios de maior complexidade, onerosos e que demandam tempo. No entanto, as características singulares do contexto urbano exigem uma abordagem distinta.

Assim, este trabalho propõe um SGP adaptado à realidade das cidades. Através de um estudo aprofundado das práticas comuns em SGPs e através da abordagem direcionada às necessidades e limitações de vias urbanas, os índices e parâmetros tradicionais foram ajustados para atender às demandas específicas deste ambiente. Desta forma, o trabalho propõe substituir todos os ensaios e simplificar significativamente a aparelhagem normalmente necessárias, adequando o modelo para viabilidade de aplicação, considerando limitações técnicas, financeiras e de tempo.

Para isso, propõe-se a análise criteriosa de patologias e suas severidades, através de levantamento visual, para direcionar os recursos disponíveis para os pontos mais críticos de reparo ou manutenção, preservando a vida útil do pavimento por mais tempo e otimizando o uso do orçamento público. Assim, visa-se otimizar as intervenções e planejar tais investimentos embasados em dados objetivos e fundamentados.

Ademais, no decorrer da pesquisa, verificou-se grande incidência de modelos de SGP que são baseados em índices subjetivos e objetivos ou combinações desses índices para classificar o estado de conservação da via e, desta maneira, prescrever a natureza da manutenção a ser aplicada, como corretiva, preventiva ou reconstrução, por exemplo.

A dificuldade observada com esta abordagem está na grande variedade de técnicas de M&R disponíveis e, além disso, a diferença de materiais, disponibilidade e custo entre técnicas. Existem diversas medidas consideradas “preventivas” a serem aplicadas, por exemplo. Entende-se que a análise realizada a partir da matriz proposta tende a ser mais objetiva e mais precisa.

Outra questão a ser ressaltada é que tal abordagem desconsidera as individualidades das patologias. Ignorar a heterogeneidade dos defeitos no momento da recomendação da intervenção, pode levar à subestimação da necessidade de ação, comprometendo a integridade do pavimento e aumentando custos a longo prazo. Como exemplo, uma via classificada como “boa” através dos índices de condição pode ter como indicação uma manutenção corriqueira. Contudo, tal análise impede a consideração de uma possível patologia que possa despertar a necessidade de outra intervenção específica, como fresagem e recapeamento apenas em sua extensão, por exemplo.

A maneira pela qual a matriz proposta é composta permite chegar à recomendação da técnica de manutenção de acordo com as características específicas da via e, mesmo com a conclusão obtida pela matriz, o avaliador tem a opção de aplicar uma análise subjetiva para eventuais necessidades pontuais. Tal fato pode representar uma característica valiosa em aplicações urbanas, onde a subjetividade e interpretação do avaliador podem identificar casos singulares para aplicação de uma ação particular.

Durante o desenvolvimento do sistema, fundamentado em uma extensa revisão bibliográfica, buscou-se identificar as principais necessidades, demandas e soluções viáveis para o problema estudado. Constatou-se, nesta fase, dificuldades associadas à falta de dados históricos sobre as condições dos pavimentos e à ausência de documentação sistemática das atividades de Manutenção e Reabilitação (M&R), as quais geralmente são executadas em situações críticas. Essa lacuna dificulta o acesso a informações fundamentais sobre a construção e a concepção estrutural dos pavimentos.

Contudo, o conhecimento das características e do histórico das vias são fundamentais para implementação de qualquer SGP. A criação desse inventário é um esforço inicial significativo, mas fundamental, e tornam-se menos operosos a atualização e o manutenção após concluído. No caso da metodologia proposta, esta permite a coleta de dados do inventário sem a necessidade de aparelhos ou ensaios específicos, o que possibilita um levantamento mais ágil e menos custoso, podendo ser realizado por equipes com menor especialização técnica. Isso torna o processo mais acessível, principalmente em termos de custo e tempo, para municípios ou concessionárias que desejam otimizar a gestão de suas vias.

Contudo, a aplicação de um SGP em áreas urbanas apresenta um desafio adicional devido à vasta extensão da malha viária urbana, que é consideravelmente mais complexa do que a malha rodoviária. Isso indica que a aplicação do sistema pode ser mais viável em malhas menores e mais segmentadas, como segmentos divididos por municípios ou por concessionárias responsáveis por determinadas regiões. Essa abordagem facilitaria a gestão e a manutenção contínua, permitindo que cada setor ou entidade gerencie de maneira eficiente suas respectivas áreas viárias, garantindo maior precisão nas ações de manutenção e otimização dos recursos.

A implementação do Sistema de Gerenciamento de Pavimentos Urbanos (SGPU) demonstrou que a ferramenta se caracteriza como uma metodologia eficiente para apoiar a tomada de decisão, otimizando o tempo e os custos das manutenções viárias. A caracterização das patologias e suas respectivas severidades permitiu a adoção de soluções mais econômicas e adequadas, frequentemente priorizando manutenções preventivas. Essas manutenções, além de apresentarem custos estimados menores que as corretivas, prolongam a vida útil dos pavimentos e reduzem o tempo de interdição das vias, resultando em economia de custos indiretos.

Esse procedimento contribui para tornar o ciclo de vida dos pavimentos mais econômico, reduzindo gastos públicos que, conseqüentemente, poderiam ser destinados a outras áreas prioritárias da gestão pública, além de melhorar a qualidade das vias urbanas. Outra

possibilidade seria o estabelecimento de parcerias público-privadas para a gestão de trechos viários, nas quais uma empresa privada se responsabilizaria pela manutenção de uma determinada malha viária, prestando contas à administração pública. Nesse contexto, a utilização de ferramentas eficazes de gerenciamento de manutenção seria fundamental para o sucesso da parceria.

Assim, um dos principais objetivos do sistema de gestão desenvolvido foi propor um modelo de atendimento às demandas prioritárias da malha viária, como aquelas com o Índice de Condição de Pavimento (ICP) crítico, e sugerir atividades de manutenção adequadas a cada via. Esse modelo baseia-se no fator mais relevante para o tráfego urbano: as patologias presentes na via. O sistema proposto, portanto, mostrou-se eficaz ao permitir que suas ferramentas atendam tais demandas.

Espera-se que o SGPU implementado no município estudado auxilie na melhoria dos serviços de infraestrutura urbana, otimizando o uso dos recursos públicos destinados a esse fim e trazendo benefícios diretos para a população.

Por fim, esta pesquisa apresenta uma contribuição para o meio acadêmico e prático, pelo caráter de análise desenvolvido. O principal diferencial em relação a outros estudos sobre o tema foi o desenvolvimento de uma matriz que transforma os dados obtidos em um plano de manutenção específico para cada via, considerando detalhadamente os defeitos e a severidade das patologias como fatores principais na tomada de decisão. Isso visa a maior viabilidade de aplicação urbana do sistema.

No tocante a pesquisas futuras, entende-se que seria proveitoso o desenvolvimento de módulos de diagnóstico e orçamento automatizados dentro do SGPU, principalmente quando integrados com outros sistemas de gerência de infraestrutura urbana, compondo um orçamento conjunto de manutenção de infraestrutura urbana. Isso inclui a integração com sistemas geográficos como o Sistema de Informações Geográficas (GIS), que integra dados de localização com informações descritivas, criando bases análise de contexto geográfico, entre diversas outras.

Além disso, percebe-se interessante a possibilidade de elaborar estudos de previsão de demandas e comportamento da malha viária para fundamentar planejamentos de manutenção e orçamentários em janelas maiores de tempo e, desta forma, deliberar um panorama aprofundado da condição da malha viária ao longo do tempo.

Referências

- (Aavik e Talvik 2008) AAVIK, ANDRUS; TALVIK, OTT — Use of falling weight deflectometer (FWD) measurement data for pavement structural evaluation and repair design. In: Proceeding of The 7th International Conference Environmental Engineering, Vilnius, Lithuania, 2008.
- (Alavi, S; LeCates, J. F.; Tavares 2008) Alavi, S; LeCates, J. F.; Tavares, M. P. — Falling Weight Deflectometer Usage: a Synthesis of Highway Practice. NCHRP Synthesis 381. Washington, DC: Transportation Research Board, 2008.
- (Albuquerque 2007) ALBUQUERQUE, Fernando Silva — Sistema de gerência de pavimento para departamentos de estradas do nordeste brasileiro. 2007.
- (AASHTO 1993) AASHTO, AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS — Guide for Design of Pavement Structures. Washington, DC: AASHTO, 1993.
- (AASHTO 2015) AASHTO, AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS — Pavement Design, Construction, and Management. Washington, DC: AASHTO, 2015.
- (Barella et al 2005) BARELLA, Rodrigo M. et al. — Irregularidade longitudinal de pavimentos: sensibilidade de perfis, correlação entre QI e IRI e comparação de equipamentos. In: Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, 19., 2005, Recife. ANPET, 2005.
- (Balbo 2007) BALBO, José Tadeu — Pavimentação asfáltica: materiais, projeto e restauração. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.
- (Barra Martins et al 2021) BARRA MARTINS, RENATA B. et al. — Análise da manutenção de pavimentos urbanos: uma proposta de implantação de um sistema de gerência de pavimentos. Iberoamerican Journal of Industrial Engineering, v. 13, n. 25, 2021.
- (Bernucci et al 2008) BERNUCCI, Liedi Légi B. et al. — Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro: ABEDA, 2008.
- (Bertollo 1997) BERTOLLO, Sandra Aparecida Margarido — Considerações sobre a gerência de pavimentos urbanos em nível de rede. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 1997.
- (Ministério da Infraestrutura 2019) BRASIL. Ministério da Infraestrutura — Rodovias Federais. Portal do Ministério da Infraestrutura. Brasília, 2019. Disponível em: <https://antigo.infraestrutura.gov.br/rodovias-brasileiras>. [Acesso em: 28 set. 2024].

