DANIEL TORRES SCABELLO

Estudo sobre a Aplicabilidade do Processo de Inventário Funcional de
Pavimentos Rígidos com o Emprego do Equipamento *Pavement
Scanner* e Validação de Resultados

São Paulo

2018

DANIEL TORRES SCABELLO

Estudo sobre a Aplicabilidade do Processo de Inventário Funcional de
Pavimentos Rígidos com o Emprego do Equipamento *Pavement
Scanner* e Validação de Resultados

Dissertação de Mestrado
apresentada à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para
obtenção do Título de Mestre em
Ciências.

Área de Concentração:
Engenharia de Transportes

Orientador:
Prof. Doutor
Carlos Yukio Suzuki

São Paulo

2018

FICHA CATALOGRÁFICA

Scabello, Daniel Torres

Estudo sobre a Aplicabilidade do Processo de Inventário Funcional de Pavimentos Rígidos com o Emprego do Equipamento Pavement Scanner e Validação de Resultados / D.T.Scabello -- São Paulo, 2018. 256 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Transportes.

1.Pavimentos rígidos 2.Avaliação funcional I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Transportes II.t.

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, pelo apoio em minhas escolhas e decisões, aos meus irmãos pela parceria e incentivo.

AGRADECIMENTOS

À minha família, pelo apoio incondicional durante todas as fases de desenvolvimento da minha dissertação.

Ao Professor Dr. Carlos Suzuki pela confiança e orientação, essenciais para o desenvolvimento deste mestrado.

Aos professores do curso de Engenharia Civil e de Pós-Graduação da Escola Politécnica pelos ensinamentos transmitidos.

Aos colegas da Dynatest que me deram apoio e incentivo, em especial, André Vale e Fabio Almeida.

À Dynatest que possibilitou o desenvolvimento deste estudo, disponibilizando sua equipe e equipamento.

A todos que, de alguma forma direta ou indireta, contribuíram para a concretização deste trabalho.

RESUMO

O gerenciamento de uma malha rodoviária engloba avaliações constantes das condições estruturais e, principalmente, funcionais. Assim sendo, uma forma de coleta automatizada, realizada em velocidades de tráfego, em que a influência humana possa ser desconsiderada, está em desenvolvimento na engenharia rodoviária brasileira, assim como é visto internacionalmente.

O presente trabalho tem como objetivo a contribuição para o processo de avaliação funcional de pavimentos através do estudo sobre a aplicabilidade do processo de inventário funcional de pavimentos rígidos com o emprego do equipamento *Pavement Scanner*.

Para tanto, após a revisão bibliográfica sobre a sistemática de inventário de pavimentos rígidos e também sobre o equipamento *Pavement Scanner*, seções-testes foram definidas e avaliadas de acordo com o método tradicional de levantamento da superfície do pavimento (ICP – DNIT 062/PRO, DNIT 060/PRO), o método volumétrico tradicional de mancha de areia para avaliação de macrotextura (ASTM E 965/96), através de imageamento com análise de imagens obtidas no trecho e sob a utilização do equipamento *Pavement Scanner*. Com os resultados foi realizada uma análise estatística destas técnicas utilizadas, demonstrando a viabilidade de utilização do equipamento e do procedimento de análise adotado.

Palavras Chave: avaliação funcional de pavimentos, defeitos no pavimento, defeitos em pavimentos rígidos de concreto de cimento Portland, equipamentos para inventário funcional, macrotextura, *Pavement Scanner*.

ABSTRACT

The management of a road network encompasses constant assessments of structural conditions and, above all, functional conditions. Thus, a form of automated survey, carried out at traffic speeds, in which human influence can be unconsidered, is under development in Brazilian road engineering, as it is seen internationally.

This present work aims to contribute to the process of functional assessment of pavements through the study of applicability of the functional inventory process of rigid pavements with the use of *Pavement Scanner* equipment.

In order to do so, after the literature review of rigid pavement inventory and Pavement Scanner equipment, test sections were defined and evaluated according to the traditional method of surface survey (ICP - DNIT 062 / PRO, DNIT 060 / PRO), the traditional sand patch volumetric method for the evaluation of macrotexture (ASTM E 965/96), through imaging analysis from the test sections and under the use of *Pavement Scanner* equipment. With the results, a statistical analysis of these techniques were performed, demonstrating the feasibility of using the equipment and the analysis procedure adopted.

Keywords: functional evaluation of pavements, pavement distresses, Portland Cement Concrete Pavement distresses, equipment for functional assessment, macrotexture, *Pavement Scanner*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Exemplo de Seção do Pavimento com Mapeamento dos Defeitos (adaptado do LCMS Analyser Library: User Manual, 2016).	32
Figura 2.2 Localização do experimento (fonte: HRB, 1962).	36
Figura 2.3 Configuração dos 6 loops (fonte: HRB, 1962).	37
Figura 2.4 Avaliação da PSR realizada (fonte: HRB, 1962).	38
Figura 2.5 Aceitabilidade x PSR (fonte: HRB, 1962).	39
Figura 2.6 Variação da Serventia com o Tráfego ou Tempo (adaptada de BERNUCCI, 2008).	42
Figura 2.7 Escala de classificação do PCI e níveis de reparos (fonte: MNDOT, 2014).	62
Figura 2.8 Determinação gráfica do número mínimo de amostras a serem inspecionadas (fonte: DNIT, 2004).	68
Figura 2.9 Ilustração da metodologia sistemática.	69
Figura 2.10 Valor Deduzível x Densidade: Alçamento de Placas	79
Figura 2.11 Valor Deduzível x Densidade: Fissuras de canto.....	80
Figura 2.12 Valor Deduzível x Densidade: Placa dividida	80
Figura 2.13 Valor Deduzível x Densidade: Alçamento de Placas.....	81
Figura 2.14 Valor Deduzível x Densidade: Desnível Pavimento / Acostamento	82
Figura 2.15 Valor Deduzível x Densidade: Fissuras Lineares.....	82
Figura 2.16 Valor Deduzível x Densidade: Grandes reparos	83
Figura 2.17 Valor Deduzível x Densidade: Pequenos reparos.....	83
Figura 2.18 Valor Deduzível x Densidade: Desgaste	84
Figura 2.19 Valor Deduzível x Densidade: Bombeamento	84
Figura 2.20 Valor Deduzível x Densidade: Punchout.....	85
Figura 2.21 Valor Deduzível x Densidade: Passagem de nível	85
Figura 2.22 Valor Deduzível x Densidade: Fissuras superficiais	86
Figura 2.23 Valor Deduzível x Densidade: Retração plástica	86
Figura 2.24 Valor Deduzível x Densidade: Quebra de canto	87
Figura 2.25 Valor Deduzível x Densidade: Esborcinamento de juntas.....	87
Figura 2.26 Valor Deduzível x Densidade: Placa bailarina.....	88

Figura 2.27 Fluxograma para obtenção do ICP (DNIT 060/2004 – PRO e DNIT 062/2004 – PRO).....	89
Figura 2.28 Passo a passo para obtenção do ICP (SUZUKI, 2014).....	89
Figura 2.29 Exemplo de Valor Deduzível x Densidade (SUZUKI, 2014).	90
Figura 2.30 Exemplo do ajuste do valor deduzível total (SUZUKI, 2014).	90
Figura 2.31 Valores de dedução para alçamento de placas (fonte: BALBO J.T e BECKER V.E.G, 2012).	92
Figura 2.32 Valores de dedução para fissura de canto (fonte: BALBO J.T e BECKER V.E.G, 2012).	92
Figura 2.33 Valores de dedução para placa dividida (fonte BALBO J.T e BECKER V.E.G, 2012).	93
Figura 2.34 Valores de dedução para degrau de junta (fonte: BALBO J.T e BECKER V.E.G, 2012).	93
Figura 2.35 Valores de dedução para quebras localizadas (fonte: BALBO J.T e BECKER V.E.G, 2012).	94
Figura 2.36 Valores de dedução para esborcinamento de juntas (fonte: BALBO J.T e BECKER V.E.G, 2012).	94
Figura 2.37 Perfil obtido no escaneamento a laser (fonte: SENGOZ et al, 2012).....	96
Figura 2.38 Seção do perfil obtido no escaneamento a laser (fonte: SENGOZ et al, 2012).	96
Figura 2.39 Cálculo do MPD a partir da média de dois picos (fonte: SENGOZ et al, 2012).	97
Figura 2.40 Diferença entre macrotextura e microtextura (fonte: BERNUCCI et al, 2008).	99
Figura 2.41 Classificação da superfície em função do tipo de textura superficial (fonte: APS, 2006).....	101
Figura 2.42 Métodos de avaliação da textura da superfície do pavimento, em ordem horária: μ -meter (ou griptester), mancha de areia, drenabilidade e pêndulo britânico (fonte: FILHO, 2006).	102
Figura 2.43 Sequência executiva da técnica da mancha de areia (fonte: RIBEIRO, 2012).	104
Figura 2.44 Ensaio da mancha de areia.	104
Figura 2.45 Ensaio da mancha de areia (fonte: FILHO, 2006).....	104

Figura 2.46 Exemplo de manchas de areia com macrotexturas distintas (fonte: acervo pessoal).....	106
Figura 2.47 Veículo do <i>Pavement Scanner</i> em funcionamento (fonte: acervo pessoal).....	109
Figura 2.48 Disposição dos sensores a laser (fonte: LCMS, 2016).....	110
Figura 2.49 Controlador (parte frontal e traseira) (fonte: LCMS, 2016).....	111
Figura 2.50 Objeto de validação (fonte: LCMS, 2016).....	112
Figura 2.51 Veículo de inspeção com unidades de sensores a laser (foto superior). Imagem de uma unidade de sensor a laser, com o projetor a laser e câmera (foto inferior) (fonte: FIALHO, 2015).	113
Figura 2.52 Sistema do <i>Pavement Scanner</i> (sensores e controlador) (fonte: LCMS, 2016).	114
Figura 2.53 Detalhe do laser levantando o trincamento (fonte: LCMS, 2016).....	115
Figura 2.54 Disposição do IMU (aparelho dourado) no sensor do <i>Pavement Scanner</i> (fonte: LCMS, 2016).....	115
Figura 2.55 Imagem do sistema clássico de levantamento dependendo da trajetória do veículo (fonte: LCMS, 2016).....	116
Figura 2.56 Imagem do sistema do <i>Pavement Scanner</i> que utiliza as marcações de faixa para compensar desvios do condutor do veículo (fonte: LCMS, 2016).	117
Figura 2.57 Caracterização do perfil transversal, longitudinal e seção de rodovia (fonte: LCMS, 2016).....	119
Figura 2.58 Exemplo de LcmsResult – dados em XML (fonte: arquivo pessoal).....	122
Figura 2.59 Exemplo de Image 3D (fonte: arquivo pessoal).	123
Figura 2.60 Exemplo de Image Range (fonte: arquivo pessoal).	123
Figura 2.61 Exemplo de Overlay 3D (fonte: arquivo pessoal).....	124
Figura 2.62 Diagrama dos resultados do 3D e da Intensidade no <i>Pavement Scanner</i> (fonte: FIALHO, 2015).	125
Figura 3.1 Mapa do Estado de São Paulo e localização do trecho (DER, 2017).....	133
Figura 3.2 Mapa de localização do trecho (GOOGLE, 2016).....	133
Figura 3.3 Mapa de localização dos segmentos (GOOGLE, 2016).....	134
Figura 3.4 Fotos das seções-teste no sentido crescente.....	135
Figura 3.5 Fotos das seções-teste no sentido decrescente.	136
Figura 3.6 Mapa do Estado de São Paulo e localização do trecho (DER, 2017).....	138