- (Brownlow 1972) BROWNLOW, D. C – USE OF THE BENKELMAN BEAM IN EVALUATING THE DESIGN, CONSTRUCTION AND PERFORMANCE OF ASPHALTIC PAVEMENTS IN THE BOROUGH OF ETOBICOKE. Canadian Technical Asphalt Association, Proceeding, v. 17, 1972.
- (Bryce, J.; Boadi, R.; Groeger, J., 2019). BRYCE, James; BOADI, Richard; GROEGER, Jonathan — Relating pavement condition index and present serviceability rating for asphalt-surfaced pavements. Transportation Research Record, v. 2673, n. 3, p. 308-312, 2019.
- (Butt et al. 1994) BUTT, ABBAS A. et al. — Application of Markov process to pavement management systems at network level. In: 3rd International Conference on Managing Pavements, Washington, DC: National Research Council, Transportation Research Board, 1994. p. 159-172.
- (Caltrans 2007) CALTRANS. California Department of Transportation — Flexible pavement preservation. 2. ed. Division of Maintenance. California, 2007.
- (Causin 2001) CAUSIN, P. B. — Estudo de sistema de gerência de pavimentos para cidades de pequeno e médio porte. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2001.
- (CEPSA 2010) CEPSA PORTUGUESA — Manual de pavimentação. 2. ed. Lisboa, 2010.
- (Ceratti 2015) CERATTI, J. A.; BERNUCCI, L. B.; SOARES, J. B. — Utilização de ligantes asfálticos em serviços de pavimentação. Rio de Janeiro: ABEDA, 2015.
- (Clark, G.; Moore, K, 1991) CLARK, G. Norman; MOORE, Raymond K. — A critical assessment of pavement management standardization. ASTM International, 1991.
- (CEN 2005) CEN — EN 12274: Slurry surfacing — Test methods. Brussels: European Committee for Standardization, 2005.
- (CEN 2008) CEN — EN 12273: Slurry surfacing — Requirements. Brussels: European Committee for Standardization, 2008.
- (CNT 2015) CNT - CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE — Boletim estatístico em março de 2015. Confederação Nacional do Transporte, 2015. Disponível em: http://www.cnt.org.br/Paginas/Boletins_Detalhes.aspx?b=3. [Acesso em: 28 set. 2024].
- (CNT 2022) CNT - CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE — Rodovias brasileiras apresentam piora de qualidade. Brasília, 2022. Disponível em: <https://cnt.org.br/agencia-cnt/rodovias-brasileiras-apresentam-piora-de-qualidade>. [Acesso em: 28 set. 2024].

- (DER/SP 2006d) DER - DEPARTAMENTO DE ESTRADAS E RODAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO. DER/SP ET-DE-P00/021. Tratamentos superficiais. São Paulo, 2006.
- (DER/SP 2006a) DER - DEPARTAMENTO DE ESTRADAS E RODAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO. DER/SP — ET-DE-P00/022: Microrrevestimento asfáltico a frio. São Paulo: Departamento de Estradas de Rodagem de São Paulo, 2006.
- (DER/SP 2006c) DER - DEPARTAMENTO DE ESTRADAS E RODAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO. DER/SP ET-DE-P00/033. Pavimentação: Reciclagem in situ a frio com espuma de asfalto. São Paulo, 2006.
- (DER/SP 2006b) DER - DEPARTAMENTO DE ESTRADAS E RODAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO. DER/SP — ET-DE-P00/038-A: Fresagem de pavimento asfáltico. São Paulo: Departamento de Estradas de Rodagem de São Paulo, 2006.
- (DER/SP 2023) DER - DEPARTAMENTO DE ESTRADAS E RODAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO. DER/SP — Tabela de preços unitários. Referência: dezembro de 2023. Governo do Estado de São Paulo: Departamento de Estradas de Rodagem de São Paulo, 2023.
- (DER/PR 2017a) DER - DEPARTAMENTO DE ESTRADAS E RODAGEM DO ESTADO DO PARANÁ. DER/PR. ES-P 21/17. Pavimentação: concreto asfáltico usinado à quente. São Paulo, 2017.
- (DER/PR 2017) DER - DEPARTAMENTO DE ESTRADAS E RODAGEM DO ESTADO DO PARANÁ. DER/PR. ES-P 36/17. Pavimentação: tratamentos superficiais – ligantes convencionais e modificados. São Paulo, 2017.
- (DNER 1994) DNER - DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER — PRO 182/94: Medição da irregularidade de superfície de pavimento com sistemas integradores IPR/USP e Maysmeter. Rio de Janeiro, 1994.
- (DNER 1986) DNER - DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER — ES 173/86: Método de nível e mira para calibração de sistemas medidores de irregularidade tipo-resposta. Rio de Janeiro, 1986.
- (DNER 1994) DNER - DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER — PRO 164/94: Calibração e controle de sistemas medidores de irregularidade de superfície de pavimento (sistemas integradores IPR/USP e Maysmeter). Rio de Janeiro, 1994.
- (DNER 1985) DNER - DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER — PRO 159/85: Projeto de restauração de pavimentos flexíveis e semi-rígidos. Rio de Janeiro, 1985.
- (DNIT 2003c) DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE

- TRANSPORTE. DNIT 009/2003 - PRO: Avaliação subjetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos. Brasília, 2003c.
- (DNIT 2021) DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE. DNIT 433/2021 - PRO: Pavimentação – Levantamento do percentual de área trincada e de afundamento de trilha de roda de pavimento asfáltico em trechos experimentais, monitorados ou trechos homogêneos de curta extensão – Procedimento. Brasília, 2021.
- (DNIT 2015) DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE — Catálogo de soluções de manutenção para pavimentos flexíveis. Rio de Janeiro, 2015. 41 p.
- (DNIT 2005) DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE — Manual de conservação rodoviária. 2. ed. Rio de Janeiro, 2005. 564 p. (IPR. Publi., 710).
- (DNIT 2011) DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE — Manual de gerência de pavimentos. Rio de Janeiro, 2011. 189 p. (IPR. Publi., 745).
- (DNIT 2006b) DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE — Manual de pavimentação. 3. ed. Rio de Janeiro, 2006. 274 p. (IPR. Publi., 719).
- (DNIT 2006a) DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE — Manual de restauração de pavimentos asfálticos. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006. 310 p. (IPR. Publi., 720).
- (DNIT 2003a) DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE. DNIT 005/2003 - TER: Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos - Terminologia. Rio de Janeiro, 2003a. 12 p.
- (DNIT 2003b) DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE. DNIT 006/2003 - PRO: Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos - Procedimento. Rio de Janeiro, 2003b. 10 p.
- (FAA 2014) FAA - FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION — Airport pavement management program (PMP). Washington, DC, 2014. 18 p.
- (FHWA 1997) FHWA – FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. Asphalt Roadway Rehabilitation Alternatives: A Training Course (Participant's Handbook). Washington, DC, 1997. 129 p
- (FHWA 2014) FHWA - FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION — Distress identification manual: for the long-term pavement performance program. Washington, DC, 2014. 129 p.
- (Gonçalves 1999) GONÇALVES, Fernando Pugliero — O diagnóstico e a manutenção dos pavimentos. Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo,

- 1999.
- (Haas et al 1994) HAAS, R.; HUDSON, W. R.; ZANIEWSKI, J. — Modern pavement management. Malamar, Florida: Krieger Publishing Co., 1994.
- (Hansen 2008) HANSEN, A. — Aplicação de SIG em sistema de gerência de pavimentos para a cidade de Maringá. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Maringá, Maringá, PR, 2008.
- (Helali 2005) HELALI, K. et al. — Potential benefits of integrating preventive maintenance into New Jersey pavement management system.
- (Hudson 1997) HUDSON, W. RONALD et al. — Infrastructure management: integrating design, construction, maintenance, rehabilitation, and renovation. New York: McGraw Hill, 1997.
- (Ismail, N.; Ismail, A.; Atiq, R., 2009) ISMAIL, Norlela; ISMAIL, Amiruddin; ATIQ, Riza — An overview of expert systems in pavement management. European Journal of Scientific Research, v. 30, n. 1, p. 99-111, 2009.
- (La torre et al 2002) LA TORRE, Francesca; BALLERINI, Lorenzo; DI VOLO, Neri — Correlation between longitudinal roughness and user perception in urban areas. Transportation Research Record, v. 1806, n. 1, p. 131-139, 2002.
- (Lima et al 2004) LIMA, J. P. et al. — O uso de SIG em gerência de infraestrutura urbana de transportes: estudo de caso em São Carlos – SP. In: Workshop: Planejamento Integrado: Em busca de desenvolvimento sustentável para cidades de pequeno e médio porte, Universidade do Minho, Braga, Portugal, 2004.
- (Logaraj e Almeida 2009) LOGARAJ, SUNDARAM et al. — Surface-active bitumen additive for warm mix asphalt with adhesion promoting properties. Akzo Nobel Surface Chemistry LLC Paper. USA, 2009.
- (Matos 2004) MATOS, Fábio Cardoso De et al. — Gerência da manutenção da superfície de rolamento de vias urbanas utilizando SIG. 2004.
- (MNDOT 2011) MNDOT - MINNESOTA DEPARTMENT OF TRANSPORTATION — Pavement distress identification manual. Minnesota, 2011.
- (MNDOT 2020) MNDOT - MINNESOTA DEPARTMENT OF TRANSPORTATION — Pavement preservation manual. Minnesota, 2020.
- (MERO 2013) MERO - MATERIALS ENGINEERING AND RESEARCH OFFICE — Pavement design and rehabilitation manual. 2. ed. Ministry of Transportation, Ontario, 2013.
- (Molz et al 2020) MOLZ, Carine et al. A influência da irregularidade dos pavimentos nos custos totais de transporte: estudo de caso de uma rodovia do Rio Grande do Sul. In: Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte da ANPET (34.: 2020:[Virtual]). Anais [recurso eletrônico]. Rio de Janeiro: ANPET,, 2020.






- (ODOT 2006) ODOT - OHIO DEPARTMENT OF TRANSPORTATION — Pavement condition rating system. Ohio, 2006.
- (ODOT 2019) ODOT - OHIO DEPARTMENT OF TRANSPORTATION — Transportation asset management plan. Ohio, 2019.
- (Pantuso et al 2019) PANTUSO, ANTONIO et al. — Analysis of pavement condition survey data for effective implementation of a network level pavement management program for Kazakhstan. Sustainability, v. 11, n. 3, p. 901, Basel, 2019.
- (Paterson 1986) PATERSON, W.D – international roughness index: relationship to other measures of roughness and riding quality. Transportation Research Record. 1986
- (SÃO PAULO 2024) SÃO PAULO, Prefeitura da Cidade de — Um programa de recapeamento do tamanho de São Paulo. Diário Oficial, 2024. Disponível em: recape.prefeitura.sp.gov.br/recape/. [Acesso em: 28 ago. 2024].
- (Rada et al 2016) RADA, G. R. et al. — Pavement structural evaluation at the network level. United States. Federal Highway Administration. Office of Infrastructure Research and Development, McLean, 2016.
- (Retagi 2012) RETAGI, Rui Mauro Teixeira et al. Avaliação de uma base de dados para um sistema de gerência de pavimentos para a província de Maputo-Moçambique. 2012. Dissertação (Pós-Graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2012.
- (Romero et al 1994) ROMERO, RECAREDO et al. — Variation of deflection with measuring equipment and load speed on test track. Transportation Research Record, v. 1448, p. 53, 1994.
- (SDDOT 2021) SDDOT - SOUTH DAKOTA DEPARTMENT OF TRANSPORTATION — Pavement preservation guidelines. South Dakota, 2021.
- (SDDOT 2023) SDDOT - SOUTH DAKOTA DEPARTMENT OF TRANSPORTATION — Visual distress survey manual. South Dakota, 2023.
- (SHRP 1993) SHRP - STRATEGIC HIGHWAY RESEARCH PROGRAM — Distress identification manual for the long-term pavement performance project. National Academy of Science, Washington, DC, 1993.
- (Shahin 1979) SHAHIN, M. Y.; KOHN, D. S. — Development of a pavement condition rating procedure for roads, streets and parking lots. U.S. Army, 1979.
- (Shoji 2000) SHOJI, Eunice Satie — Desenvolvimento de um programa de sistema de gerência de pavimentos urbanos para cidades brasileiras de médio porte. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2000.







- (Videira 2014) VIDEIRA, Fátima Isabel Batista — Manual de conservação de pavimentos para pequenas redes rodoviárias municipais: bases para a sua elaboração. 2014. Tese (Doutorado). Instituto Superior de Engenharia de Coimbra.
- (Visconti 2000) VISCONTI, T. S. — O sistema gerencial de pavimentos do DNER. Portal Gov.br. Rio de Janeiro, 2000. Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/outros-documentos/sistema_gerencial_de_pavimentos_do_dner.pdf. [Acesso em: 28 set. 2024].
- (Visser 1978) VISSER, W. — Pavement evaluation with the falling-weight deflectometer. Transportation Research Board Special Report, n. 175, 1978.
- (White 2018) WHITE, Greg — Use of falling weight deflectometer for airport pavements. In: Transportation and Geotechniques: Materials, Sustainability and Climate: Proceedings of the 5th GeoChina International Conference 2018–Civil Infrastructures Confronting Severe Weathers and Climate Changes: From Failure to Sustainability, held on July 23 to 25, 2018 in HangZhou, China. Springer International Publishing, 2019. p. 119-133.
- (WSDOT 2020) WSDOT – WASHINGTON STATE DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. Maintenance Manual. M 51-01.11. Washington, 2020.
- (Zanchetta 2017) ZANCHETTA, Fábio — Sistema de gerência de pavimentos urbanos: avaliação de campo, modelo de desempenho e análise econômica. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo, 2017.
- (Zimmerman et al 2011) ZIMMERMAN, K. A. et al. — Update to AASHTO pavement management guide. Draft Report NCHRP Project 20-07, Task 277. Transportation Research Board, Washington, DC, 2011.
- (Zulu, K; Singh, R P.; Shaba, F 2020) ZULU, Kelvin; SINGH, Rajendra P.; SHABA, Farai Ada — Environmental and economic analysis of selected pavement preservation treatments. Civil Engineering Journal, v. 6, n. 2, p. 210-224, 2020.

Anexo I






**Levantamento de inventário das vias estudadas –
Levantamento fotográfico, formulário de levantamento,
formulário de ICP e matriz de decisão**





A.1 VIA #1 – Rua Piatá

Levantamento Fotográfico - Rua Piatá - Via #1					
Trecho	Defeito	Descrição	Área (m ²)	Abertura (mm)	Profundidade (mm)
Trecho 1		Trincas tipo bloco	64	10	N.A
		Trinca longitudinal	1,5	9	N.A
		Panelas ou buracos	1 m ² / 1 m ²	N.A	20mm / 13mm
		Afundamento na trilha de roda	4	N.A	20mm
		Remendo com afundamento por consolidação, acompanhado de trincas transversais	1,5 m ² / 3,5 m ²	8mm	9mm

Trecho 2		Afundamento plástico	N.A	N.A	12mm
		Trincas tipo bloco Leve erosão	5	7mm	N.A
Trecho 3		Trincas longitudinais interligadas Erosão das bordas	3,75	21mm	N.A
		Remendo com afundamento por consolidação, acompanhado de Trincas transversais e nas bordas	4	13mm	12mm
		Buraco na divisão com sarjeta	0,03	N.A	5mm
		Remendo com afundamento por consolidação, acompanhado de trincas transversais e nas bordas	2,5	7mm	11mm

Trecho 4		Sarjeta em más condições	-	-	-
		Trincas longitudinais interligadas Erosão das bordas	10	9mm	N.A
		Buraco	0,1	N.A	21mm
		Remendo com afundamento por consolidação	1	N.A	11mm
		Afundamento por consolidação com desnível entre a pista e sarjeta	3	N.A	21mm

Trecho 5		Afundamento por consolidação	2,6	N.A	14mm
		Trincas transversais com múltiplas Trincas secundárias	3	10mm	N.A
		Afundamento por consolidação	0,84	N.A	13mm
		Remendo com escorregamento do material betuminoso	3,5	N.A	N.A
		Buraco	0,03	N.A	15mm

Trecho 6		Buraco	0,08	N.A	16mm
		Desgaste da superfície	2	N.A	N.A
		Desnível sarjeta e trinca longitudinal na divisão do pavimento com a sarjeta	N.A	4mm	20mm
		Remendo com desnível e escorregamento	13,9	N.A	N.A

	Remendo	1,75	N.A	N.A
	Trinca radial em interferência com leve erosão nas bordas	2,4	10mm	N.A
	Trincas transversais interligadas	18	10mm	N.A

Figura 51: Levantamento fotográfico via #1

FORMULÁRIO DE LEVANTAMENTO DE INVENTÁRIO										
Identificação da via: Rua Piatá 759-863		Data: 16/06/2024					Código: #1			
Extensão: 111,4 m		Responsável: Victor S.								
Largura: 6,95 m		Órgão/Cidade: São Paulo								
Defeito	Medida	Trecho 1	Trecho 2	Trecho 3	Trecho 4	Trecho 5	Total			
		Medição	Medição	Medição	Medição	Medição	Medição	Severidade*	Extensão	Nível Deterioração*
Desgaste superficial / Desagregação	Área (m ²)				3,00	2,00	0,6%	M	O	6
Exsudação ou Polimento Superficial	Agregado visível (1)									
	Superfície preta (2)									
Remendos (m²)	Área (m ²)									
	Quantidade (un)		1	1	1	4	7	A	O	4
Desintegração da Superfície / Descolamento / Cavidades	Área (m ²)		5,00	4,00	2,50	19,50	31,00			
	Profundidade (mm)									
Deficiência na selagem de trincas	(%)							NA	E	NA
Afundamentos	Profundidade (mm)	20	12	12	21	20	21	A	O	3
	Área (m ²)	4,00	8,00	1,00	4,00	7,50	2,9%			
Aterros	Quantidade (un)									
Buracos ou "Panelas"	Quantidade (un)	2		1	1	2	6	M	E	3
	Área (m ²)	2,00		0,03	0,10	0,11	2,24			
	Profundidade (mm)	20		5	21	16	21			
Trincas tipo "jacaré" (m²)	Área (m ²)									
	Abertura (mm)									
Trincas em bloco (m²)	Área (m ²)	64,00	5,00				8,3%	A	E	5
	Abertura (mm)	10	7				10			
Trincas transversais (m²)	Área (m ²)		5,00	4,00	2,50	21,00	3,9%	M	O	7
	Abertura (mm)		8	13	7	10	13			
Trincas longitudinais (m²)	Área (m ²)	1,50		3,75	10,00		1,8%	M	O	5
	Abertura (mm)	9		21	9		21			
Trincas nas bordas	Comprimento (m)					5,00	4,5%	B	O	8
	Abertura (mm)					4	4			
Trincas térmicas	Área (m ²)									
	Abertura (mm)									
*Severidade (B/M/A) com base no ICP, e nível de deterioração do pavimento (1-10)										
Observações:		Croqui:					Anotações:			
							Assinatura: _____			

Figura 52: Formulário de campo via #1

ICP - NÍVEIS DE SEVERIDADE E EXTENSÃO

TIPO DE DETERIORAÇÃO	Peso	GRAVIDADE*			EXTENSÃO**			ESTADO***
		B	M	A	O	F	E	
Desagregação	10	Ligeira perda de areia	Textura aberta	Áspero ou esburacado	<20%	20-50%	>50%	
Exsudação	5	Não avaliado	Ágregado e betume visíveis	Superfície preta	<10%	10-30%	>30%	
Remendos	5	<0,09 m ²	<0,84 m ²	>0,84 m ²	<6/km	6-12/km	>12/km	
Desintegração da Superfície / Descolamento / Cavidades	5	Profundidade <25 mm, área <0,84 m ²	<25 mm, >0,84 m ² ; >25 mm, <0,84 m ²	>25 mm e >0,84 m ²	<3/km	3-6/km	>6/km	
Deficiência na selagem de trincas	5	Não considerado			<50%	>50%	Sem selante	
Afundamento	10	3-10 mm	10-19 mm	>19 mm	<20%	20-50%	>50%	U
Aterros	0	Efeito notável na viagem	Algum desconforto	Má viagem	<1,2/km	1,2-2,5/km	>2,5/km	
Buracos ou "Panelas"	10	profundidade <25 mm, área <0,84 m ²	<25 mm, >0,84 m ² ; >25 mm, <0,84 m ²	>25 mm e >0,84 m ²	<3/km	3-6/km	>6/km	U
Trincas nas trilhas das rodas	15	Trincas simples/múltiplas <6 mm	Trincas múltiplas >6 mm	Trincamento em "couro de jacaré" >6 mm com fragmentação	<20%	20-50%	>50%	U
Trincas em bloco e transversais	10	>1,8 m x 1,8 m ou trincas transversais	1,8 m x 1,8 m a 0,9 m x 0,9 m	<0,9 m x 0,9 m	<20%	20-50%	>50%	
Trincas longitudinais	5	Simples, <6 mm, sem fragmentação	Simples/múltiplas 6-25 mm, alguma fragmentação	Múltiplas, >25 mm, com fragmentação	<15 m por 30 m	15-45 m por 30 m	>45 m por 30 m	U
Trincas nas bordas	10	Abertas, <6 mm	>6 mm, alguma fragmentação	>6 mm, fragmentação moderada	<20%	20-50%	>50%	U
Trincas térmicas	10	<6 mm	6-25 mm	>25 mm	CS > 60 m	CS 22,5-60 m	CS <22,5 m	