Figura 3.7 Mapa de localização do trecho (GOOGLE, 2016).....	139
Figura 3.8 Mapa de localização dos segmentos (GOOGLE, 2016).....	139
Figura 3.9 Fotos das seções-teste na pista norte.....	140
Figura 3.10 Fotos das seções-teste na pista norte.....	141
Figura 3.11 Fotos das seções-teste na pista norte.....	142
Figura 3.12 Levantamento com <i>Pavement Scanner</i> : imagem do equipamento e identificação do início dos trechos.....	143
Figura 3.13 Levantamento com <i>Pavement Scanner</i> : imagem da tela de aquisição de dados dentro do equipamento e processamento de dados posterior.....	144
Figura 3.14 Levantamento tradicional em campo.....	145
Figura 3.15 Imagens das seções utilizadas para levantamento visual no escritório.	146
Figura 3.16 Levantamento com <i>Pavement Scanner</i> : identificação do início dos trechos.....	147
Figura 3.17 Levantamento tradicional em campo.....	148
Figura 4.1 Variância das amostras para os três diferentes métodos.....	151
Figura 4.2 Comparação dos três métodos por seção e amostra – sentido crescente.	152
Figura 4.3 Comparação dos três métodos por seção e amostra – sentido decrescente.	153
Figura 4.4 Correlação entre o Levantamento Tradicional x <i>Pavement Scanner</i> (médias).	155
Figura 4.5 Correlação entre o Levantamento Tradicional x <i>Pavement Scanner</i> (pontos).	155
Figura 4.6 Análise da repetibilidade dos defeitos por placa – sentido crescente....	156
Figura 4.7 Análise da repetibilidade dos defeitos por placa – sentido decrescente.	157
Figura 4.8 Comparação entre valores obtidos pelos dois métodos.....	167
Figura 4.9 Correlação entre o Levantamento Tradicional (HS) x <i>Pavement Scanner</i> (MPD).	169
Figura 4.10 Resultados de Macrotextura para cada seção, para cada método.	170

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 Correlações entre o IRI e outras medidas de irregularidade (fonte: BALBO, 1997).	45
Tabela 2.2 Diferentes perfilômetros utilizados nos Estados Unidos (fonte: BARELLA, 2008).	46
Tabela 2.3 Escala do IRI para várias condições de Pavimentos (fonte: Adaptado de FARIAS, 2002).	47
Tabela 2.4 Escala do IRI para várias condições de Pavimentos (fonte: BALBO, 2009).	48
Tabela 2.5 Escala do IRI para várias condições de Pavimentos da malha do DNIT.	49
Tabela 2.6 Sumário de Defeitos em PCCP	52
Tabela 2.7 Equipamentos automatizados para levantamentos de defeitos (fonte: Adaptado de SONCIM, 2014).	56
Tabela 2.8 Escala de classificação do ICP	61
Tabela 2.9 Defeitos de pavimentos rígidos nas metodologias USACE e DNIT	62
Tabela 2.10 Modelo de ficha de inspeção de campo (fonte: IBRACON, 2011).	63
Tabela 2.11 Classificação do defeito Placa Dividida	72
Tabela 2.12 Classificação do defeito Escalonamento	72
Tabela 2.13 Classificação do defeito Desnível Pavimento/Acostamento	73
Tabela 2.14 Classificação do defeito Quebras Localizadas	75
Tabela 2.15 Classificação do defeito Quebra de canto	76
Tabela 2.16 Classificação do defeito Esborcinamento de Juntas	77
Tabela 2.17 Classificação do defeito Placa bailarina	77
Tabela 2.18 Valor Deduzível x Densidade: Selagem de juntas	81
Tabela 2.19 Classificação da textura do pavimento (fonte: BERNUCCI et al, 2008).	99
Tabela 2.20 Valores limites de microtextura (fonte: ABPv, 1999).	100
Tabela 2.21 Efeitos nos veículos devido às texturas superficiais (fonte: FILHO, 2006).	102
Tabela 2.22 Classes de macrotextura pelo método da mancha de areia (fonte: DNIT, 2006).	105
Tabela 3.1 Seções-teste para estudo do ICP	132
Tabela 3.2 Seções-teste para estudo da macrotextura.	137

Tabela 4.1 Tabela de resultados de ICP por amostra, para cada seção.	149
Tabela 4.2 Tabela de resultados com as médias das amostras de ICP por seção.	151
Tabela 4.3 Tabela com lista de defeitos apontados nos pavimentos rígidos avaliados.	153
Tabela 4.4 Tabela com a descrição dos defeitos nos pavimentos rígidos apontados nas análises realizadas.	157
Tabela 4.5 Quantidade de amostras e operadores para cada tipo de levantamento.	163
Tabela 4.6 Índices da repetitividade e reprodutividade - <i>Pavement Scanner</i>	164
Tabela 4.7 Valores de repetitividade - <i>Pavement Scanner</i>	164
Tabela 4.8 Índices da repetitividade e reprodutividade – Método Tradicional.....	165
Tabela 4.9 Valores de repetitividade – Método Tradicional.....	165
Tabela 4.10 Índices da repetitividade e reprodutividade – Método Visual no Escritório.	166
Tabela 4.11 Valores de repetitividade – Método Visual no Escritório.....	166
Tabela 4.12 Tabela de resultados de Macrotextura para cada seção.....	167
Tabela 4.13 Tabela de resultados de Macrotextura para cada seção, para cada método.	170

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 2.1 Cálculo do PSI (fonte: HAAS e HUDSON, 1978).....	40
Equação 2.2 Correlação entre QI e IRI.....	48
Equação 2.3 Cálculo da densidade do defeito no método ICP para pavimentos rígidos.....	60
Equação 2.4 Cálculo do número de amostras mínimo (fonte: DNIT, 2004).	66
Equação 2.5 Cálculo do desvio padrão dos resultados (fonte: DNIT, 2004).	67
Equação 2.6 Cálculo do número de amostras mínimo (fonte: DNIT, 2004).	67
Equação 2.7 Cálculo do intervalo entre amostras (fonte: DNIT, 2004).	69
Equação 2.8 Equação para obtenção de HS por meio de MPD (fonte: SANGOZ, 2012).	97
Equação 2.9 Equação para obtenção de HS por meio de MPD (fonte: ABE, 2002).	97
Equação 2.10 Equação para obtenção de HS por meio de MPD (fonte: NCAT, 2004).	97
Equação 2.11 Equação para obtenção de HS por meio de MPD (fonte: ASTM, 2015).	97
Equação 2.12 Cálculo da altura média de areia HS.....	105
Equação 4.1 Cálculo do valor teste Z do teste de Grubbs	160
Equação 4.2 Cálculo da variância das amostras S_dj^2	161
Equação 4.3 Cálculo da variância da repetitividade S_{ri}^2	161
Equação 4.4 Cálculo do valor limite de repetitividade r.	161
Equação 4.5 Cálculo do valor da repetitividade $r'e$	162
Equação 4.6 Cálculo da variância entre diferentes avaliadores.	162
Equação 4.7 Cálculo da variância da reprodutividade.	163
Equação 4.8 Equação para obtenção de HS por meio de MPD.	169

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Afundamentos
AASHO	<i>American Association of State Highway Officials</i>
AASHTO	<i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i>
AP	Afundamento Plástico
ANTT	Associação Nacional de Transportes Terrestres
APL	Analizador do Perfil Longitudinal
ARAN	<i>Automatic Road Analyser</i>
ARTESP	Agência Reguladora de Serviços Públicos Delegados de Transporte do Estado de São Paulo
ASTM	<i>American Society of Testing and Materials</i>
BPN	<i>British Pendulum Number</i>
CBR	<i>California Bearing Ratio</i>
CBUQ	Concreto Betuminoso Usinado a Quente
USACE	Corpo de Engenheiros dos Estados Unidos da América
CNT	Confederação Nacional do Transporte
D	Desgaste
CTM	<i>Circular Texture Meter</i>
DER	Departamento de Estradas de Rodagem
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
E	Exsudação
ES	Especificação de Serviço
FHWA	<i>Federal Highway Administration</i>
FI	Fissuras
HS	Altura de Areia
IES	Índice de Estado da Superfície
IGG	Índice de Gravidade Global
IGGE	Índice de Gravidade Global Expedito
IMU	Unidades de medidas inerciais
IPR	Instituto de Pesquisas Rodoviárias

IRI	<i>International Roughness Index</i>
LCMS	<i>Laser Crack Measurement System</i>
LCPC	<i>Laboratoire Central des Ponts et Chaussées</i>
LTPP	<i>Long-Term Pavement Performance</i>
LVC	Levantamento Visual Contínuo
MPD	<i>Mean Profile Depth</i>
MTD	<i>Mean Texture Depth</i>
NQI	Níveis de Qualidade de Informação
NYSDOT	<i>New York State Department of Transportation</i>
O	Ondulações
P	Panela ou Buraco
OFM	<i>Outflow Meter</i>
PCI	<i>Pavement Condition Index</i>
PCCP	Pavimentos de Concreto de Cimento Portland
PICR	Pesquisa de Inter-relacionamento de Custos Rodoviários
PRO	Procedimento
PSR	<i>Present Serviceability Rating</i>
QI	Quociente de Irregularidade
R	Remendos
RI	<i>Ravelling Index</i>
ROMDAS – TPL	<i>Road Measurement Data Acquisition System - Transverse Profile Logger</i>
RMS	<i>Root Mean Square</i>
RPI	Índice de Porosidade
SGP	Sistema de Gerência de Pavimentos
SHRP	<i>Strategic Highway Research Program</i>
ST	Seções-testes
SPM	<i>Sand Patch Method</i>
TRRL	<i>Transport Road Research Laboratory</i>
UA	Unidade Amostral
USP	Universidade de São Paulo
VDC	Valor-dedução corrigido

Vdi	Valores-dedução individuais
VDT	Valor-dedução total
VSA	Valor de Serventia Atual

LISTA DE SÍMBOLOS E UNIDADES

km	quilômetro
%	por cento
h	hora
m	metro
m ²	metro quadrado
mm	milímetro
cm	centímetro
s	segundo
μm	micrometro
Hz	hertz
Gb	Gigabyte
W	watt
°	grau
Mb	megabyte
kg	quilograma
VAC	volts em corrente alternada

SUMÁRIO

1.	APRESENTAÇÃO	20
1.1	Introdução	20
1.2	Objetivo do Trabalho	24
1.3	Justificativa	24
1.4	Estrutura do Trabalho	26
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	27
2.1.	Introdução	27
2.2.	Avaliação Estrutural e Avaliação Funcional	33
2.2.1.	Introdução	34
2.2.2.	AASHO Road Test	35
2.2.3.	Serventia	40
2.2.4.	Irregularidade Longitudinal	43
2.2.5.	Mecanismo e Terminologia dos Defeitos	49
2.3.	Metodologias de Avaliação Funcional de Pavimentos de Concreto	52
2.3.1.	Índice de Condição do Pavimento (ICP)	57
2.3.2.	Fluxograma e Resumo do cálculo do ICP	88
2.3.3.	Comparação entre PCI (USACE) e ICP	91
2.4.	Textura da Superfície (Macrotextura e Microtextura)	94
2.5.	Equipamento para Avaliação Funcional	106
2.5.1.	ARAN (Automatic Road Analyser)	108
2.5.2.	ROMDAS – TPL (Road Measurement Data Acquisition System - Transverse Profile Logger	108
2.5.3.	Perfilômetro Laser	108
2.5.4.	<i>Pavement Scanner</i>	109
3.	METODOLOGIA DA PESQUISA	128
3.1.	Definição da Metodologia da Pesquisa	128
3.2.	Definição das Seções-teste	131
3.2.1.	Avaliação funcional – Índice de condição do pavimento (ICP)	131
3.2.2.	Avaliação da macrotextura do pavimento	137
3.3.	Levantamentos de campo	142
3.3.1.	Avaliação funcional – Índice de condição do pavimento (ICP)	143
3.3.2.	Avaliação da macrotextura do pavimento	146
4.	RESULTADOS E ANÁLISES COMPARATIVAS	148
4.1.	Avaliação funcional – Índice de condição do pavimento (ICP)	148
4.1.1.	Variância entre os diferentes métodos	150
4.1.2.	Correlação método automatizado x tradicional	154
4.1.3.	Repetibilidade dos defeitos	156
4.1.4.	Análise estatística dos levantamentos – Reprodutividade e Repetibilidade (RR)	158
4.1.5.	Resultados das análises estatísticas	163
4.2.	Avaliação da macrotextura	167
4.2.1.	Correlação método automatizado x tradicional	168
5.	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA NOVAS PESQUISAS	171
5.1.	Conclusões	171
5.1.1.	Conclusões relacionadas ao levantamento automatizado para obtenção do ICP em Pavimentos de Concreto de Cimento Portland.	171