Código:
#1

***Defeitos incluídos no cálculo de deduções estruturais

ICP - FATORES DE PONDERAÇÃO DO ÍNDICE DE CONDIÇÃO DO PAVIMENTO

TIPO DE DETERIORAÇÃO	Peso	PESO DE GRAVIDADE*			PESO DE EXTENSÃO			PONTOS DE DEDUÇÃO*	ESTRUTURAL
		B	M	A	O	F	E		
Desagregação	10	0,3	0,6	1	0,5	0,8	1	3	
Exsudação	5	0,8	0,8	1	0,6	0,9	1	0	
Remendos	5	0,3	0,6	1	0,6	0,8	1	3	
Desintegração da Superfície / Descolamento / Cavidades	5	0,4	0,7	1	0,5	0,8	1	0	
Deficiência na selagem de trincas	5	1	1	1	0,5	0,8	1	5	
Afundamento	10	0,3	0,7	1	0,6	0,8	1	6	T
Aterros	0	0	0	0	0	0	0	0	
Buracos ou "Panelas"	10	0,4	0,8	1	0,5	0,7	1	8	T
Trincas nas trilhas das rodas	15	0,4	0,7	1	0,5	0,7	1	0	T
Trincas em bloco e transversais	10	0,4	0,7	1	0,5	0,7	1	10	
Trincas longitudinais	5	0,4	0,7	1	0,5	0,7	1	1,75	T
Trincas nas bordas	10	0,4	0,7	1	0,5	0,7	1	2	T
Trincas térmicas	10	0,4	0,7	1	0,5	0,7	1	0	

*B = BAIXA
M = MÉDIA
A = ALTA

**O = OCASIONAL
F = FREQUENTE
E = EXTENSIVA

Dedução Total = **38,8**
Soma de dedução estrutural = **17,8**
100-Dedução Total = ICP = **61,3**

Figura 53: Formulário ICP via #1






Manutenção	Não fazer nada	Não fazer nada	Não fazer nada	Não fazer nada / Preenchimento de trincas	Selagem de trincas / Microrrevestimento/ Lama Asfáltica	Microrrevestimento / Lama Asfáltica / Recapeamento	Reciclagem ou remendo superficial	Remendo profundo ou reciclagem total	Reconstrução e reparo da base	Reconstrução total	
Nível	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
Avaliação	Nova construção	Reabilitação recente, condições semelhantes a um novo pavimento	Revestimento recente ou aplicação recente de nova camada asfáltica	Primeiros sinais de envelhecimento	Sinais de envelhecimento mas boas condições estruturais	Envelhecimento mais graves da superfície, mas boas condições estruturais	Envelhecimento significativo e primeiros sinais de necessidade de reforços	Camada de revestimento comprometida	Deterioração severa	Falha	
Trincas longitudinais	Nova construção	Reabilitado recentemente	Apenas reflexão de juntas/Seladas/ de baixa gravidade (<=6mm abertura)	Abertas 6mm a 13 mm por reflexão ou juntas; Baixa deteriorização	Abertas de 6 a 13 mm por reflexão ou juntas; Deteriorização moderada	Abertas 13 a 25 mm; Erosão e trincas secundárias; Fissuração longitudinal das extremidades do pavimento	Trincas abertas > 25mm; Múltiplas Trincas com desgaste; Trincas na trilha de roda	Trincas próximas, formando interligações, com desagregação, erosão de borda ou fragmentação; Abertas >25 mm;		Falha	
Trincas transversais			Ocasionais/bem espaçadas (>12m)/Seladas ou de baixa gravidade (<=6mm abertura)	Abertas 6mm a 13 mm espaçadas de 6 a 12 metros; Baixa deteriorização	Abertas de 6 a 13 mm, algumas espaçadas a menos de 3m; Deteriorização moderada	Abertas 13 a 25 mm; Erosão e trincas secundárias	Trincas abertas > 25mm; Múltiplas Trincas com desgaste;	Trincas próximas, formando interligações, com desagregação, erosão de borda ou fragmentação; Abertas >25 mm;			
Trincas em bloco					Sinais de primeiras aparições (<=10%); Blocos maiores que 1,8 m x 1,8 m	Até 50% da superfície (<=10% A <=50%); Blocos com lados entre 0,9 m e 1,8 m	Acima de 50% da superfície; Blocos menores que 0,9 m x 0,9 m	Acima de 50% da superfície; Blocos menores que 0,9 m x 0,9 m; Fragmentação, deteriorização das bordas			
Trincas tipo "jacaré"								Até 25% da área da superfície; ou com depressão > 13 mm (*)	Acima de 25% da área da superfície		
Desgaste superficial (desagregação)				Pouco desgaste causado pelo tráfego (**)	Desagregação leve com perda de finos; Área <20%	Moderada-severa (perda de agregados finos e graúdos); 20% < Área < 50%	Desagregação severa, aspera e esburacada; Área >50%				
Polimento superficial				Polimento leve; ou < 20% (**)	Polimento moderado; ou 20 - 50%	Polimento extensivo ou severo; ou > 50%					
Afundamentos						Afundamentos leves, não apresentam risco ao tráfego (<9mm); <20%	Leves afundamentos ou irregularidades (<= 13mm), pode apresentar risco; <20%	Afundamentos moderados (entre 13 a 25mm); ou 20 - 50%	Afundamentos severos >50mm; ou > 50%		
Remendos				Excelentes condições ou boas condições (**)		Alguns remendos e separações da borda do pavimento	Remendos com outros defeitos associados; outros defeitos associados de nível 5 ou inferior	Remendos com outros defeitos associados de nível 4 ou inferior	Remendos extensivos em condições ruins; outros defeitos associados de nível 3 ou inferior		
Paneles ou buracos				Pequenos buracos, fora da trilha de roda, com pouca ocorrência (**)		Profundidade <= 10mm; <= 1 ocorrência / 100m	Poucas ocorrências; profundidade <25 mm, área <0,84 m²	Buracos ocasionais; ou (<25 mm, >0,84 m²); (>25 mm, <0,84 m²);	Buracos frequentes; ou (>25 mm e >0,84 m²)		






(*) No caso de ser o único defeito da seção, realizar "recapamento com CAUQ"

(**) Não fazer nada

Figura 54: Matriz de decisão via #1

A.2 VIA #2 – Rua Anacleto

Levantamento Fotográfico - Rua Anacleto - Via #2					
Trecho	Defeito	Descrição	Área (m ²)	Abertura (mm)	Profundidade (mm)
Trecho 1		Fissuras transversais interligadas	1,4	10	NA
		Remendos bem executados	18	NA	NA
		Trincas em bloco com desgaste superficial	6,1	20	NA
		Acostamento em más condições	NA	NA	NA
		Trincas transversais interligadas	5	8	NA

Trecho 2		Trincas em bloco	5,6	20	NA
		Remendo com defeitos	5	NA	NA
		Remendo bem executado	33,5	NA	NA
		Desgaste e trinca tipo "couro de jacaré"	2,8	15	NA
		Trincas transversais interligadas	3,1	8	NA





Trecho 3		Trincas longitudinais interligadas	23,1	8	NA
		Desgaste superficial	7,7	8	NA
		Afundamento por consolidação	2,5	NA	10
		Remendos bem executados	15	NA	NA

Figura 55: Levantamento fotográfico via #2

FORMULÁRIO DE LEVANTAMENTO DE INVENTÁRIO											
Identificação da via: Rua Anacleto 94-221		Data: 20/08/2024					Código: #2				
Extensão: 84,20 m		Responsável: Victor S.									
Largura: 7,70 m		Órgão/Cidade: São Paulo									
Defeito	Medida	Trecho 1	Trecho 2	Trecho 3	Trecho 4	Trecho 5	Total				
		Medição	Medição	Medição	Medição	Medição	Medição	Severidade*	Extensão	Nível Deterioração*	
Desgaste superficial / Desagregação	Área (m ²)	5,13		6,25	7,70		2,9%	M	O	6	
Exsudação ou Polimento Superficial	Agregado visível (1)										
	Superfície preta (2)										
	Área (m ²)										
Remendos (m²)	Quantidade (un)	4	4	3			11	A	F	7	
	Área (m ²)	18,00	38,50	15,00			71,50				
Desintegração da Superfície / Descolamento / Cavidades	Área (m ²)				1,10		1,10	A	O	6	
	Profundidade (mm)				30		30				
Deficiência na selagem de trincas	(%)							NA	O	NA	
Afundamentos	Profundidade (mm)			10	35		35	A	O	3	
	Área (m ²)			2,50	3,00		0,8%				
Aterros	Quantidade (un)										
Buracos ou "Panelas"	Quantidade (un)										
	Área (m ²)										
	Profundidade (mm)										
Trincas tipo "jacaré" (m²)	Área (m ²)		2,80				0,4%	A	O	3	
	Abertura (mm)		15				15				
Trincas em bloco (m²)	Área (m ²)	6,09	5,60				1,8%	A	O	4	
	Abertura (mm)	20	20				20				
Trincas transversais (m²)	Área (m ²)	1,40	5,00	3,08			1,5%	A	O	6	
	Abertura (mm)	10	8	8			10				
Trincas longitudinais (m²)	Área (m ²)			23,10	3,50		4,1%	M	O	6	
	Abertura (mm)			8	7		8				
Trincas nas bordas	Comprimento (m)										
	Abertura (mm)										
Trincas térmicas	Área (m ²)										
	Abertura (mm)										
<small>*Severidade (B/M/A) com base no ICP, e nível de deterioração do pavimento (1-10)</small>											
Observações:		Croqui:						Anotações:			
						Assinatura: _____					

Figura 56: Formulário de campo via #2

ICP - NÍVEIS DE SEVERIDADE E EXTENSÃO

TIPO DE DETERIORAÇÃO	Peso	GRAVIDADE*			EXTENSÃO**			ESTADO***
		B	M	A	O	F	E	
Desagregação	10	Ligeira perda de areia	Textura aberta	Áspero ou esburacado	<20%	20-50%	>50%	
Exsudação	5	Não avaliado	Agregado e betume visíveis	Superfície preta	<10%	10-30%	>30%	
Remendos	5	<0,09 m ²	<0,84 m ²	>0,84 m ²	<6/km	6-12/km	>12/km	
Desintegração da Superfície / Descolamento / Cavidades	5	Profundidade <25 mm, área <0,84 m ²	<25 mm, >0,84 m ² ; >25 mm, <0,84 m ²	>25 mm e >0,84 m ²	<3/km	3-6/km	>6/km	
Deficiência na selagem de trincas	5	Não considerado			<50%	>50%	Sem selante	
Afundamento	10	3-10 mm	10-19 mm	>19 mm	<20%	20-50%	>50%	U
Aterros	0	Efeito notável na viagem	Algum desconforto	Má viagem	<1,2/km	1,2-2,5/km	>2,5/km	
Buracos ou "Painéis"	10	profundidade <25 mm, área <0,84 m ²	<25 mm, >0,84 m ² ; >25 mm, <0,84 m ²	>25 mm e >0,84 m ²	<3/km	3-6/km	>6/km	U
Trincas nas trilhas das rodas	15	Trincas simples/múltiplas <6 mm	Trincas múltiplas >6 mm	Trincamento em "couro de jacaré" >6 mm com fragmentação	<20%	20-50%	>50%	U
Trincas em bloco e transversais	10	>1,8 m x 1,8 m ou trincas transversais	1,8 m x 1,8 m a 0,9 m x 0,9 m	<0,9 m x 0,9 m	<20%	20-50%	>50%	
Trincas longitudinais	5	Simples, <6 mm, sem fragmentação	Simples/múltiplas 6-25 mm, alguma fragmentação	Múltiplas, >25 mm, com fragmentação	<15 m por 30 m	15-45 m por 30 m	>45 m por 30 m	U
Trincas nas bordas	10	Abertas, <6 mm	>6 mm, alguma fragmentação	>6 mm, fragmentação moderada	<20%	20-50%	>50%	U
Trincas térmicas	10	<6 mm	6-25 mm	>25 mm	CS > 60 m	CS 22,5-60 m	CS <22,5 m	