5.1.2.	Conclusões relacionadas ao levantamento automatizado para obtenção de parâmetros de macrotextura em pavimentos.....	174
5.2.	Sugestões para Novas Pesquisas	175
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	176
	ANEXO A	185
1.	Patologias Funcionais	186
1.1.	Desgaste Superficial de placa de concreto ou polimento de agregados (Polished aggregate).....	186
1.2.	Escalonamento ou Degrau nas Juntas (Faulting).....	189
1.3.	Arrancamento do Material (Popouts)	191
1.4.	Desnível pavimento – acostamento (Lane/Shoulder drop off)	192
1.5.	Pequenos Reparos (Small patching)	193
1.6.	Grandes Reparos (Large patching & Utility cuts)	195
1.7.	Passagem de nível (Railroad crossing)	196
2.	Patologias Estruturais.....	197
2.1.	Fissuras (Cracking).....	197
2.2.	Quebras localizadas (Punchouts).....	217
2.3.	Bombeamento (Pumping)	221
2.4.	Falha de Selagem nas Juntas (Joint Seal Damage)	222
2.5.	Esborcinamento das Juntas (Joint spalling).....	224
2.6.	Esborcinamento ou quebra de canto (Corner spalling).....	227
2.7.	Alçamento das Placas (Blow-ups).....	228
2.8.	Placas Divididas (Divided slab)	230
2.9.	Placas Bailarinas.....	232
2.10.	Assentamento.....	232
2.11.	Buracos	233
	ANEXO B	235
1.	Trincamento.....	236
2.	Afundamento plástico (trilha de roda).....	237
3.	Macrotextura	239
4.	Marcação de faixa.....	240
5.	Panelas (ou buracos)	241
6.	Degraus e meio-fio	242
7.	Juntas para pavimentos de concreto.....	244
8.	Desgaste (módulo opcional)	245
9.	Rugosidade	247
10.	Declividade longitudinal e transversal da via	249
11.	Cálculo de água presa no perfil transversal.....	250
12.	Escorregamento de material.....	252
13.	Deteção de perda de agregados.....	253
14.	Exsudação.....	254
15.	Coordenadas GPS.....	255
16.	Marcação de contorno (marcação de pista).....	255
17.	Trincas seladas.....	256
18.	Parâmetros de renderização	258

1. APRESENTAÇÃO

1.1 Introdução

A malha viária quando bem conservada permite o escoamento das safras acelerando o desenvolvimento da região, contribuindo assim para promover a indústria e o comércio, para melhorar a viabilidade das zonas urbanas, com o aumento dos empregos, com a educação e com a geração de novas oportunidades (QUEIROZ et al., 1992).

Uns dos mais valiosos, extensos e importantes recursos de um país são as suas rodovias. Avaliações e monitoramento são cruciais para manter um efetivo e seguro sistema rodoviário. Existem diversos indicadores da superfície e subsuperfície de defeitos que são observados usando métodos tradicionais de engenharia rodoviária. Mesmo sendo efetivos, grande parte destes métodos requererem muito tempo para serem realizados, e fornecem informações apenas para áreas limitadas. O uso de tecnologias de sensoriamento remoto oferece um novo potencial para gerenciadores de pavimentos para avaliação de grandes extensões, frequentemente em um pequeno intervalo de tempo. Embora o sensoriamento remoto não consiga remover por completo a necessidade de realização de métodos geotécnicos tradicionais, ele possibilita a diminuição da necessidade de visitas para levantamentos em campo.

Um adequado programa de gerenciamento de uma rede rodoviária é estabelecido a partir de levantamentos cadastrais, pesquisa e inventários de elementos rodoviários, em especial associados à condição dos pavimentos existentes. A coleta sistemática e confiável de informações é ponto chave neste processo.

A fim de gerir eficazmente a condição de uma rede viária, o pavimento deve ser monitorado e sua condição relatada regularmente. Com base na gravidade dos defeitos do pavimento, os reparos de manutenção, a reabilitação ou mesmo a reconstrução podem ser programados.

Segundo dados da pesquisa realizada pela CNT (Confederação Nacional do Transporte) referente ao ano de 2015, temos uma malha rodoviária composta por mais de 1.720.000 km de rodovias, sendo que apenas um pouco mais de 210.000 km são pavimentadas e destes aproximadamente 19.000 km são concessionados, mais da metade (57,3%) da malha pavimentada apresenta condição insuficiente em relação ao conforto ao rolamento. (CNT, 2015).

A comunidade rodoviária nacional vem buscando continuamente um gerenciamento mais efetivo, com uma maior exatidão e menor custo operacional. Assim, o desenvolvimento de metodologias que auxiliem nesse processo vem ao encontro com as necessidades impostas no mercado atual.

A condição de superfície do pavimento pode ser obtida manualmente ou por condução de um veículo equipado com um sistema de recolhimento de dados automatizado.

A coleta de dados manual depende do julgamento humano e, como resultado, é subjetiva. Também é tediosa, consome tempo, e os resultados podem variar de acordo com a avaliação de cada indivíduo.

Um processo que elimine a subjetividade na obtenção da condição em que se encontra o pavimento de uma rodovia é de grande interesse para a melhoria da confiabilidade dos dados obtidos em um levantamento. A possibilidade de aumentar a velocidade e a frequência em que estes dados são coletados certamente proporcionará uma melhor gestão da qualidade deste pavimento, gerando também economia de recursos – além de reduzir riscos para os profissionais envolvidos nos serviços de engenharia e para os usuários da via.

Sistemas de obtenção de dados automatizados do pavimento podem fornecer informações objetivas, repetíveis e consistentes. A tecnologia é eficiente, pois os dados são coletados e armazenados enquanto o veículo está trafegando a velocidades compatíveis aos usuários da rodovia. O método automatizado é também uma alternativa mais segura, pois o avaliador não precisa sair do veículo e caminhar

ao lado do tráfego para levantamento dos defeitos do pavimento. Os sistemas automatizados permitem que as agências avaliem o desempenho da estrada em ambos os níveis de rede e de projeto. Embora o método automatizado seja mais procurado, ele ainda precisa ser confiável o suficiente para modelar com precisão o desempenho do pavimento atual. A tecnologia vem sendo desenvolvida para este fim (BURTON, 2014).

Por outro lado, percebe-se um aumento no uso de pavimento rígido na malha rodoviária brasileira nos últimos anos e, muito se deve ao bom desempenho que apresenta e é exaltado por especialistas no assunto. A malha viária nacional (um pouco mais que 200 mil km de estradas) é representada aproximadamente em 2% por este tipo de pavimento. Alguns exemplos de rodovias brasileiras, com os respectivos anos de inauguração, são:

- Rodovia Caminho do Mar (Riacho Grande e Cubatão) – Extensão de 8 km – 1926;
- Rodovia Serra de Petrópolis – Extensão de 23 km – 1927;
- Rodovia Luiz Gonzaga (BR 232) – Extensão de 120 km – 1938;
- Rodovia Anchieta (SP-150) – Extensão de 72 km – 1947/1953;
- Rodovia Presidente Dutra SP/RJ (BR-116 – Saída do Rio de Janeiro) – Extensão de 60 km – 1951;
- Rodovia Presidente Dutra SP/RJ (BR-116 – Pistas marginais de Guarulhos até São Paulo) – Extensão de 20 km – 1988;
- Rodovia Interligação Imigrantes-Anchieta – 1973;
- Rodovia dos Imigrantes – Extensão de 58,5 km – 1976/2002;
- Rodovia da Serra do Rio do Rastro – Extensão de 7 km – 1986;
- Rodovia Pedro Taques – Extensão de 20 km – 1986;
- Rodovia (MT 130 – Entre Primavera do Leste e Paratinga – Extensão de 110 km – 2002;
- Rodoanel Mário Covas (SP-021) – 2002, 2010 e 2014;
- Rodovia BR 290 – Osório / Porto Alegre (RS) – Extensão de 9 km – 2000;

Um grande uso de pavimentos rígidos aparece em aeroportos e corredores de ônibus por todo o território nacional, mas apesar de bem projetado e construído

pavimentos rígidos compostos de Placas de Concreto de Cimento Portland, principalmente os implantados em rodovias de tráfego pesado, têm apresentado patologias, necessitando um monitoramento sistemático para adequação de seu desempenho.

No Brasil, o critério de avaliação funcional e de estado da superfície, em uma grande parte dos casos, tem sido o ICP (Índice de Condição do Pavimento) que, por meio de uma classificação da qualidade de rolamento dada pela presença de diferentes tipos de defeitos e gravidades no pavimento, é obtida uma nota que varia de 0 a 100 e pode ser utilizada na análise em nível de rede ou de projeto (um maior aprofundamento do método será dado nos próximos capítulos). Tendo em vista as peculiaridades do *Pavement Scanner*, o objetivo do presente trabalho é verificar a possibilidade de obtenção deste parâmetro em função deste novo procedimento de aquisição de dados de campo, de maneira prática e confiável.

Observando as agências reguladoras nacionais ANTT, no âmbito federal, e a ARTESP, no âmbito estadual (SP), vemos que, dependendo da fase da concessão em que as rodovias se encontram, critérios como o ICP e a textura da superfície do pavimento devem ser respeitados, estes parâmetros devem ser avaliados continuamente e periodicamente de acordo com o estipulado pelas agências regulatórias específicas, o que motiva a necessidade de uma avaliação mais precisa, veloz e com maior qualidade, proporcionando um monitoramento mais efetivo destas rodovias.

Um monitoramento de uma rodovia tem como limite de aceitabilidade, por exemplo, de ICP igual a 75 para os dois primeiros anos, no âmbito federal e ICP igual a 70, no âmbito estadual (SP), tendo para os valores de macrotextura uma faixa limite de 0,6 mm até 1,2 mm de mancha de areia de acordo com as duas agências.

1.2 Objetivo do Trabalho

O presente trabalho tem como objetivo a contribuição para o processo de avaliação funcional de pavimentos através do estudo sobre a aplicabilidade do processo de inventário funcional de pavimentos rígidos com o emprego do equipamento *Pavement Scanner* e a validação de resultados.

Para tanto, após a revisão bibliográfica sobre a sistemática de inventário de pavimentos rígidos e também sobre o equipamento *Pavement Scanner*, serão inventariadas seções-testes de acordo com a metodologia tradicional de avaliação da superfície do pavimento (ICP – DNIT 062/PRO, DNIT 060/PRO), de acordo com a metodologia de avaliação de macrotextura de pavimentos (Mancha de Areia - ASTM E 965) e sob a utilização do equipamento *Pavement Scanner*. Com os resultados pretende-se também realizar uma análise da repetibilidade e reprodutividade de cada uma destas técnicas utilizadas.

O acompanhamento das condições de um pavimento rígido por meio deste método pretende proporcionar uma padronização, uma maior qualidade e uma maior agilidade na obtenção destes resultados auxiliando, por fim, na gerência de pavimentos de uma malha ou mesmo um projeto com informações mais confiáveis.

1.3 Justificativa

Os danos provocados pelas cargas e pelo meio ambiente são cumulativos e fazem com que a rodovia tenha uma queda continuada na sua serventia. A manutenção da rodovia passa a ser então a maior atividade de todos os departamentos de estrada, de vias urbanas e de aeroportos.

Um programa de gerência de pavimentos em uma malha rodoviária tem por base a realização de um monitoramento das condições dos pavimentos, o que se dá por base em levantamentos cadastrais periódicos que despendem quantidades

consideráveis de recursos financeiros, tempo, e prejudicam a utilização da via e podem influenciar na segurança do usuário na rodovia.

O desenvolvimento de um método de avaliação das condições dos pavimentos de uma forma mais rápida, feita em velocidade de tráfego, mais confiável e mais segura aparece como uma boa alternativa ao inventário tradicional de superfície em pavimentos de concreto, permitindo a determinação do ICP (índice atualmente empregado no Brasil).

A crescente demanda na utilização do pavimento de concreto, somado a pequena quantidade de pesquisas realizadas sobre o assunto no país, são motivadores para o desenvolvimento deste trabalho que busca colaborar com o aprimoramento desta tecnologia no Brasil.

Na literatura nacional podem ser vistos exemplos que dão subsídios para a validação de uma nova tecnologia de avaliação funcional para aplicação em rodovias brasileiras que permita a coleta de informações de forma automática, o que pode ser observado no Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos do DNIT (2006): "devem ser desenvolvidos procedimentos padronizados e manuais para avaliação de pavimentos, compatíveis com as especificidades locais e os equipamentos disponíveis."; e na instrução de projeto IP-DE-P00-003 do DER/SP: "é importante que as avaliações sejam executadas de forma planejada e criteriosa, considerando a segurança dos usuários da rodovia e também da equipe de avaliação das condições dos pavimentos".

1.4 Estrutura do Trabalho

O presente estudo está organizado em 6 capítulos, que são descritos a seguir:

O Capítulo 1 introduz o tema da dissertação e sua relevância no contexto rodoviário brasileiro. Apresenta também os objetivos, as justificativas e a estrutura do trabalho.

O Capítulo 2 apresenta a revisão bibliográfica referente aos defeitos em pavimentos rígidos, com suas terminologias e classificações, os métodos de avaliação da superfície do pavimento, bem como métodos utilizados para a avaliação funcional no cenário mundial.

O Capítulo 3 consiste na descrição da metodologia da pesquisa, com a definição das seções testes. Consta ainda a avaliação funcional realizada em campo nas seções–testes pelos modelos tradicionais e com a utilização do equipamento *Pavement Scanner*.

O Capítulo 4 apresenta os resultados obtidos pelos métodos tradicionais e com a utilização do *Pavement Scanner* e a comparação de seus resultados.

O Capítulo 5 apresenta as conclusões obtidas neste estudo e recomendações.

O Capítulo 6 apresenta as referências bibliográficas utilizadas nesta dissertação.

O Anexo A apresenta um detalhamento das patologias em um Pavimento de Concreto de Cimento Portland.

O Anexo B apresenta um detalhamento dos módulos processados pelo *Pavement Scanner*.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Introdução

Pavimento rígido é constituído por placas de concreto de cimento Portland assentes sobre camada de sub-base granular ou cimentada. Quando a sub-base for cimentada pode, adicionalmente, haver uma camada inferior de material granular. Os esforços provenientes do tráfego são absorvidos principalmente pelas placas de concreto de cimento Portland, resultando em pressões verticais bem distribuídas e aliviadas sobre a camada de sub-base ou sobre a camada de fundação (DER, 2006).

Para o estudo da aplicabilidade do processo de inventário funcional de pavimentos rígidos com o emprego do equipamento *Pavement Scanner* e a validação de resultados é importante discorrer sobre os defeitos de pavimentos rígidos de concreto de cimento Portland, os métodos de avaliação da superfície do pavimento e suas origens, assim como experiências observadas na literatura internacional.

Durabilidade e resistência são as principais vantagens dos pavimentos rígidos. Enquanto os pavimentos flexíveis são projetados para ter uma vida útil de aproximadamente dez anos, os pavimentos de concreto são concebidos para operar por até 30 anos com intervenções mínimas de manutenção. Essa menor necessidade de manutenção pode, assim, diluir o ônus do investimento inicial maior de implantação que o pavimento rígido requer em relação ao pavimento flexível.

Em comparação com os pavimentos flexíveis pode ser apontada também a economia de combustível (podendo chegar até 20% conforme alguns estudos) devido a menor resistência imposta aos pneus dos veículos, uma menor influência na temperatura ambiente local devido a sua maior refletividade e, por fim, uma menor probabilidade de ocorrência de aquaplanagem devido ao processo de texturização (se bem realizado).

Os defeitos mais comuns nos pavimentos rígidos estão normalmente associados ao emprego de técnicas executivas e materiais inadequados, aliados à ausência de uma manutenção rotineira requerida por esse tipo de estrutura; podem ocorrer com diferentes frequências e graus de severidades, que tendem a se agravar com o decorrer do tempo (DNIT, 2010).

A partir de adequado levantamento, e subsequente cadastramento, é possível estabelecer índices de serventia da condição de uso dos pavimentos, permitindo o estabelecimento de prioridades, e assim, um programa de gerenciamento.

O presente trabalho tem como objetivo a contribuição para o processo de avaliação funcional de pavimentos através do estudo sobre a aplicabilidade do processo de inventário funcional de pavimentos rígidos com o emprego do equipamento *Pavement Scanner* e validação de resultados, o que pode ser um novo processo que garanta a integridade, a confiabilidade e a plena restituição das informações referentes à condição da superfície dos pavimentos de concreto cimento Portland para fins de projetos e programas de gestão de pavimentos.

Têm-se, portanto, que esta pesquisa objetiva aprimorar o desenvolvimento da tecnologia para inventário de pavimentos rígidos com *Pavement Scanner* através da adaptação à realidade nacional.

A comparação da confiabilidade obtida a partir do método tradicional de classificação da condição do pavimento PCI (ou Índice de condição do Pavimento, ICP) com o *Pavement Scanner*, para o mesmo trecho, será a base deste estudo. A partir de seções-teste, com pavimento rígido, localizados no estado de São Paulo, serão obtidos dados para realização de uma análise da Qualidade, Reprodutividade e Velocidade dos levantamentos realizados.

Uma revisão bibliográfica demonstrando a experiência obtida no exterior e alguns dos problemas apontados pela forma como as informações são obtidas, as dificuldades no processamento dos dados gerados, bem como eventuais problemas

que podem dificultar a interpretação dos resultados, como as juntas e a texturização do pavimento rígido, constituirão parte da pesquisa.

O manual de Avaliação Funcional e Estrutural do DER/SP (2006) enuncia a “avaliação funcional” como a determinação da capacidade de desempenho funcional momentânea, serventia, que o pavimento proporciona ao usuário, ou seja, o conforto em termos de qualidade de rolamento. O desempenho funcional refere-se à capacidade do pavimento de satisfazer sua função principal, que é a de fornecer superfície com serventia adequada em termos de qualidade de rolamento.

A avaliação funcional é realizada para determinar o conforto ou a qualidade do rolamento e as condições de superfície identificam os defeitos existentes no trecho. A avaliação de superfície tradicional é feita por um avaliador, caminhando sobre o pavimento, realizando um inventário dos defeitos existentes em áreas selecionadas como amostras por meio de planilhas, via coletor de dados ou mesmo um notebook acoplado a um hodômetro de precisão.

No meio técnico rodoviário, o emprego de equipamentos de avaliação contínua e integrada de pavimentos tem ganhado destaque, em especial os que possibilitam levantamento de informações em velocidade de tráfego com grande acurácia e reprodutividade.

No que tange o desenvolvimento e/ou a introdução de novas tecnologias de avaliação de pavimentos, no Brasil já se tem utilizado amplamente os perfilômetros laser para determinação de irregularidade longitudinal e têm-se buscado alternativas aos procedimentos convencionais de cadastro de defeitos de superfície, com vistas a maior agilidade na coleta de dados, menor interferência do avaliador no resultado, melhora nas condições de segurança dos técnicos envolvidos na coleta de informações e menor interferência com os usuários (FIALHO, 2015).

O equipamento *Pavement Scanner* utiliza linhas de projeção de laser, câmeras de alta velocidade e óptica avançada para adquirir em alta definição o perfil 3D da rodovia.

Através de um veículo adaptado com duas bases na posição traseira, nos lados direito e esquerdo do veículo, cada uma contendo dois sensores a laser, são gerados dois perfis distintos para cada base. Um dos perfis tem a função de apresentar a imagem do pavimento e o outro de coletar os dados do laser.

Esta tecnologia permite visão 3D para avaliação automática do estado do pavimento, seja ele asfáltico ou de concreto. O *Pavement Scanner* adquire dados de imagem em 2D e 3D da superfície da rodovia com resolução de 1 mm sobre uma largura de 4 m em pista com velocidades de até 100 km/h.

As principais características do equipamento e especificações do sistema, segundo a empresa prestadora de serviços Dynatest, são as seguintes:

- Detecção automática de fissuras e severidade;
- 4160 pontos na trilha de roda;
- Medidas de macrotextura com mais de 100% da largura da faixa;
- Dados 3D e 2D para caracterização: fissuras, panelas, desagregação, trincamentos, juntas no concreto, etc.;
- Pode se operar em superfícies asfálticas e de concreto;
- Operação dia e noite;
- Baixo consumo de energia;
- Alta resolução (1 mm);
- Perfil longitudinal (IRI - International Roughness Index);
- Inclinação transversal e longitudinal.

Especificações do sistema:

- Número de perfis a laser: 2;
- Velocidade de aquisição: de 5600 perfis/segundo até 11200 perfis/segundo;
- Velocidade do veículo: de 0 km/h até 100 km/h;
- Espaço entre os perfis: de 1 até 5 mm (ajustável);
- Largura transversal de visão: 4 m;
- Precisão transversal: 1 mm;
- Precisão vertical: 0,5 mm;
- Resolução transversal: 4096 pontos/perfil;

- Profundidade de visão: 250 mm (ajustável);
- Resolução vertical: 0,5 mm;
- Dimensões do perfil do laser: 428 mm (altura) x 265 mm (largura) x 139 mm (profundidade);
- Peso: 10 kg (por sensor);
- Consumo de energia (máx.): 150W a 120/240 VAC.

Os dados adquiridos no levantamento são comprimidos em tempo real no sistema de processamento encontrado no veículo de coleta de informação, minimizando necessidades de armazenamento. Os dados obtidos giram em torno de 1 Gb por km e podem ser usados para determinação de:

- Marcações das faixas;
- Fissuras;
- Afundamentos nas trilhas de rodas;
- Macrotextura;
- Painelas;
- Desgastes;
- Juntas de concreto;
- Degraus do acostamento;
- Selagens de trincas;
- IRI;
- Desagregação;
- Exsudação;
- Declividade e Inclinação transversal.

Cada seção levantada possui uma largura de 4,00 m (posicionamento das bases no veículo) e extensões que vão de 1 m até 10 m (padrão 10 m). Estas informações possibilitam o mapeamento dos defeitos de acordo com parâmetros de entrada inseridos previamente ao processamento dos dados.

O manual do software LCMS (*Laser Crack Measurement System*) apresenta um exemplo dos mapeamentos dos defeitos e classificações dos trincamentos, de

acordo com a severidade apresentada. A figura 1 abaixo representa um arquivo típico de saída overlay3D do software:

1. Linha (Faixa, Trilha, Perfil, IRI);
2. Fissuras;
3. Trincas Classe 1;
4. Trincas Classe 2;
5. Trincas Classe 3;
6. Panela;
7. Degrau do Acostamento;
8. Guia/Calçada/Meio-Fio.

Figura 2.1 Exemplo de Seção do Pavimento com Mapeamento dos Defeitos (adaptado do LCMS Analyser Library: User Manual, 2016).

Em teoria, o emprego do *Pavement Scanner* na avaliação funcional de pavimentos de concreto de cimento Portland sob elevado volume de tráfego parece muito vantajoso sob o aspecto técnico, com a possibilidade de avaliação integrada de todos os parâmetros funcionais, com mínima interferência no tráfego da rodovia (pois a avaliação ocorre em velocidade elevada), elevada reprodutividade e possibilidade de restituição das informações e imagens dos locais avaliados, eliminando a interferência de técnicos de campo no resultado final da avaliação do pavimento.

Neste sentido, ressalta-se a importância da validação de uma nova tecnologia de avaliação funcional de pavimentos para aplicação em rodovias brasileiras que permita a coleta de informações de forma automática, sem a interferência do profissional encarregado pela atividade de inventário de superfície, minimizando o tempo de coleta e processamento de dados, reduzindo as interferências com o tráfego (e consequentemente os riscos de acidentes) e garantindo informações de qualidade e de rápida restituição.

2.2. Avaliação Estrutural e Avaliação Funcional

A avaliação de um pavimento compreende um conjunto de atividades destinadas à obtenção de dados, informações e parâmetros que permitam diagnosticar os problemas e interpretar o desempenho apresentado pelo pavimento, de modo a detectar suas necessidades atuais e futuras de manutenção e prever as consequências da implementação de estratégias alternativas de manutenção. Estas informações são utilizadas no planejamento e projeto de serviços de gerência de pavimentos, norteando os serviços de manutenção e restauração da rodovia (SHAHIN, 2005).

Para um adequado planejamento de intervenções a avaliação de pavimentos deve fornecer dados que permitam indicar as melhores soluções a serem aplicadas na estrutura, promovendo o restabelecimento das características de conforto, segurança e economia aos usuários das rodovias. O diagnóstico deve ser realizado através de um método que possa ser aplicado por qualquer usuário, trazendo os mesmos resultados para o mesmo tipo de condição observada.

As inspeções de campo englobam as condições funcionais, estruturais e de segurança (aderência pneu-pavimento), servindo para um adequado monitoramento, e planejamento de medidas corretivas, buscando por fim condições satisfatórias de uso ao longo de sua vida útil.

A necessidade de conhecer as patologias que ocorrem com maior frequência nos pavimentos de concreto é de fundamental importância quando se pretende avaliar a condição operacional destes pavimentos em serviço (FELIX, 2008).

Avaliação Estrutural é a determinação da capacidade de desempenho estrutural, que por sua vez é a capacidade do pavimento de manter sua integridade estrutural. A avaliação estrutural de pavimentos consiste na análise das medidas de deslocamentos verticais recuperáveis da superfície do pavimento quando submetido

a determinado carregamento em conjunto com a realização de sondagens para determinação de sua composição (DER, 2006).