Código:
#2

***Defeitos incluídos no cálculo de deduções estruturais

ICP - FATORES DE PONDERAÇÃO DO ÍNDICE DE CONDIÇÃO DO PAVIMENTO

TIPO DE DETERIORAÇÃO	Peso	PESO DE GRAVIDADE*			PESO DE EXTENSÃO			PONTOS DE DEDUÇÃO*	ESTRUTURAL
		B	M	A	O	F	E		
Desagregação	10	0,3	0,6	1	0,5	0,8	1	3	
Exsudação	5	0,8	0,8	1	0,6	0,9	1	0	
Remendos	5	0,3	0,6	1	0,6	0,8	1	4	
Desintegração da Superfície / Descolamento / Cavidades	5	0,4	0,7	1	0,5	0,8	1	2,5	
Deficiência na selagem de trincas	5	1	1	1	0,5	0,8	1	2,5	
Afundamento	10	0,3	0,7	1	0,6	0,8	1	6	T
Aterros	0	0	0	0	0	0	0	0	
Buracos ou "Painéis"	10	0,4	0,8	1	0,5	0,7	1	0	T
Trincas nas trilhas das rodas	15	0,4	0,7	1	0,5	0,7	1	7,5	T
Trincas em bloco e transversais	10	0,4	0,7	1	0,5	0,7	1	5	
Trincas longitudinais	5	0,4	0,7	1	0,5	0,7	1	1,75	T
Trincas nas bordas	10	0,4	0,7	1	0,5	0,7	1	0	T
Trincas térmicas	10	0,4	0,7	1	0,5	0,7	1	0	

*B = BAIXA
M = MÉDIA
A = ALTA

**O = OCASIONAL
F = FREQUENTE
E = EXTENSIVA

Dedução Total = 32,3
Soma de dedução estrutural = 15,3
100-Dedução Total = ICP = 67,8

Figura 57: Formulário ICP via #2

Manutenção	Não fazer nada	Não fazer nada	Não fazer nada	Não fazer nada / Preenchimento de trincas	Selagem de trincas / Microrrevestimento/ Lama Asfáltica	Microrrevestimento / Lama Asfáltica / Recapeamento	Reciclagem ou remendo superficial	Remendo profundo ou reciclagem total	Reconstrução e reparo da base	Reconstrução total	
Nível	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
Avaliação	Nova construção	Reabilitação recente, condições semelhantes a um novo pavimento	Revestimento recente ou aplicação recente de nova camada asfáltica	Primeiros sinais de envelhecimento	Sinais de envelhecimento mas boas condições estruturais	Envelhecimento mais graves da superfície, mas boas condições estruturais	Envelhecimento significativo e primeiros sinais de necessidade de reforços	Camada de revestimento comprometida	Deterioração severa	Falha	
Trincas longitudinais	Nova construção	Reabilitado recentemente	Apenas reflexão de juntas/Seladas/ de baixa gravidade (<=6mm abertura)	Abertas 6mm a 13 mm por reflexão ou juntas; Baixa deteriorização	Abertas de 6 a 13 mm por reflexão ou juntas; Deteriorização moderada	Abertas 13 a 25 mm; Erosão e trincas secundárias; Fissuração longitudinal das extremidades do pavimento	Trincas abertas > 25mm; Múltiplas Trincas com desgaste; Trincas na trilha de roda	Trincas próximas, formando interligações, com desagregação, erosão de borda ou fragmentação; Abertas >25 mm;		Falha	
Trincas transversais			Ocasionais/bem espaçadas (>12m)/Seladas ou de baixa gravidade (<=6mm abertura)	Abertas 6mm a 13 mm espaçadas de 6 a 12 metros; Baixa deteriorização	Abertas de 6 a 13 mm, algumas espaçadas a menos de 3m; Deteriorização moderada	Abertas 13 a 25 mm; Erosão e trincas secundárias	Trincas abertas > 25mm; Múltiplas Trincas com desgaste;	Trincas próximas, formando interligações, com desagregação, erosão de borda ou fragmentação; Abertas >25 mm;			
Trincas em bloco					Sinais de primeiras aparições (<=10%); Blocos maiores que 1,8 m x 1,8 m	Até 50% da superfície (<=10% A <=50%); Blocos com lados entre 0,9 m e 1,8 m	Acima de 50% da superfície; Blocos menores que 0,9 m x 0,9 m	Acima de 50% da superfície; Blocos menores que 0,9 m x 0,9 m; Fragmentação, deteriorização das bordas			
Trincas tipo "jacaré"								Até 25% da área da superfície; ou com depressão > 13 mm (*)	Acima de 25% da área da superfície		
Desgaste superficial (desagregação)				Pouco desgaste causado pelo tráfego (**)	Desagregação leve com perda de finos; Área <20%	Moderada-severa (perda de agregados finos e graúdos); 20% < Área < 50%	Desagregação severa, aspera e esburacada; Área >50%				
Polimento superficial				Polimento leve; ou < 20% (**)	Polimento moderado; ou 20 - 50%	Polimento extensivo ou severo; ou > 50%					
Afundamentos							Afundamentos leves, não apresentam risco ao tráfego (<9mm); <20%	Leves afundamentos ou irregularidades (<= 13mm), pode apresentar risco; <20%	Afundamentos moderados (entre 13 a 25mm); ou 20 - 50%		Afundamentos severos >50mm; ou > 50%
Remendos				Excelentes condições ou boas condições (**)			Alguns remendos e separações da borda do pavimento	Remendos com outros defeitos associados; outros defeitos associados de nível 5 ou inferior	Remendos com outros defeitos associados; outros defeitos associados de nível 4 ou inferior		Remendos extensivos em condições ruins; outros defeitos associados de nível 3 ou inferior
Paneis ou buracos					Pequenos buracos, fora da trilha de roda, com pouca ocorrência (**)		Profundidade <= 10mm; <= 1 ocorrência / 100m	Poucas ocorrências; profundidade <25 mm, área <0,84 m²	Buracos ocasionais; ou (<25 mm, >0,84 m²); (>25 mm, <0,84 m²);		Buracos frequentes; ou (>25 mm e >0,84 m²)

(*) No caso de ser o único defeito da seção, realizar "recapeamento fino com CAUQ"

(**) Não fazer nada






Figura 58: Matriz de decisão via #2

Possível solução: Realizar remendo profundo nas regiões envelhecidas e com necessidade de reparo, no caso afundamentos e trincas em bloco / couro de jacaré. Selar as demais trincas.

A.3 VIA #3 – Rua Carapocaia

Levantamento Fotográfico - Rua Carapocaia - Via #3					
Trecho	Defeito	Descrição	Área (m ²)	Abertura (mm)	Profundidade (mm)
Trecho 1		Trincas longitudinais interligadas	81,6	9	NA
		Desgaste	0,35	NA	NA
		Afundamento por consolidação	14	NA	15
		Trincas de borda	NA	15	NA

Trecho 2		Trincas transversais interligadas	6,8	12	NA
		Remendos com afundamento por consolidação	8,3	NA	21
					
		Remendo com defeitos associados e descolamento da superfície	1,2	NA	9
	Trincas transversais interligadas	16,3	19	NA	

Trecho 3		Trincas longitudinais interligadas	23,1	20	NA
		Afundamento por consolidação	2,4	NA	26
Trecho 4		Trincas longitudinais interligadas	27,2	16	NA
		Buracos	0,2	NA	40
		Remendo com afundamento por consolidação e trincas associadas	4,9	NA	21


	Desgaste	1,4	NA	NA
---	----------	-----	----	----

Figura 59: Levantamento fotográfico via #3

FORMULÁRIO DE LEVANTAMENTO DE INVENTÁRIO

Identificação da via: Rua Carapocala 45-119 Data: 20/08/2024 Código: #3
 Extensão: 85,70 m Responsável: Victor S.
 Largura: 6,80 m Órgão/Cidade: São Paulo

Defeito	Medida	Trecho 1	Trecho 2	Trecho 3	Trecho 4	Trecho 5	Total			
		Medição	Medição	Medição	Medição	Medição	Medição	Severidade*	Extensão	Nível Deterioração*
Desgaste superficial / Desagregação	Área (m ²)	0,35			1,40		0,3%	B	O	7
Exsudação ou Polimento Superficial	Agregado visível (1)									
	Superfície preta (2)									
Remendos (m ²)	Quantidade (un)		5	3	4		12	A	E	3
	Área (m ²)		8,29	4,38	4,12		16,79			
Desintegração da Superfície / Descolamento / Cavidades	Área (m ²)		1,20				1,20	M	O	7
	Profundidade (mm)		9				9			
Deficiência na selagem de trincas (%)								NA	O	NA
Afundamentos	Profundidade (mm)	15	21	26	22		26	A	O	3
	Área (m ²)	14,00	8,29	2,38	4,92		5,1%			
Aterros	Quantidade (un)									
Buracos ou "Panelas"	Quantidade (un)				2		2			
	Área (m ²)				0,18		0,18	M	O	3
	Profundidade (mm)				40		40			
Trincas tipo "Jacaré" (m ²)	Área (m ²)									
	Abertura (mm)									
Trincas em bloco (m ²)	Área (m ²)									
	Abertura (mm)									
Trincas transversais (m ²)	Área (m ²)		6,80	16,32			4,0%	B	O	5
	Abertura (mm)		12	19			19			
Trincas longitudinais (m ²)	Área (m ²)	81,60		23,12	27,20		22,6%	M	F	5
	Abertura (mm)	9		20	16		20			
Trincas nas bordas	Comprimento (m)	2,10					2,4%	A	O	5
	Abertura (mm)	15					15			
Trincas térmicas	Área (m ²)									
	Abertura (mm)									

*Severidade (B/M/A) com base no ICP, e nível de deterioração do pavimento (1-10)