Avaliação Funcional é a determinação da capacidade de desempenho funcional momentânea, serventia, que o pavimento proporciona ao usuário, ou seja, o conforto em termos de qualidade de rolamento. O desempenho funcional refere-se à capacidade do pavimento de satisfazer sua função principal, que é a de fornecer superfície com serventia adequada em termos de qualidade de rolamento (DER, 2006).

A condição funcional descreve a qualidade da rodovia em termos de conforto, custos e segurança, enquanto a condição estrutural está relacionada à capacidade de suporte (YODER E WITCZAK, 1975).

Métodos estabelecem procedimentos para a inspeção visual e avaliação do estado operacional de um pavimento através da investigação criteriosa da ocorrência de patologias e do seu grau de severidade.

2.2.1. Introdução

As patologias que ocorrem nos pavimentos de concreto podem ser de origem funcional ou estrutural. As patologias funcionais estão associadas à irregularidade presente na superfície do pavimento que afetam as condições de segurança e conforto ao rolamento (BALBO, 2007), enquanto que as patologias estruturais estão relacionadas a defeitos como fissuras e descontinuidade nos materiais que podem causar danos prejudiciais a integridade estrutural do pavimento (FELIX, 2008).

Para um engenheiro rodoviário a condição estrutural do pavimento indica por quanto tempo este manterá um nível adequado de condição funcional ou serventia (LERCH, 2002).

A capacidade de suporte, segundo Ullidtz (1987): é “o número de passagens de rodas de um tipo específico que um pavimento pode suportar antes de alcançar um nível inaceitável de dano funcional e estrutural”.

A deflexão (deformação elástica ou deformabilidade) é fundamental na avaliação estrutural de um pavimento, possibilitando a determinação do comportamento elástico das diversas camadas que compõe esta estrutura, sendo utilizada como base em projetos de restauração e, também, como índice para aceitação de camadas de suporte.

Para o usuário da rodovia o importante é a condição funcional desta. Trata-se do conforto e da segurança ao rolamento, seja da condição da superfície do pavimento, não diretamente da estrutura (MEDINA, 1997).

Um pavimento bem projetado e construído apresenta ao usuário, logo após a sua conclusão, um alto grau de serventia, traduzido pelo binômio: segurança e conforto (PINTO e PREUSSLER, 2001).

As condições superficiais de um pavimento são avaliadas de forma subjetiva, através de índices de serventia, ou objetiva, como, por exemplo, através da irregularidade longitudinal (LERCH, 2002).

Pode-se classificar como patologias funcionais o desgaste superficial da placa de concreto, o degrau nas juntas ou escalonamento, o arrancamento do material (*popouts*), o desnível entre o pavimento e o acostamento, os grandes e os pequenos reparos e as passagens em desnível executadas nos pavimentos de concreto.

2.2.2. AASHO Road Test

O AASHO Road Test foi uma série de experiências realizadas pela *American Association of State Highway and Transportation Officials* para determinar como o tráfego contribuiu para a deterioração dos pavimentos rodoviários. Oficialmente, o

experimento foi intitulado: "... para estudar o desempenho de estruturas de pavimentos de espessura conhecida sob cargas em movimento de magnitude e frequência conhecidas." Este estudo, realizado no final de 1950 em Ottawa, Illinois, é frequentemente citado como uma fonte primária de dados experimentais quando o desgaste do veículo para rodovias é considerado, para efeitos de projeto de estradas, tributação de veículos e custeio.

Figura 2.2 Localização do experimento (fonte: HRB, 1962).

O experimento consistiu em seis contornos com pistas de duas faixas ao longo do futuro alinhamento da Interstate 80. Cada pista foi submetida a cargas repetidas por um tipo específico de veículo e peso. A estrutura do pavimento de cada contorno foi variada de modo que a interação de cargas de veículos e estrutura de pavimento pôde ser investigada. Foi realizado um planejamento para execução em outros pontos do país, para que o clima e subleito efeitos poderiam ser investigados, mas nunca foram realizados.

Figura 2.3 Configuração dos 6 loops (fonte: HRB, 1962).

Em agosto de 1956, iniciaram-se as instalações experimentais para a realização do AASHO Road Test, em Ottawa, Estado de Illinois, cujo objetivo principal era determinar uma relação significativa entre o número de repetições de carga de eixos, com cargas diferentes em magnitude e arranjos, e o desempenho de pavimentos constituídos por camadas de naturezas e espessuras variadas (HUANG, 1993).

Os resultados do AASHO Road Test foram usados para desenvolver um guia de dimensionamento de pavimento, emitido pela primeira vez em 1961 como o "Guia Provisório AASHO para a concepção de pavimentos rígidos e flexíveis", com as principais atualizações emitidas em 1972 e 1993. A versão 1993 ainda é tem uso difundido nos Estados Unidos. Um novo guia originalmente planejado para ser lançado em 2002, publicado de forma completa em 2004, é um guia de projeto de pavimento AASHO não baseado principalmente sobre os resultados da *AASHO Road Test*, trata-se do *Mechanistic Empirical Pavement Design Guide* (MEPDG).

O AASHO Road Test introduziu muitos conceitos em engenharia de pavimento, incluindo o fator de carga de equivalência. Sem surpresa, os veículos mais pesados reduziram a serventia em um tempo muito mais curto do que veículos leves, e a figura frequentemente citada, chamada a Quarta Lei da Potência generalizada, que diz que os danos causados por veículos são "relacionados com a quarta potência do seu peso por eixo", é derivada deste. O outro resultado direto dos testes eram novos

padrões de garantia de qualidade para construção de estradas nos EUA, que ainda estão em uso hoje.

O *Present Serviceability Rating* (PSR) é realizado por uma comissão de no mínimo 5 membros, de forma subjetiva, que ao percorrer os segmentos de rodovia em condições normais de tráfego, cada membro, atribuía uma nota ao pavimento, variando de 1 (muito fraco) a 5 (muito bom). Utilizando-se da média das informações coletadas para cada seção: aceitabilidade do trecho e a média da serventia do pavimento; levou, para cada seção, a definição do valor de serventia atual.

A necessidade de grandes extensões e diversificados tipos de pavimentos para realização de avaliações subjetivas fez com que estas fossem realizadas em trechos diferentes aos desenvolvidos para a realização do AASHO Road Test. As avaliações foram realizadas em 99 trechos selecionados nos estados de Illinois, Minnesota e Indiana, englobando pavimentos flexíveis e rígidos em proporções semelhantes.

A partir de análise destas notas obtidas, o valor de PSR de 1,5 representou o limite inferior em que o pavimento não tinha mais capacidade de suportar tráfego; o valor de 2,5 indicava a necessidade da execução de uma camada de reforço (intervenção na estrutura do pavimento).

Acceptable?		5	Very Good
Yes	☐	4	Good
No	☐	3	Fair
Undecided	☐	2	Poor
		1	Very Poor
		0	
Section Identification _____		Rating _____	
Rater _____	Date _____	Time _____	Vehicle _____

Figura 2.4 Avaliação da PSR realizada (fonte: HRB, 1962).

A partir deste conceito, considerando também o grande custo para execução destas avaliações, um parâmetro chave substituto "Present Serviceability Index (PSI)" foi estabelecido, índice que varia em uma escala de 0 a 5, da mesma forma que o PSR. A irregularidade foi medida com um perfilógrafo mecânico, reportando um parâmetro chamado de variação de inclinação (SV). SV é a segunda derivada espacial da altura. Para um veículo que viaja com determinada velocidade, SV é a fonte para aceleração vertical; a segunda derivada do tempo em relação à altura. Isto faz sentido, uma vez que uma frequência que varia de 1 até 80 Hz é o parâmetro usado quando se relaciona a exposição humana a vibração ao desconforto percebido na ISO 2631-1 (1997). Dessa forma, pode-se dizer que SV está fisicamente ligado a qualidade de rolamento.

Figura 2.5 Aceitabilidade x PSR (fonte: HRB, 1962).

O PSI é baseado em dados sobre a irregularidade longitudinal de estradas, remendos, afundamentos e trincamentos. Estudos posteriores demonstraram que PSI é principalmente um fruto de irregularidades funcionais, com uma correlação de mais do que 90% entre os dois.

Segundo Haas e Hudson (1978), a equação original do Índice de Serventia Atual, obtida a partir dos resultados do AASHO Road Test, para pavimentos flexíveis, é a Equação 2.1 a seguir:

$$PSI = 5,03 - 1,91 \log(1 + SV) - 1,38 RD^2 - 0,01(\sqrt{C + P})^{0,5} \quad R^2=0,84$$

Equação 2.1 Cálculo do PSI (fonte: HAAS e HUDSON, 1978)

Onde:

PSI: índice de serventia atual;

SV: média da variância da declividade determinada por um perfilômetro;

RD: média da medida da deformação permanente na trilha de roda (pol);

C: é a extensão, em pés, das trincas, por 1000 pés quadrados de área;

P: é a área de remendos, em pés quadrados, por 1000 pés quadrados de área.

A equação do PSI para o AASHO Road Test foi desenvolvida por meio de regressão múltipla, isto é, um grupo de medidas físicas foi relacionado às avaliações subjetivas. Embora essas medidas físicas tenham incluído defeitos do pavimento, como deformações permanentes nas trilhas de rodas, trincamento e remendos, foi a medida objetiva da irregularidade que mostrou ter maior correlação com a média das avaliações subjetivas (VSA – Valor de Serventia Atual) (SONCIM, 2011).

Embora o estudo seja bastante antigo, ainda é frequentemente referenciado, apesar dos críticos apontarem que seus dados só são válidos nas condições específicas do teste no que diz respeito ao tempo, lugar, meio ambiente e as propriedades dos materiais presentes durante o teste.

Extrapolar os dados para diferentes situações pode perder representatividade. Outros estudos têm tentado refinar os resultados, seja através de mais estudos empíricos, ou por desenvolvimento de modelos matemáticos, com diferentes soluções obtidas.

2.2.3. Serventia

Serventia atual é a capacidade de um trecho específico de pavimento proporcionar, na opinião do usuário, rolamento suave e confortável em determinado momento, para quaisquer condições de tráfego (DNIT, 2003).

De acordo com Balbo (1997): “a serventia é uma medida do quão bem um pavimento, em um dado instante de sua vida de serviço, atende ao tráfego misto com suavidade e conforto ao rolamento, em qualquer condição climática, na opinião dos usuários”.

Segundo Domingues (1993), serventia de um pavimento é “a capacidade que um pavimento possui de oferecer rolamento seguro, suave, confortável e econômico”.

A AASHTO desenvolveu sua pista experimental e demonstrou que a maneira mais eficiente de se obter informação sobre o estado de serventia de um pavimento é através do próprio usuário (FIALHO, 2015).

Vale ressaltar que serventia é a capacidade de um pavimento construído em um determinado trecho servir ao usuário em um dado momento quanto ao seu conforto ao rolamento (e em parte quanto à segurança). Logo, a avaliação funcional trata de analisar o pavimento quanto a sua função para o usuário: dar conforto ao rolamento.

Foram desenvolvidos pela AASHO Road Test (1957), pela “Pavement Design and Evaluation Committee” (PDEC), da “Canadian Good Roads Association” (CGRA) (início da década de 60) e pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) procedimentos para avaliar o comportamento funcional dos pavimentos a partir do conceito de serventia e desempenho, onde, são formadas equipes de avaliadores que percorrem trechos do pavimento em veículos médios, obedecendo a regras pré-determinadas. (FELIX, 2008)

Os índices obtidos, conforme mencionado acima, são para a AASHO o PSR, para a Canadian, até 1968, o “Present Performance Rating – PPR” (Avaliação do Desempenho Atual), posteriormente denominado “Riding Comfort Index – RCI” (Índice de Conforto ao Rolamento) e, para o DNER (atualmente DNIT), foi o VSA (Valor de Serventia Atual), que varia de 0 (péssimo) a 5 (ótimo) e o ICP (Índice de Condição do Pavimento), sendo os métodos uma forma de avaliação subjetiva da condição dos pavimentos, com exceção do ICP que é obtido de forma objetiva.

A serventia de um pavimento está relacionada ao seu índice de irregularidade. Através de experimentos executados pela AASHO Road Test pode-se afirmar que, aproximadamente 95% das informações sobre a serventia de um pavimento são dadas pela irregularidade de sua superfície, ou seja, apenas 5% estão relacionadas a outros fatores (DOMINGUES, 1993).

Segundo Domingues (1993), a perda de serventia pode estar relacionada também a fatores externos, de projeto e construtivos tais como, aumento do volume de tráfego previsto em projeto associado ao tipo e a espessura do pavimento, qualidade da construção, fatores climáticos, entre outros.

A perda de serventia está associada a fatores referentes a integridade estrutural do pavimento, tais como, bombeamento de solos finos, infiltração de água, desenvolvimento de fissuras, perda de resistência, entre outros, que ocorrem de maneira progressiva afetando sua capacidade estrutural (BALBO, 2007).

Para os usuários, há um limite de aceitabilidade das condições de rolamento do pavimento, abaixo do qual o nível de conforto passa ser inaceitável, este limite depende da rodovia e do tráfego (BERNUCCI et al, 2008). A curva de serventia é apresentada na figura 2.5 abaixo:

Figura 2.6 Variação da Serventia com o Tráfego ou Tempo (adaptada de BERNUCCI, 2008).

2.2.4. Irregularidade Longitudinal

A irregularidade longitudinal é o somatório das irregularidades no perfil longitudinal de um pavimento, que causam desconforto, insegurança e aumentam os custos de viagem. Tem uma grande influência sobre aspectos funcionais, como o consumo de combustível, pneus e tempo de viagem, além de ser um importante elemento na análise das características da superfície destes pavimentos.

É um parâmetro que não é facilmente definido. Os efeitos que um determinado grau de irregularidade causa na qualidade de conforto ao rolamento variam sensivelmente com a velocidade e com as características do veículo, ou seja, a irregularidade longitudinal é função do perfil da superfície do pavimento, da sensibilidade dos passageiros à aceleração e à velocidade e das características do veículo utilizado. Segundo Domingues (1993), a irregularidade longitudinal é o fator primordial que caracteriza o rolamento indesejável e desconfortável de uma via; o segundo maior contribuinte é a irregularidade transversal (FELIX, 2008).

A determinação da irregularidade longitudinal de um pavimento pode ser considerada, com boa aproximação, como uma medida indireta de sua serventia (DNER, 1998).

A determinação da irregularidade longitudinal de um pavimento é uma característica que influi na interação da superfície da via com veículos, gerando efeito sobre os próprios veículos, sobre os passageiros e o motorista e sobre a carga transportada. Ela afeta a dinâmica dos veículos, tem influência sobre o custo operacional dos mesmos e ainda aumenta o seu desgaste.

A segurança e o conforto ao rolamento que um pavimento proporciona estão intimamente ligados ao perfil longitudinal, à existência ou não de trilhas de roda severas e à suavidade que a superfície apresenta, ou seja, são inversamente proporcionais ao grau de irregularidade dessa superfície.

Segundo Haas e Hudson (1978): a irregularidade longitudinal não só é uma função do perfil do pavimento, como também das características do veículo, incluindo pneus, suspensão, carroceria, estofamento e também da sensibilidade dos motoristas e passageiros quanto às variações de velocidade e aceleração.

A origem da irregularidade longitudinal pode ser a existência de problemas na execução do pavimento, ou mesmo devido à deterioração de sua condição com o tempo pela atuação do tráfego, clima e outros fatores.

A irregularidade influi na interação da superfície da via com os veículos, gerando efeitos sobre os próprios veículos, sobre os passageiros e motoristas, e sobre as cargas transportadas. Afeta a ação das cargas dinâmicas sobre o pavimento, bem como causa prejuízos à condução dos veículos, aumento no custo operacional, diminuindo a segurança, o conforto e a velocidade das viagens. (LERCH, 2002).

As medições periódicas de irregularidade fornecem informações que possibilitam aperfeiçoar as metodologias de projeto de reabilitação e de construção dos pavimentos. Há um histórico de medições considerável das rodovias federais e concessionadas no país possibilitando, portanto, uma melhor padronização dos processos de medições e melhor compreensão do fenômeno e suas consequências.

A importância do conhecimento da irregularidade de uma rodovia reside na sua correlação com a qualidade de rolamento e com vários componentes dos custos operacionais dos veículos. A condição de rolamento é afetada diretamente pelos esforços produzidos pela irregularidade longitudinal da via, chegando esta a ser antieconômica, insegura e desconfortável em condições adversas.

Podem ser adotadas diversas escalas padronizadas na obtenção da medida de irregularidade que são função do sistema medidor utilizado na avaliação da superfície de um pavimento. Em 1982, com o objetivo de se obter uma medida padrão internacional de irregularidade longitudinal da superfície dos pavimentos, o Banco Mundial através de uma pesquisa desenvolvida no Brasil dentro do chamado *International Road Roughness Experiment*, realizado em Brasília, estabeleceu o

International Roughness Index (IRI), que é uma escala de referência mundial para se efetuar comparações entre os diferentes sistemas medidores de irregularidade tipo resposta existentes (PREUSSLER et al. 2006).

O Índice Internacional de Irregularidade (IRI) pode ser definido como a somatória dos deslocamentos verticais sofridos pela suspensão do veículo dividido pela distância percorrida durante o levantamento, sendo comumente expressado nas unidades de metros/quilômetros ou milímetros/metro. O IRI pode ser determinado a partir de um perfil levantado por nível e mira nas trilhas de roda, ou com emprego de equipamentos mais complexos, tal como um perfilômetro dinâmico de superfície.

A Tabela 2.1 apresenta correlações entre o IRI e outras medidas de irregularidade empregadas a partir de diferentes aparelhos medidores do tipo resposta (BALBO, 1997).

Aparelho Medidor	Índice Típico	País	Correlação
Maysmeter	QI_m	Brasil	$IRI = QI_m / 13$
Bump Integrator	BI	Inglaterra	$IRI = BI^{0,89}$
APL 72	$CP_{2,5}$ (coeficiente planar)	Bélgica	$IRI = CP_{2,5} / 16$
APL 72	W_{sw} (energia de baixo comprimento de onda)	França	$IRI = 0,78 \cdot W_{sw}^{0,63}$
APL 25	$CAPL_{25}$	França	$IRI = 0,45 \cdot K \cdot CAPL_{25}$
Perfilômetro AASHO	SI (ISA)	EUA	$IRI = 5,5 \cdot \ln(5,0 / SI)$

Tabela 2.1 Correlações entre o IRI e outras medidas de irregularidade (fonte: BALBO, 1997).

Equipamento	Estados norte-americanos que utilizam	Número de estados norte-americanos
ISS Profiler	AK, FL, GA, IA, KS, MT, NE, NE, OH, SD, PA, UT, WA	13
K.J. Law Profiler	AZ, KY, NH, OH	4
Roadware	AR, CO, CT, IA, ME, MD, MA	11
Profiler	MO, NJ, NM, SD	
DOT Profiler	CA, TX	2
Pathway Profiler	MN, ND, WY	3
Pavetech Profiler	MN, WI	2
Mays Meter	VT	1
Não Especificado	MI, MS, RI, VA	4

Tabela 2.2 Diferentes perfilômetros utilizados nos Estados Unidos (fonte: BARELLA, 2008).

Pode-se verificar na tabela 2.2 a quantidade de diferentes equipamentos que são utilizados para obtenção do índice de irregularidade nos estados norte-americanos.

Os valores do IRI típicos para pavimentos em serviço em estado aceitável variam entre 0 e 5 m/km, sendo que valores superiores representam superfícies de pavimentos piores quanto aos aspectos de conforto, fluidez e segurança (PREUSSLER et al. 2006).

O IRI, por ser um parâmetro internacional, pode ser entendido em qualquer país; por exemplo, um valor de IRI igual a quatro representa o mesmo grau de irregularidade no Brasil, na Espanha, no Uruguai e nos Estados Unidos da América, porém, cada país estabelece internamente o seu limite de aceitabilidade para esse valor considerando além das condições específicas a avaliação da irregularidade de um pavimento na opinião dos usuários (FELIX, 2008).

A Tabela 2.3 ilustra as diferentes faixas de classificação da irregularidade longitudinal dos pavimentos, em IRI (FARIAS et al., 2002).

EUA		Brasil		Espanha		Chile		Uruguai		Honduras	
Muito Bom	0 - 0,95	Excelente	< 1,9	Excelente	0 - 1,5			Muito Bom	0 - 3,2		
Bom	0,95 - 1,5	Bom	1,9 - 2,7	Aceitável	1,5 - 2,5	Bom	0 - 3,0	Bom	3,2 - 3,9	Bom	0 - 3,0
Regular	1,5 - 2,7	Regular	2,7 - 3,5	Regular	2,5 - 4,0	Regular	3,0 - 4,0	Regular	4,0 - 4,6	Regular	3,5 - 6,0
Ruim	> 2,7	Ruim	3,5 - 4,6	Não desejável	> 4,0	Ruim	> 4,0	Ruim	> 4,6	Ruim	> 6,0
		Péssimo	> 4,6								

Tabela 2.3 Escala do IRI para várias condições de Pavimentos (fonte: Adaptado de FARIAS, 2002).

Sistemas de Medidas Indiretas do Perfil (Perfilômetros) – um exemplo de equipamento utilizado neste tipo de sistema de medição é o Perfilômetro Dinâmico de Superfície – GMR, do tipo inercial. Esse tipo de perfilômetro requer quatro componentes básicos: aparelho para medir a distância entre o veículo e a superfície do pavimento (transdutor – em sua versão inicial era utilizado um potenciômetro conectado a uma roda em contato com a superfície do pavimento); aparelho de referência inercial para compensar o movimento vertical do veículo (acelerômetro); hodômetro para a localização do veículo na seção do pavimento; microcomputador para registrar e analisar os dados. O acelerômetro, mecânico ou eletrônico, montado no chassi, tem a finalidade de medir a aceleração vertical do veículo durante o percurso no trecho da rodovia. (SONCIM, 2011)

Escala IRI (m/km)	Condição Típica	Vias não pavimentadas	Pavimentos deteriorados	Vias não pavimentadas conservadas	Pavimentos antigos	Pavimentos novos	Pistas de aeroportos e auto-estradas	Velocidades de uso normal (km/h)		
16	depressões fortes e panelas							50		
14										
12	depressões pequenas e médias frequentes									
10										
8	depressões menores e frequentes									
6										
4	imperfeições na superfície									
2										
0	Perfeição absoluta									

Tabela 2.4 Escala do IRI para várias condições de Pavimentos (fonte: BALBO, 2009).

A escala padrão de irregularidade no Brasil, o Quociente de Irregularidade (QI), é contagens/km, medida correlacionável com o *International Roughness Index* (IRI), expresso em m/km, através da seguinte equação estabelecida na Pesquisa de Inter-relacionamento de Custos Rodoviários (GEIPOT, 1982):

$$IRI = \frac{QI}{13}$$

Equação 2.2 Correlação entre QI e IRI.

A Tabela 2.4 mostra a classificação de rodovias pavimentadas em função da irregularidade longitudinal (DNIT, 2006).

Condição	IRI (m / km)	QI (cont / km)
Excelente	1,0 - 1,9	13 - 25
Bom	1,9 - 2,7	25 - 35
Regular	2,7 - 3,5	35 - 45
Ruim	3,5 - 4,6	45 - 60
Péssimo	> 4,6	> 60

Tabela 2.5 Escala do IRI para várias condições de Pavimentos da malha do DNIT.

2.2.5. Mecanismo e Terminologia dos Defeitos.

O levantamento de defeitos nas placas e nos demais elementos de pavimentos de concreto é o primeiro passo para a determinação das atividades de manutenção, comumente corretiva, e pode-se, num dado momento, conforme os tipos e os montantes de serviços de manutenção chama-la simplesmente de restauração. Em alguns trabalhos de engenharia, o entendimento da feição ou morfologia do defeito é importante ainda para o conhecimento das suas causas (BALBO, 2009).

O histórico do Brasil em relação à pavimentação com placas de concreto de cimento Portland mostra que o inventário e cadastramento de defeitos geralmente ficam a critério do especialista que inspeciona a pista de rolamento (por observação visual ou remota), devido à mínima normalização realizada na área em busca de uma nomenclatura nacional ou estabelecimento de diretrizes de restauração e manutenção.

As patologias que ocorrem nos pavimentos de concreto podem ser de origem funcional ou estrutural. As patologias funcionais estão associadas à irregularidade presente na superfície do pavimento que afetam as condições de segurança e conforto ao rolamento, enquanto que as patologias estruturais estão relacionadas a

defeitos como fissuras e descontinuidade nos materiais que podem causar danos prejudiciais a integridade estrutural do pavimento (BALBO, 2007).

O conhecimento da frequência com que as patologias aparecem nos pavimentos de concreto possibilita uma adequada avaliação da condição operacional das vias fornecendo importante informação para um gerenciamento efetivo.