Observações:	Croqui:							Anotações:
								Assinatura: _____

Figura 60: Formulário de campo via #3

ICP - NÍVEIS DE SEVERIDADE E EXTENSÃO

TIPO DE DETERIORAÇÃO	Peso	GRAVIDADE*			EXTENSÃO**			ESTADO***
		B	M	A	O	F	E	
Desagregação	10	Ligeira perda de areia	Textura aberta	Áspero ou esburacado	<20%	20-50%	>50%	
Exsudação	5	Não avallado	Agregado e betume visíveis	Superfície preta	<10%	10-30%	>30%	
Remendos	5	<0,09 m ²	<0,84 m ²	>0,84 m ²	<6/km	6-12/km	>12/km	
Desintegração da Superfície / Descolamento / Cavidades	5	Profundidade <25 mm, área <0,84 m ²	<25 mm, >0,84 m ² ; >25 mm, <0,84 m ²	>25 mm e >0,84 m ²	<3/km	3-6/km	>6/km	
Deficiência na selagem de trincas	5	Não considerado			<50%	>50%	Sem selante	
Afundamento	10	3-10 mm	10-19 mm	>19 mm	<20%	20-50%	>50%	U
Aterros	0	Efeito notável na viagem	Algum desconforto	Má viagem	<1,2/km	1,2-2,5/km	>2,5/km	
Buracos ou "Painéis"	10	profundidade <25 mm, área <0,84 m ²	<25 mm, >0,84 m ² ; >25 mm, <0,84 m ²	>25 mm e >0,84 m ²	<3/km	3-6/km	>6/km	U
Trincas nas trilhas das rodas	15	Trincas simples/múltiplas <6 mm	Trincas múltiplas >6 mm	Trincamento em "couro de jacaré" >6 mm com fragmentação	<20%	20-50%	>50%	U
Trincas em bloco e transversais	10	>1,8 m x 1,8 m ou trincas transversais	1,8 m x 1,8 m a 0,9 m x 0,9 m	<0,9 m x 0,9 m	<20%	20-50%	>50%	
Trincas longitudinais	5	Simple, <6 mm, sem fragmentação	Simple/múltiplas 6-25 mm, alguma fragmentação	Múltiplas, >25 mm, com fragmentação	<15 m por 30 m	15-45 m por 30 m	>45 m por 30 m	U
Trincas nas bordas	10	Abertas, <6 mm	>6 mm, alguma fragmentação	>6 mm, fragmentação moderada	<20%	20-50%	>50%	U
Trincas térmicas	10	<6 mm	6-25 mm	>25 mm	CS > 60 m	CS 22,5-60 m	CS <22,5 m	

Código:
#3

*** Defeitos inclusos no calculo de deduções estruturais

ICP - FATORES DE PONDERAÇÃO DO ÍNDICE DE CONDIÇÃO DO PAVIMENTO

TIPO DE DETERIORAÇÃO	Peso	PESO DE GRAVIDADE*			PESO DE EXTENSÃO			PONTOS DE DEDUÇÃO*	ESTRUTURAL
		B	M	A	O	F	E		
Desagregação	10	0,3	0,6	1	0,5	0,8	1	1,5	
Exsudação	5	0,8	0,8	1	0,6	0,9	1	0	
Remendos	5	0,3	0,6	1	0,6	0,8	1	5	
Desintegração da Superfície / Descolamento / Cavidades	5	0,4	0,7	1	0,5	0,8	1	1,75	
Deficiência na selagem de trincas	5	1	1	1	0,5	0,8	1	2,5	
Afundamento	10	0,3	0,7	1	0,6	0,8	1	6	T
Aterros	0	0	0	0	0	0	0	0	
Buracos ou "Painéis"	10	0,4	0,8	1	0,5	0,7	1	4	T
Trincas nas trilhas das rodas	15	0,4	0,7	1	0,5	0,7	1	0	T
Trincas em bloco e transversais	10	0,4	0,7	1	0,5	0,7	1	0	
Trincas longitudinais	5	0,4	0,7	1	0,5	0,7	1	2,45	T
Trincas nas bordas	10	0,4	0,7	1	0,5	0,7	1	5	T
Trincas térmicas	10	0,4	0,7	1	0,5	0,7	1	0	
								Dedução Total=	28,2
								Soma de dedução estrutural=	17,45
								100-Dedução Total = ICP =	71,8

*B = BAIXA
M = MÉDIA
A = ALTA

**O = OCASIONAL
F = FREQUENTE
E = EXTENSIVA




Figura 61: Formulário ICP via #3

Manutenção	Não fazer nada	Não fazer nada	Não fazer nada	Não fazer nada / Preenchimento de trincas	Selagem de trincas / Microrrevestimento/ Lama Asfáltica	Microrrevestimento / Lama Asfáltica / Recapeamento	Reciclagem ou remendo superficial	Remendo profundo ou reciclagem total	Reconstrução e reparo da base	Reconstrução total	
Nível	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
Avaliação	Nova construção	Reabilitação recente, condições semelhantes a um novo pavimento	Revestimento recente ou aplicação recente de nova camada asfáltica	Primeiros sinais de envelhecimento	Sinais de envelhecimento mas boas condições estruturais	Envelhecimento mais graves da superfície, mas boas condições estruturais	Envelhecimento significativo e primeiros sinais de necessidade de reforços	Camada de revestimento comprometida	Deterioração severa	Falha	
Trincas longitudinais	Nova construção	Reabilitado recentemente	Apenas reflexão de juntas/Seladas/ de baixa gravidade (<=6mm abertura)	Abertas 6mm a 13 mm por reflexão ou juntas; Baixa deteriorização	Abertas de 6 a 13 mm por reflexão ou juntas; Deteriorização moderada	Abertas 13 a 25 mm; Erosão e trincas secundárias; Fissuração longitudinal das extremidades do pavimento	Trincas abertas > 25mm; Múltiplas Trincas com desgaste; Trincas na trilha de roda	Trincas próximas, formando interligações, com desagregação, erosão de borda ou fragmentação; Abertas >25 mm;		Falha	
Trincas transversais			Ocasionais/bem espaçadas (>12m)/Seladas ou de baixa gravidade (<=6mm abertura)	Abertas 6mm a 13 mm espaçadas de 6 a 12 metros; Baixa deteriorização	Abertas de 6 a 13 mm, algumas espaçadas a menos de 3m; Deteriorização moderada	Abertas 13 a 25 mm; Erosão e trincas secundárias	Trincas abertas > 25mm; Múltiplas Trincas com desgaste;	Trincas próximas, formando interligações, com desagregação, erosão de borda ou fragmentação; Abertas >25 mm;			
Trincas em bloco					Sinais de primeiras aparições (<=10%); Blocos maiores que 1,8 m x 1,8 m	Até 50% da superfície (<=10% A <=50%); Blocos com lados entre 0,9 m e 1,8 m	Acima de 50% da superfície; Blocos menores que 0,9 m x 0,9 m	Acima de 50% da superfície; Blocos menores que 0,9 m x 0,9 m; Fragmentação, deteriorização das bordas			
Trincas tipo "jacaré"								Até 25% da área da superfície; ou com depressão > 13 mm (*)	Acima de 25% da área da superfície		
Desgaste superficial (desagregação)				Pouco desgaste causado pelo tráfego (**)	Desagregação leve com perda de finos; Área <20%	Moderada-severa (perda de agregados finos e graúdos); 20% < Área < 50%	Desagregação severa, aspera e esburacada; Área >50%				
Polimento superficial				Polimento leve; ou < 20% (**)	Polimento moderado; ou 20 - 50%	Polimento extensivo ou severo; ou > 50%					
Afundamentos						Afundamentos leves, não apresentam risco ao tráfego (<9mm); <20%	Leves afundamentos ou irregularidades (<= 13mm), pode apresentar risco; <20%	Afundamentos moderados (entre 13 a 25mm); ou 20 - 50%	Afundamentos severos >50mm; ou > 50%		
Remendos				Excelentes condições ou boas condições (**)		Alguns remendos e separações da borda do pavimento	Remendos com outros defeitos associados; outros defeitos associados de nível 5 ou inferior	Remendos com outros defeitos associados de nível 4 ou inferior	Remendos extensivos em condições ruins; outros defeitos associados de nível 3 ou inferior		
Panels ou buracos				Pequenos buracos, fora da trilha de roda, com pouca ocorrência (**)		Profundidade <= 10mm; <= 1 ocorrência / 100m	Poucas ocorrências; profundidade <25 mm, área <0,84 m²	Buracos ocasionais; ou (<25 mm, >0,84 m²); (>25 mm, <0,84 m²);	Buracos frequentes; ou (>25 mm e >0,84 m²)		

Figura 62: Matriz de decisão via #3

Possível solução: Realizar remendos profundos nas regiões de afundamento por consolidação e no buraco existente na via. Realizar tratamento de superfície nas regiões com trincas.

A.4 VIA #4 – Rua Capitão Francisco Lipe

Levantamento Fotográfico - Rua Capitão Francisco Lipe - Via #4					
Trecho	Defeito	Descrição	Área (m ²)	Abertura (mm)	Profundidade (mm)
	Trecho 1		Buracos	0,1	NA
		Trincas Transversais	4	10	NA
		Remendos	16,6	NA	NA

Trecho 2		Afundamento por consolidação	2,2	NA	12
		Trincas Transversais Interligadas	49,86	12	NA
		Trincas Transversais Interligadas	58,17	20	NA
		Remendos	21	NA	NA






		Trincamento em bloco	2,5	15	NA
		Buraco	0,16	NA	51
		Remendos	20	NA	NA
Trecho 3		Trincamento em bloco	54,846	25	NA
		Afundamento por consolidação	1,1	NA	11

Figura 63: Levantamento fotográfico via #4

FORMULÁRIO DE LEVANTAMENTO DE INVENTÁRIO

Identificação da via: Rua Capitão Francisco Lipe 843-938
 Extensão: 67,40 m
 Largura: 8,31 m

Data: 01/09/2024
 Responsável: Victor S.
 Órgão/Cidade: São Paulo

Código: #4

Defeito	Medida	Trecho 1	Trecho 2	Trecho 3	Trecho 4	Trecho 5	Total			
		Medição	Medição	Medição	Medição	Medição	Medição	Severidade*	Extensão	Nível Deterioração*
Desgaste superficial / Desagregação	Área (m ²)									
Exsudação ou Polimento Superficial	Agregado visível (1)									
	Superfície preta (2)									
Remendos (m²)	Área (m ²)									
	Quantidade (un)	4	5	4			13	A	E	7
Desintegração da Superfície / Descolamento / Cavidades	Área (m ²)	16,60	21,00	20,00			57,60			
	Profundidade (mm)									
Deficiência na selagem de trincas	(%)							NA	O	NA
Afundamentos	Profundidade (mm)	12		11			12	A	O	4
	Área (m ²)	2,20		1,10			0,6%			
Aterros	Quantidade (un)									
Buracos ou "Panelas"	Quantidade (un)	2	1				3	M	O	3
	Área (m ²)	0,10	0,16				0,26			
	Profundidade (mm)	20	51				51			
Trincas tipo "jacaré" (m²)	Área (m ²)									
	Abertura (mm)									
Trincas em bloco (m²)	Área (m ²)		2,50	54,85			10,2%	B	F	5
	Abertura (mm)		15	25			25			
Trincas transversais (m²)	Área (m ²)	53,86	58,17				20,0%	B	F	5
	Abertura (mm)	12	20				20			
Trincas longitudinais (m²)	Área (m ²)									
	Abertura (mm)									
Trincas nas bordas	Comprimento (m)									
	Abertura (mm)									
Trincas térmicas	Área (m ²)									
	Abertura (mm)									

*Severidade (B/M/A) com base no ICP, e nível de deterioração do pavimento (1-10)

Observações:	Croqui:						Assinatura: _____	Anotações:

Figura 64: Formulário de campo via #4

ICP - NÍVEIS DE SEVERIDADE E EXTENSÃO

TIPO DE DETERIORAÇÃO	Peso	GRAVIDADE*			EXTENSÃO**			ESTADO***
		B	M	A	O	F	E	
Desagregação	10	Ligeira perda de areia	Textura aberta	Áspero ou esburacado	<20%	20-50%	>50%	
Exsudação	5	Não avaliado	Agregado e betume visíveis	Superfície preta	<10%	10-30%	>30%	
Remendos	5	<0,09 m ²	<0,84 m ²	>0,84 m ²	<6/km	6-12/km	>12/km	
Desintegração da Superfície / Descolamento / Cavidades	5	Profundidade <25 mm, área <0,84 m ²	<25 mm, >0,84 m ² ; >25 mm, <0,84 m ²	>25 mm e >0,84 m ²	<3/km	3-6/km	>6/km	
Deficiência na selagem de trincas	5	Não considerado			<50%	>50%	Sem selante	
Afundamento	10	3-10 mm	10-19 mm	>19 mm	<20%	20-50%	>50%	U
Aterros	0	Efeito notável na viagem	Algum desconforto	Má viagem	<1,2/km	1,2-2,5/km	>2,5/km	
Buracos ou "Painéis"	10	profundidade <25 mm, área <0,84 m ²	<25 mm, >0,84 m ² ; >25 mm, <0,84 m ²	>25 mm e >0,84 m ²	<3/km	3-6/km	>6/km	U
Trincas nas trilhas das rodas	15	Trincas simples/múltiplas <6 mm	Trincas múltiplas >6 mm	Trincamento em "couro de jacaré" >6 mm com fragmentação	<20%	20-50%	>50%	U
Trincas em bloco e transversais	10	>1,8 m x 1,8 m ou trincas transversais	1,8 m x 1,8 m a 0,9 m x 0,9 m	<0,9 m x 0,9 m	<20%	20-50%	>50%	
Trincas longitudinais	5	Simples, <6 mm, sem fragmentação	Simples/múltiplas 6-25 mm, alguma fragmentação	Múltiplas, >25 mm, com fragmentação	<15 m por 30 m	15-45 m por 30 m	>45 m por 30 m	U
Trincas nas bordas	10	Abertas, <6 mm	>6 mm, alguma fragmentação	>6 mm, fragmentação moderada	<20%	20-50%	>50%	U
Trincas térmicas	10	<6 mm	6-25 mm	>25 mm	CS > 60 m	CS 22,5-60 m	CS <22,5 m	

Código:

#4

***Defeitos incluídos no cálculo de deduções estruturais

ICP - FATORES DE PONDERAÇÃO DO ÍNDICE DE CONDIÇÃO DO PAVIMENTO

TIPO DE DETERIORAÇÃO	Peso	PESO DE GRAVIDADE*			PESO DE EXTENSÃO			PONTOS DE DEDUÇÃO*	ESTRUTURAL
		B	M	A	O	F	E		
Desagregação	10	0,3	0,6	1	0,5	0,8	1	0	
Exsudação	5	0,8	0,8	1	0,6	0,9	1	0	
Remendos	5	0,3	0,6	1	0,6	0,8	1	5	
Desintegração da Superfície / Descolamento / Cavidades	5	0,4	0,7	1	0,5	0,8	1	0	
Deficiência na selagem de trincas	5	1	1	1	0,5	0,8	1	0	
Afundamento	10	0,3	0,7	1	0,6	0,8	1	6	T
Aterros	0	0	0	0	0	0	0	0	
Buracos ou "Painéis"	10	0,4	0,8	1	0,5	0,7	1	4	T
Trincas nas trilhas das rodas	15	0,4	0,7	1	0,5	0,7	1	0	T
Trincas em bloco e transversais	10	0,4	0,7	1	0,5	0,7	1	2,8	
Trincas longitudinais	5	0,4	0,7	1	0,5	0,7	1	0	T
Trincas nas bordas	10	0,4	0,7	1	0,5	0,7	1	0	T
Trincas térmicas	10	0,4	0,7	1	0,5	0,7	1	0	

*B = BAIXA
M = MÉDIA
A = ALTA

**O = OCASIONAL
F = FREQUENTE
E = EXTENSIVA

Dedução Total = 17,8
Soma de dedução estrutural = 10
100-Dedução Total = ICP = 82,2







Figura 65: Formulário ICP via #4

Manutenção	Não fazer nada	Não fazer nada	Não fazer nada	Não fazer nada / Preenchimento de trincas	Selagem de trincas / Microrrevestimento/ Lama Asfáltica	Microrrevestimento / Lama Asfáltica / Recapeamento	Reciclagem ou remendo superficial	Remendo profundo ou reciclagem total	Reconstrução e reparo da base	Reconstrução total	
Nível	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
Avaliação	Nova construção	Reabilitação recente, condições semelhantes a um novo pavimento	Revestimento recente ou aplicação recente de nova camada asfáltica	Primeiros sinais de envelhecimento	Sinais de envelhecimento mas boas condições estruturais	Envelhecimento mais graves da superfície, mas boas condições estruturais	Envelhecimento significativo e primeiros sinais de necessidade de reforços	Camada de revestimento comprometida	Deterioração severa	Falha	
Trincas longitudinais	Nova construção	Reabilitado recentemente	Apenas reflexão de juntas/Seladas/ de baixa gravidade (<=6mm abertura)	Abertas 6mm a 13 mm por reflexão ou juntas; Baixa deteriorização	Abertas de 6 a 13 mm por reflexão ou juntas; Deteriorização moderada	Abertas 13 a 25 mm; Erosão e trincas secundárias; Fissuração longitudinal das extremidades do pavimento	Trincas abertas > 25mm; Múltiplas Trincas com desgaste; Trincas na trilha de roda	Trincas próximas, formando interligações, com desagregação, erosão de borda ou fragmentação; Abertas >25 mm;			
Trincas transversais			Ocasionais/bem espaçadas (>12m) Seladas ou de baixa gravidade (<=6mm abertura)	Abertas 6mm a 13 mm espaçadas de 6 a 12 metros; Baixa deteriorização	Abertas de 6 a 13 mm, algumas espaçadas a menos de 3m; Deteriorização moderada	Abertas 13 a 25 mm; Erosão e trincas secundárias	Trincas abertas > 25mm; Múltiplas Trincas com desgaste;	Trincas próximas, formando interligações, com desagregação, erosão de borda ou fragmentação; Abertas >25 mm;			
Trincas em bloco					Sinais de primeiras aparições (<=10%); Blocos maiores que 1,8 m x 1,8 m	Até 50% da superfície (<=10% A <=50%); Blocos com lados entre 0,9 m e 1,8 m	Acima de 50% da superfície; Blocos menores que 0,9 m x 0,9 m	Acima de 50% da superfície; Blocos menores que 0,9 m x 0,9 m; Fragmentação, deteriorização das bordas			
Trincas tipo "jacaré"								Até 25% da área da superfície; ou com depressão > 13 mm (*)	Acima de 25% da área da superfície		
Desgaste superficial (desagregação)				Pouco desgaste causado pelo tráfego (**)	Desagregação leve com perda de finos; Área <20%	Moderada-severa (perda de agregados finos e grãos); 20% < Área < 50%	Desagregação severa, aspera e esburacada; Área >50%				
Polimento superficial				Polimento leve; ou < 20% (**)	Polimento moderado; ou 20 - 50%	Polimento extensivo ou severo; ou > 50%					
Afundamentos							Afundamentos leves, não apresentam risco ao tráfego (<9mm); <20%	Leves afundamentos ou irregularidades (<= 13mm), pode apresentar risco; <20%	Afundamentos moderados (entre 13 a 25mm); ou 20 - 50%	Afundamentos severos >50mm; ou > 50%	
Remendos				Excelentes condições ou boas condições (**)			Alguns remendos e separações da borda do pavimento	Remendos com outros defeitos associados; outros defeitos associados de nível 5 ou inferior	Remendos com outros defeitos associados; outros defeitos associados de nível 4 ou inferior	Remendos extensivos em condições ruins; outros defeitos associados de nível 3 ou inferior	
Panels ou buracos				Pequenos buracos, fora da trilha de roda, com pouca ocorrência (**)			Profundidade <= 10mm; <= 1 ocorrência / 100m	Poucas ocorrências; profundidade <25 mm, área <0,84 m²	Buracos ocasionais; ou (<25 mm, >0,84 m²); (>25 mm, <0,84 m²);	Buracos frequentes; ou (>25 mm e >0,84 m²)	

Figura 66: Matriz de decisão via #4

Possível solução: O buraco da via deve ser corrigido pois a infiltração de água pode ocasionar outros defeitos. Após isso, recomenda-se realizar remendo superficial no afundamento de consolidação e tratamentos de superfície na área trincada.