Segundo Balbo (2009), os maiores motivos de danificação precoce de pavimentos de concreto estão relacionados a:

1. Equívocos quanto à cura do concreto;
2. Equívocos quanto à serragem de juntas de contração;
3. Equívocos quanto ao emprego e posicionamento das barras de transferência;
4. Ausência de barras de transferência.

Um adequado projeto de pavimentos rígidos de concreto é fundamental para que não ocorra falha precoce na estrutura. Alguns dos problemas mais recorrentes são:

1. Equívocos quanto ao desempenho do concreto;
2. Falta de conhecimento quanto à expansão térmica do concreto;
3. Falta de conhecimento quanto à expansão térmica das placas de concreto;
4. Falta de cuidado com a composição dos agregados do concreto (potencialização de reações álcalis-agregados);
5. Falta de conhecimento e incorreta utilização de modelos de fadiga na fase de projeto;
6. Cargas não previstas em projeto;
7. Falta de cuidado com o aumento excessivo do módulo de elasticidade;
8. Falta de compromisso com o controle tecnológico do concreto;
9. Posicionamento de juntas e seu detalhamento;
10. Falta de atenção quanto à necessidade de se ter um adequado sistema de drenagem.

Foram reunidos neste capítulo os defeitos apresentados nos métodos USACE (1982) e DNIT (060 / 2004 – PRO) que têm por objetivo estabelecer uma sistemática para realização de inspeção visual em pavimentos rígidos de concreto de cimento

Portland e defeitos encontrados na literatura. Será discorrido brevemente também sobre possíveis causas e consequências do aparecimento destas patologias.

A descrição detalhada da classificação das patologias encontradas em Pavimentos de Concreto de Cimento Portland é dividida em Patologias Funcionais e em Patologias Estruturais e são apresentadas no Anexo A deste trabalho.

2.2.5.1. Sumário dos defeitos dos Pavimentos de Concreto de Cimento Portland

A tabela a seguir apresenta um sumário das patologias que ocorrem nos pavimentos de concreto relacionando sua morfologia típica às gêneses possíveis.

Defeitos de Pavimentos Rígidos		
Nome do defeito	Morfologia típica	Causas Possíveis
Alçamento	Caracterizado pelo desnivelamento ascendente da placa na região de uma fissura transversal, de uma junta e, eventualmente, na proximidade de canaletas de drenagem ou de reparos executados no pavimento.	Acúmulo de materiais incompressíveis na região das juntas e das fissuras; Saturação das camadas de sub-base e fundação.
Fissura de Canto	Aberturas que interceptam as juntas longitudinais e transversais a uma distância igual ou menor que a metade do comprimento de ambas.	O seu aparecimento está associado ao vencimento da resistência por fadiga do concreto na região ou à espessura insuficiente de placa em relação ao tráfego real.
Placa dividida	Caracterizada pela divisão das placas em quatro ou mais pedaços.	Sobrecarga; Capacidade de suporte inadequada.
Escalonamento ou degrau nas juntas	Deslocamentos verticais entre uma placa e outra adjacente na região da junta.	Bombeamento; Empenamento; Ausência ou dimensionamento inadequado das barras de transferência; Procedimento inadequado na retirada das fôrmas; Uso excessivo de graxa.
Falha na Selagem	Expulsão ou endurecimento do material que constitui a junta.	Corte das juntas com profundidade inadequada; Falhas no preenchimento do material selante.
Desnível Pista/Acostamento	Diferença de elevação entre o acostamento e a borda da placa, geralmente acompanhado de uma separação das bordas.	Bombeamento; Ausência ou dimensionamento inadequado das barras de transferência; Procedimento inadequado na retirada das fôrmas; Uso excessivo de graxa.
Fissuras Lineares	Aberturas originadas paralelamente ao eixo transversal ou longitudinal.	Tensões internas e externas sofridas pela placa.
Grandes Reparos	Áreas de pavimentos originais maiores que 0,45 m ² que foram removidas e posteriormente preenchidas com material de enchimento.	Falhas Construtivas; Restauração de patologias com grau de severidade elevado; Manutenção ou criação de redes distribuição subterrânea.
Pequenos Reparos	Áreas de pavimentos originais menores ou iguais a 0,45 m ² , que foram removidas e posteriormente preenchidas com material de enchimento.	Falhas Construtivas; Restauração de patologias com grau de severidade elevado; Manutenção ou criação de redes distribuição subterrânea.
Desgaste Superficial	Deterioração da superfície, normalmente de 3 a 13 mm.	Segregação; Exsudação
Bombeamento	Expulsão de solos finos da camada superior do subleito para a superfície do pavimento através das fissuras e/ou juntas, quando este for submetido à ação das cargas do tráfego.	Drenagem inadequada; Percolação da água pluvial da superfície para as camadas inferiores do pavimento.
Quebras Localizadas	Fissuras transversais e longitudinais interligadas que, posteriormente, devido à ação do tráfego, formarão pequenos blocos que irão se desprender da superfície do pavimento.	Perda de suporte pavimento(espessura e tráfego)/subleito, prática executiva inadequada.
Passagem de Nível	Caracterizada por elevações e depressões que ocorrem nas placas próximas aos trilhos.	Perda da capacidade de suporte do subleito.
Fissuras superficiais (rendilhado) e escamação	Fissuras capilares que ocorrem apenas na superfície da placa, tendo profundidade entre 6mm e 13mm, que apresentam a tendência de se interceptarem, formando ângulos de 120°.	Em geral, a causa mais comum para esse defeito é o excesso de desempenamento, que causa excesso de pasta na superfície, a qual rapidamente fissura, inclusive por retração plástica.
Fissura de Retração Plástica	Aberturas que se desenvolvem ao longo do eixo longitudinal da placa, costumam ser paralelas entre si e afastadas de 0,2 a 1,0 m, a profundidade varia de 25 a 75 mm.	Condições ambientais; Exsudação
Esborcinamento ou Quebra de Canto	Caracterizada pela presença de quebras em forma de cunha a uma distância menor que 0,60 m do canto da placa de concreto.	Repetição das cargas combinada com a perda da capacidade de suporte da fundação; Empenamento da placa; Dimensionamento inadequado ou Ausência das barras de transferência; Processos inadequados da retirada
Esborcinamento de Juntas	Caracterizado pela presença de fissuras, quebra das bordas e pelo desgaste ao longo da junta.	Perda de capacidade de suporte da fundação, dimensionamento inadequado das barras de transferência.
Placa Bailarina	Encontra-se apenas na metodologia DNIT e é caracterizado por uma placa cuja movimentação vertical é visível sob a ação do tráfego, principalmente na região das juntas.	Defeito pode ter origem em perda de suporte ou a um recalque diferencial.
Assentamento	Caracteriza-se pelo afundamento do pavimento, originando ondulação superficial de grande extensão, podendo ocasionar permanência da integridade do pavimento.	Defeito pode ter origem em perda de suporte, a um recalque diferencial ou a um agravamento das condições de fissuras transversais e longitudinais, ao longo do tempo.
Buracos	São reentrâncias côncavas observadas na superfície da placa, provocadas pela perda de concreto no local, apresentando área e profundidade bem definidas.	Defeito resultante da evolução de outros defeitos, como a desagregação de fissuras em feixes ou mesmo partição do concreto em pequenas peças.
Popouts (Arrancamento do Material)	Pequenos pedaços da superfície com diâmetros de 25 a 100 mm, e profundidades de 13 a 50 mm, quebram e soltam-se; Aparece mais em pavimentos de concreto com armadura contínua.	Ação do gelo e degelo; Expansão do agregado graúdo.
Polimento de Agregados	Caracterizado pela exposição do agregado graúdo na superfície da placa.	Utilização de agregados de textura lisa e arredondada no traço do concreto.
Fissura tipo "D" (Durability Cracking)	Fissuras de pequena abertura que caminham paralelamente em direção a uma junta, a uma fissura ou ainda ao canto livre da placa.	Ação do gelo e degelo; Expansão do agregado graúdo.

Tabela 2.6 Sumário de Defeitos em PCCP

2.3. Metodologias de Avaliação Funcional de Pavimentos de Concreto

Métodos estrangeiros e no Brasil estabelecem procedimentos para a inspeção visual e avaliação do estado operacional de um pavimento através da investigação criteriosa da ocorrência de patologias e do seu grau de severidade. Em especial

para o pavimento rígido, deve ser mencionado o método proposto pelo Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte (DNIT) que é uma adaptação do método proposto pela USACE (*United States Army Corps of Engineers*) em 1982.

O método proposto pela USACE tem o objetivo de inspecionar pavimentos de concreto simples e armado (armadura sem função estrutural). As normas oficializadas no Brasil que descrevem o procedimento de inspeção visual e avaliação das patologias são encontradas nas publicações “Pavimento rígido – Inspeção visual – Procedimento” (DNIT 060/2004-PRO), “Pavimento rígido – Avaliação objetiva – Procedimento” (062/2004 – PRO) e “Pavimento rígido – Avaliação subjetiva – Procedimento” (063/2004 – PRO). Estas normas referem-se aos pavimentos rígidos de concreto de cimento Portland como um todo, não diferenciando os pavimentos armados, dos pavimentos não armados. Já a classificação destas patologias encontra-se publicada e oficializada na norma “Pavimento rígido – Defeitos – Terminologia” (DNIT 061/2004-TER), todas aprovadas em 2004 (FELIX, 2008).

A avaliação funcional pode ser realizada através de diferentes métodos, sendo que, para Pavimentos Rígidos, um índice de qualidade associado aos defeitos do pavimento pode ser obtido no Brasil das seguintes formas:

- Avaliação Subjetiva de Pavimentos Rígidos:

Utilizando a norma DNIT 063/2004-PRO são atribuídas notas de 0 a 100 por avaliadores definindo um grau de conforto e suavidade de rolamento para os trechos inspecionados.

- Índice de serventia atual – ISA:

A serventia é definida como sendo a medida da qualidade de um pavimento, em um dado instante de sua vida de serviço, atendendo ao tráfego com suavidade e conforto de rolamento, em qualquer condição climática, na opinião dos usuários. Desta definição são extraídos dois elementos fundamentais: A serventia é uma

variável no tempo para uma seção de pavimento e trata-se de índice que pode ser avaliado subjetivamente, com base na opinião dos usuários (IBRACON, 2011).

Este conceito veio dos experimentos da AASHO Road Test e tem por origem a ideia de expressar a opinião de usuários quanto ao estado de um pavimento, isto é, compara o estado do pavimento e os custos operacionais dos veículos de uma forma mais humanizada.

- Irregularidade Longitudinal de Pavimentos Rígidos:

A irregularidade longitudinal de pavimentos rígidos pode ser obtida através de avaliações que contabilizam ao decorrer do trecho o quanto um pavimento deteriorado impacta no desenvolvimento de um veículo ao decorrer da via, gerando desconforto e modificando a experiência do usuário. Alguns métodos para este fim são, por exemplo, o Índice de Perfil (IP), dado em mm/km, o Perfilógrafo tipo Califórnia, dado em IRI e o Quociente de Irregularidade, dado em QI.

- Índice do Perfilógrafo Califórnia:

Com a utilização e operação do Perfilógrafo em cada faixa de tráfego a ser inspecionada, obtêm-se um parâmetro da condição da superfície que é o Índice de Perfil (IP), cuja unidade é dada em mm/km. Este parâmetro pode ser utilizado para avaliar a irregularidade longitudinal do pavimento e é um índice relacionado ao conforto de rodagem.

A utilização do Perfilógrafo tipo Califórnia no Brasil fornece o IP dos pavimentos através do deslocamento do equipamento longitudinalmente sobre o pavimento à velocidade máxima de 5 km/h, para minimizar saltos. São obtidos perfis dos pavimentos a 90 cm de cada borda do pavimento ou de cada junta longitudinal, e paralelamente a elas, ou seja, nas trilhas de rodas interna e externa de cada faixa de tráfego. O levantamento deve ser realizado em todas as faixas de tráfego e nas duas trilhas de roda. Recomenda-se o valor máximo de 240 mm/km para aceitação da superfície avaliada.

- Índice Internacional de Irregularidade – IRI:

O índice foi proposto pelo Banco Mundial e é uma referência de medida para diferentes sistemas medidores de irregularidade tipo resposta, um padrão de medida que relaciona o somatório dos deslocamentos na suspensão de um veículo dividido pela distância percorrida pelo veículo durante o teste, sendo expresso nas unidades m/km ou mm/m.