A.5 VIA #5 – Rua Elvira de Bortole

Levantamento Fotográfico - Rua Elvira de Bortole - Via #5					
Trecho	Defeito	Descrição	Área (m ²)	Abertura (mm)	Profundidade (mm)
Trecho 1		Trincas transversais e desgaste	4	20	NA
		Afundamento por consolidação	1,7	NA	26
		Remendos	15	NA	NA
Trecho 2		Trincas transversais	9,04	15	NA
		Trincas em bloco	48,816	17	NA
		Remendos	13,7	NA	NA






Trecho 3		Trincas transversais interligadas	9	11	NA
		Desgaste	2,42	NA	NA
		Trincas isoladas	9	5	NA
		Descolamento	0,3	NA	5
		Afundamento por consolidação	1,8	NA	24

Figura 67: Levantamento fotográfico via #5

FORMULÁRIO DE LEVANTAMENTO DE INVENTÁRIO

Identificação da via: Rua Elvira de Borto 19-79
 Extensão: 64,30 m
 Largura: 9,04 m

Data: 01/09/2024
 Responsável: Victor S.
 Órgão/Cidade: São Paulo

Código: **#5**

Defeito	Medida	Trecho 1	Trecho 2	Trecho 3	Trecho 4	Trecho 5	Total			
		Medição	Medição	Medição	Medição	Medição	Medição	Severidade*	Extensão	Nível Deterioração*
Desgaste superficial / Desagregação	Área (m ²)	4,00		2,42			1,1%	A	O	5
Exsudação ou Polimento Superficial	Agregado visível (1)									
	Superfície preta (2)									
Remendos (m²)	Área (m ²)									
	Quantidade (un)	3	2				5	A	E	7
Desintegração da Superfície / Descolamento / Cavidades	Área (m ²)	15,00	13,70				28,70			
	Profundidade (mm)			0,30			0,30	B	O	5
Deficiência na selagem de trincas	(%)							NA	O	NA
Afundamentos	Profundidade (mm)	26		24			26	A	O	3
	Área (m ²)	1,70		1,80			0,6%			
Aterros	Quantidade (un)									
Buracos ou "Panelas"	Quantidade (un)									
	Área (m ²)									
	Profundidade (mm)									
Trincas tipo "jacaré" (m²)	Área (m ²)									
	Abertura (mm)									
Trincas em bloco (m²)	Área (m ²)		48,82				8,4%	M	O	5
	Abertura (mm)		17				17			
Trincas transversais (m²)	Área (m ²)	4,00	9,04	18,00			5,3%	B	O	5
	Abertura (mm)	20	15	11			20			
Trincas longitudinais (m²)	Área (m ²)									
	Abertura (mm)									
Trincas nas bordas	Comprimento (m)									
	Abertura (mm)									
Trincas térmicas	Área (m ²)									
	Abertura (mm)									

*Severidade (B/M/A) com base no ICP, e nível de deterioração do pavimento (1-10)

Observações:	Croqui:						Anotações:
						Assinatura: _____	

Figura 68: Formulário de campo via #5

ICP - NÍVEIS DE SEVERIDADE E EXTENSÃO

TIPO DE DETERIORAÇÃO	Peso	GRAVIDADE*			EXTENSÃO**			ESTADO***
		B	M	A	O	F	E	
Desagregação	10	Ligeira perda de areia	Textura aberta	Áspero ou esburacado	<20%	20-50%	>50%	
Exsudação	5	Não avaliado	Agregado e betume visíveis	Superfície preta	<10%	10-30%	>30%	
Remendos	5	<0,09 m ²	<0,84 m ²	>0,84 m ²	<6/km	6-12/km	>12/km	
Desintegração da Superfície / Descolamento / Cavidades	5	Profundidade <25 mm, área <0,84 m ²	<25 mm, >0,84 m ² ; >25 mm, <0,84 m ²	>25 mm e >0,84 m ²	<3/km	3-6/km	>6/km	
Deficiência na selagem de trincas	5	Não considerado			<50%	>50%	Sem selante	
Afundamento	10	3-10 mm	10-19 mm	>19 mm	<20%	20-50%	>50%	U
Aterros	0	Efeito notável na viagem	Algum desconforto	Má viagem	<1,2/km	1,2-2,5/km	>2,5/km	
Buracos ou "Panelas"	10	profundidade <25 mm, área <0,84 m ²	<25 mm, >0,84 m ² ; >25 mm, <0,84 m ²	>25 mm e >0,84 m ²	<3/km	3-6/km	>6/km	U
Trincas nas trilhas das rodas	15	Trincas simples/múltiplas <6 mm	Trincas múltiplas >6 mm	Trincamento em "couro de jacaré" >6 mm com fragmentação	<20%	20-50%	>50%	U
Trincas em bloco e transversais	10	>1,8 m x 1,8 m ou trincas transversais	1,8 m x 1,8 m a 0,9 m x 0,9 m	<0,9 m x 0,9 m	<20%	20-50%	>50%	
Trincas longitudinais	5	Simples, <6 mm, sem fragmentação	Simples/múltiplas 6-25 mm, alguma fragmentação	Múltiplas, >25 mm, com fragmentação	<15 m por 30 m	15-45 m por 30 m	>45 m por 30 m	U
Trincas nas bordas	10	Abertas, <6 mm	>6 mm, alguma fragmentação	>6 mm, fragmentação moderada	<20%	20-50%	>50%	U
Trincas térmicas	10	<6 mm	6-25 mm	>25 mm	CS > 60 m	CS 22,5-60 m	CS <22,5 m	

Código:
#5

***Defeitos incluídos no cálculo de deduções estruturais

ICP - FATORES DE PONDERAÇÃO DO ÍNDICE DE CONDIÇÃO DO PAVIMENTO

TIPO DE DETERIORAÇÃO	Peso	PESO DE GRAVIDADE*			PESO DE EXTENSÃO			PONTOS DE DEDUÇÃO*	ESTRUTURAL
		B	M	A	O	F	E		
Desagregação	10	0,3	0,6	1	0,5	0,8	1	5	
Exsudação	5	0,8	0,8	1	0,6	0,9	1	0	
Remendos	5	0,3	0,6	1	0,6	0,8	1	5	
Desintegração da Superfície / Descolamento / Cavidades	5	0,4	0,7	1	0,5	0,8	1	1	
Deficiência na selagem de trincas	5	1	1	1	0,5	0,8	1	0	
Afundamento	10	0,3	0,7	1	0,6	0,8	1	6	T
Aterros	0	0	0	0	0	0	0	0	
Buracos ou "Panelas"	10	0,4	0,8	1	0,5	0,7	1	0	T
Trincas nas trilhas das rodas	15	0,4	0,7	1	0,5	0,7	1	0	T
Trincas em bloco e transversais	10	0,4	0,7	1	0,5	0,7	1	3,5	
Trincas longitudinais	5	0,4	0,7	1	0,5	0,7	1	0	T
Trincas nas bordas	10	0,4	0,7	1	0,5	0,7	1	0	T
Trincas térmicas	10	0,4	0,7	1	0,5	0,7	1	0	
								Dedução Total=	20,5
								Soma de dedução estrutural=	6
								100-Dedução Total = ICP =	79,5

*B = BAIXA
M = MÉDIA
A = ALTA

**O = OCASIONAL
F = FREQUENTE
E = EXTENSIVA

Figura 69: Formulário ICP via #5

Manutenção	Não fazer nada	Não fazer nada	Não fazer nada	Não fazer nada / Preenchimento de trincas	Selagem de trincas / Microrrevestimento/ Lama Asfáltica	Microrrevestimento / Lama Asfáltica / Recapeamento	Reciclagem ou remendo superficial	Remendo profundo ou reciclagem total	Reconstrução e reparo da base	Reconstrução total	
Nível	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
Avaliação	Nova construção	Reabilitação recente, condições semelhantes a um novo pavimento	Revestimento recente ou aplicação recente de nova camada asfáltica	Primeiros sinais de envelhecimento	Sinais de envelhecimento mas boas condições estruturais	Envelhecimento mais graves da superfície, mas boas condições estruturais	Envelhecimento significativo e primeiros sinais de necessidade de reforços	Camada de revestimento comprometida	Deterioração severa	Falha	
Trincas longitudinais	Nova construção	Reabilitado recentemente	Apenas reflexão de juntas/Seladas/ de baixa gravidade (<=6mm abertura)	Abertas 6mm a 13 mm por reflexão ou juntas; Baixa deteriorização	Abertas de 6 a 13 mm por reflexão ou juntas; Deteriorização moderada	Abertas 13 a 25 mm; Erosão e trincas secundárias; Fissuração longitudinal das extremidades do pavimento	Trincas abertas > 25mm; Múltiplas Trincas com desgaste; Trincas na trilha de roda	Trincas próximas, formando interligações, com desagregação, erosão de borda ou fragmentação; Abertas >25 mm;		Falha	
Trincas transversais			Ocasionais/bem espaçadas (>12m)/Seladas ou de baixa gravidade (<=6mm abertura)	Abertas 6mm a 13 mm espaçadas de 6 a 12 metros; Baixa deteriorização	Abertas de 6 a 13 mm, algumas espaçadas a menos de 3m; Deteriorização moderada	Abertas 13 a 25 mm; Erosão e trincas secundárias	Trincas abertas > 25mm; Múltiplas Trincas com desgaste;	Trincas próximas, formando interligações, com desagregação, erosão de borda ou fragmentação; Abertas >25 mm;			
Trincas em bloco					Sinais de primeiras aparições (<=10%); Blocos maiores que 1,8 m x 1,8 m	Até 50% da superfície (<=10% A <=50%); Blocos com lados entre 0,9 m e 1,8 m	Acima de 50% da superfície; Blocos menores que 0,9 m x 0,9 m	Acima de 50% da superfície; Blocos menores que 0,9 m x 0,9 m; Fragmentação, deteriorização das bordas			
Trincas tipo "jacaré"								Até 25% da área da superfície; ou com depressão > 13 mm (*)	Acima de 25% da área da superfície		
Desgaste superficial (desagregação)				Pouco desgaste causado pelo tráfego (**)	Desagregação leve com perda de finos; Área <20%	Moderada-severa (perda de agregados finos e grãos); 20% < Área < 50%	Desagregação severa, aspera e esburacada; Área >50%				
Polimento superficial				Polimento leve; ou < 20% (**)	Polimento moderado; ou 20 - 50%	Polimento extensivo ou severo; ou > 50%					
Afundamentos						Afundamentos leves, não apresentam risco ao tráfego (<9mm); <20%	Leves afundamentos ou irregularidades (<= 13mm), pode apresentar risco; <20%	Afundamentos moderados (entre 13 a 25mm); ou 20 - 50%	Afundamentos severos >50mm; ou > 50%		
Remendos				Excelentes condições ou boas condições (**)		Alguns remendos e separações da borda do pavimento	Remendos com outros defeitos associados; outros defeitos associados de nível 5 ou inferior	Remendos com outros defeitos associados de nível 4 ou inferior	Remendos extensivos em condições ruins; outros defeitos associados de nível 3 ou inferior		
Paneles ou buracos					Pequenos buracos, fora da trilha de roda, com pouca ocorrência (**)		Profundidade <= 10mm; <= 1 ocorrência / 100m	Poucas ocorrências; profundidade <25 mm, área <0,84 m²	Buracos ocasionais; ou (<25 mm, >0,84 m²); (>25 mm, <0,84 m²);		Buracos frequentes; ou (>25 mm e >0,84 m²)

(*) No caso de ser o único defeito da seção, realizar "recapeamento fino com CAUQ"

(**) Não fazer nada

Figura 70: Matriz de decisão via #5

Possível solução: realizar remendos profundos nos afundamentos críticos e aplicar uma camada de lama asfáltica nas áreas trincadas e desgastada.