- Quociente de Irregularidade – QI:

É um índice representativo da irregularidade da superfície do pavimento. É expresso na unidade de “contagens por km”. Como indicação geral, no Brasil os pavimentos recém construídos apresentam valores de QI próximos de 30 contagens/km; valores maiores que 60 contagens/km, por outro lado, são indicadores de necessidade de reabilitação. Quociente de Irregularidade QI é semelhante ao IRI em relação ao objetivo, finalidade e maneira de obtenção. Porém as unidades são diferentes. Sendo o QI em [cont./km] e o IRI em [m/km] (IBRACON, 2011).

Pode-se correlacionar o QI com o IRI através de diversas fórmulas, sendo que a mais utilizada nacionalmente é a que relaciona o valor obtido pelo IRI multiplicado por 13 vezes para obtenção do valor de QI.

- Avaliação Objetiva de Pavimentos Rígidos – Inspeção Visual:

Avaliações objetivas de pavimentos rígidos determinam notas para trechos inspecionados com a utilização de métodos que contém padronizações para tipos de defeitos comuns encontrados e são obtidas através de uma inspeção visual realizada por avaliadores no local. Métodos utilizados nesta modalidade são, por exemplo, o Índice de Condição do Pavimento (ICP) e a norma DNIT 060/2004-PRO (Recomendações) em conjunto com a norma DNIT 062/2004-PRO (metodologia para Inspeção Visual).

- Índice de Condição do Pavimento – ICP

Segundo a norma 062/2004 – PRO do DNIT, é a medida da condição estrutural do pavimento, capaz de fornecer ao engenheiro de pavimentação informações para a verificação das condições da rodovia e para o estabelecimento de políticas de manutenção, prevenção e de recuperação.

Por tratar-se do método mais utilizado no Brasil para definição da condição funcional de pavimentos rígidos, e ser objeto de pesquisa desse estudo, será discutido posteriormente em capítulo separado.

Bennett (1998) ressalta a tendência para o uso de equipamentos automatizados para a coleta de dados dos pavimentos. Administradores e consultores dispõem de uma grande variação destes tipos de equipamentos, produzidos em diversos países, com diferentes tecnologias, com variabilidade de custos, capacidades e características. Alguns dos equipamentos que realizam levantamentos automáticos são apresentados no quadro a seguir.

Sistema PASCO ROADRECON (HAAS; HUDSON; ZANIEWSKI, 1994)	Consiste de duas câmeras fotográficas instaladas em um veículo tipo van. Uma câmera registra de forma contínua a superfície do pavimento, com finalidade de levantar os defeitos de superfície do pavimento, com finalidade de levantar os defeitos de superfície, e a outra tira fotos, de forma intermitente, para estimativa da profundidade da trilha de rodas. O trabalho é efetuado à noite, com a quantidade e ângulo de iluminação controlados. O veículo pode ser operado acima de 80 km/h e fotografar faixas com até 4,80 m de largura. A análise dos defeitos requer a interpretação manual das fotos.
Sistema GERPHO (HAAS; HUDSON; ZANIEWSKI, 1994)	Registra as imagens da superfície do pavimento de forma contínua com um filme de 35 mm. Utiliza iluminação artificial para operar à noite. A informação sobre os defeitos é obtida a partir do filme, utilizando-se um gabarito previamente elaborado. Os dados são processados automaticamente.
Sistema ARAN (Automatic Road Analyser) (HAAS; HUDSON; ZANIEWSKI, 1994)	Mede o afundamento de trilhas das rodas, perfis transversais e irregularidade. Os defeitos são registrados por meio de sensores ultrasônicos, espaçados a cada 0,30 m, instalados na parte dianteira do veículo. Filma a superfície do pavimento. O avaliador usa dois teclados para auxiliar nos levantamentos e podem ser registrados 20 tipos de defeitos, 3 níveis de severidade e 5 níveis de extensão (a partir de 2010 o equipamento começou a utilizar o sistema LCMS).
Sistema Laser Road Test - RST (HAAS; HUDSON; ZANIEWSKI, 1994)	Utiliza a tecnologia laser para medir a largura e a profundidade das trincas, a profundidade da deformação permanente das trilhas de roda, os perfis longitudinais e transversais, a macro-textura e as distâncias percorridas. Um avaliador identifica trincas e outros tipos de defeitos. Um microcomputador integra os sinais do acelerômetro e do hodômetro, que processa e armazena os dados obtidos em tempo real.
ROMDAS - TPL - Road Measurement Data Acquisition System (ROMDAS) - Transverse Profile Logger (TPL) (BEENETT, 1998)	Equipamento projetado para registrar o perfil transversal dos pavimentos utilizando sensores ultrasônicos instalados em um veículo. Também mede a irregularidade e registra a condição visual em vídeo. Cinco sensores com espaçamento de 100 mm estão contidos em uma parte anexa do sistema denominada UMSA (<i>Ultra Sonic Measurement System Array</i>). A seção principal do TPL contém 20 sensores. Na execução dos levantamentos um controle ligado a um computador dispara os sensores e armazena os dados. Os disparos dos sensores levam um tempo de aproximadamente 0,125 s.

Tabela 2.7 Equipamentos automatizados para levantamentos de defeitos (fonte: Adaptado de SONCIM, 2014).

2.3.1. Índice de Condição do Pavimento (ICP)

O método do índice de condição do pavimento desenvolvido na década de 70 por engenheiros do exército americano (*United States Army Construction Engineering Research Laboratory* - USACE) teve como objetivo inicial facilitar o gerenciamento das exigências de manutenção e recuperação da malha viária das instalações do exército. Posteriormente, foi constatada a necessidade de se desenvolver um índice numérico que retratasse a condição geral dos pavimentos em serviço baseado na consolidação dos dados relatados na inspeção. Este índice auxiliaria os engenheiros na avaliação do pavimento e na determinação das prioridades de manutenção e recuperação (FELIX, 2008).

Em sua concepção, o método ICP era utilizado para avaliação de pavimentos aeroportuários asfálticos e/ou pavimentos de concreto de cimento Portland (simples ou armado) oferecendo um critério padronizado para a avaliação de integridade estrutural e da condição operacional (funcional) da superfície de rolamento. Após esta primeira fase, a metodologia foi expandida para vias urbanas de baixas velocidades e estacionamentos.

A formulação do método ICP teve por base inspeções realizadas por engenheiros especializados e treinados, com conhecimentos específicos sobre degradação de pavimentos em trechos de pavimentos em instalações militares americanas. Foram definidos 19 tipos de defeitos ao total que representavam adequadamente as patologias em superfícies de pavimentos de concreto com juntas, bem como atribuíam diferentes graus de severidade para diferentes estados de degradação.

A partir de unidades amostrais com 20 placas de concreto com juntas (possuíam a limitação de 9 metros de comprimento), que apresentavam um tipo de defeito com um dado padrão de severidade e densidade, foram estabelecidos valores de ICP subjetivos médios para os diversos trechos avaliados, na opinião média da equipe avaliadora. Com a obtenção destes valores foi possível estipular valores de dedução (VD) para cada tipo de defeito, severidade e densidade: são os valores referentes a diferença entre o valor máximo 100 e o valor obtido pela média das equipes.

Considerando o fato de que os Valores de Dedução (VD) foram obtidos considerando apenas um tipo de defeito com um dado padrão de severidade e densidade por amostra, fez-se necessária uma adequação para os valores de dedução obtidos para condições reais em que diversos tipos de defeitos são encontrados simultaneamente.

A partir de nova rotina de avaliações, semelhante as primeiras, foram criados os Valores de Dedução Corrigidos (VDC) levando em conta a presença de diversos defeitos que podem ocorrer simultaneamente no pavimento avaliado, o que na conceituação inicial levaria a valores de dedução muito altos, o que não necessariamente condiz com a realidade da condição em que o pavimento se encontra.

O ICP é a medida da condição funcional do pavimento, capaz de fornecer informações para a verificação das condições da via (avenidas, rodovias, pátios, etc.) e serve também para estabelecer metas relacionando as necessidades e prioridades na manutenção e recuperação, bem como analisar o desempenho do pavimento em serviço a partir de determinações periódicas.

O índice de condição do pavimento (ICP) pode ser definido como a “medida da condição estrutural do pavimento, capaz de fornecer ao engenheiro de pavimentação informações para a verificação das condições da rodovia e para o estabelecimento de políticas de manutenção, prevenção e de recuperação” (DNIT, 2004).

O Índice de Condição do Pavimento (ICP) é o método utilizado no Brasil para definição da qualidade funcional de Pavimentos Rígidos de Concreto de Cimento Portland por ser recomendado pelo DNIT, não apresentar restrições e ser um parâmetro voltado para defeitos característicos de placas de concreto (origem no método USACE de 1982).

O desenvolvimento do ICP fundamentou-se na seleção de uma escala padrão que fornecesse a qualidade de estado do pavimento em serviço, na identificação e

descrição das patologias encontradas, na definição do critério de três níveis de severidade (alta, média e baixa) para cada tipo de defeito, na ponderação de um valor deduzido para cada tipo de patologia, seu grau de severidade e porcentagem de placas afetadas (densidade) resultantes do efeito negativo causado a integridade estrutural e as condições de segurança e conforto ao rolamento oferecido pela superfície do pavimento e na subtração do máximo valor de condição do pavimento (100) da combinação não linear dos valores deduzidos de forma a determinar o ICP (FELIX, 2008).

Através de preenchimento de ficha de inspeção contendo os diferentes tipos de defeitos de pavimentos de concreto é feita a determinação do Índice de Condição do Pavimento (ICP), que é definido por uma escala que varia de 0 a 100, onde a quantidade 100 representa uma excelente condição do pavimento e 0 um pavimento com uma péssima condição.

O levantamento visual determina, por placa, os tipos de defeitos encontrados, suas respectivas severidades e densidade são estipuladas para uma seção de pavimento escolhida.

O procedimento da avaliação baseado na inspeção visual dos defeitos no pavimento está dividido em quatro etapas. São elas:

- definição das seções a serem avaliadas,
- determinação do tipo de avaliação,
- levantamento dos defeitos do pavimento,
- cálculo do ICP.

As duas primeiras etapas são detalhadas pela norma DNIT 060/2004-PRO e as duas últimas são detalhadas na norma DNIT 062/2004-PRO.

O método consiste na dedução de valores de um pavimento perfeito com 100 pontos referentes ao tipo de defeito encontrado e sua respectiva severidade e densidade. Entende-se como valor a ser deduzido nulo, um defeito que não apresenta impacto

no atual desempenho do pavimento, ocorrendo o contrário para defeitos que tenham grande impacto.

A densidade de defeitos é determinada pela somatória da extensão de cada tipo de defeito, para cada nível de severidade, dividido pela área total do pavimento selecionada para amostra, sendo que para pavimentos de concreto a avaliação é realizada com relação ao número de placas que compõem a amostra. A extensão dos defeitos pode ser medida em metros quadrados, metro linear, número de ocorrências, dependendo do tipo de defeito. Então, baseado na densidade e nível de severidade, o valor a ser deduzido para cada tipo de defeito pode ser obtido das correspondentes curvas de dedução de valores (para cada tipo de defeito) conforme apresentado no PCI *Distress Identification Manual* (SONCIM, 2011).

$$densidade = \frac{Quantidade\ de\ defeitos}{Número\ de\ placas\ na\ Amostra}$$

Equação 2.3 Cálculo da densidade do defeito no método ICP para pavimentos rígidos

Cada valor de dedução causado por cada tipo de defeito e sua severidade acaba por compor um valor total de dedução. O valor de dedução total é obtido através da soma de todos os valores de dedução obtidos.

Devido ao método utilizado na formulação, conforme mencionado anteriormente, é necessária uma adequação deste valor total de dedução obtido, que é efetuada em função da quantidade (q) de distintos tipos de defeitos que ocasionam valores de dedução (VD) superiores a cinco unidades. Encontrando-se mais de um defeito com valor de dedução superior a cinco unidades, o valor de dedução corrigido (VDC), é corrigido através de curvas padronizadas, evitando o aparecimento, por exemplo, de valores de dedução totais superiores a 100.

A partir do valor de dedução corrigido (VDC) para o segmento em questão, o ICP é calculado da seguinte forma:

ICP = 100 – VDC (com ICP variando de 0 a 100).

Os dados obtidos em uma inspeção criteriosa, após serem avaliados e conjugados com as informações contidas no cadastro documental, possibilitam determinar a condição estrutural e o comportamento da pavimentação rígida, bem como estabelecer prioridade e critérios para sua manutenção e recuperação.

A escala de defeitos do ICP encontrada na norma brasileira é a seguinte:

PCI	
Excelente	100
Muito Bom	85
Bom	70
Regular	55
Pobre	40
Muito Pobre	25
Rompido	10

Tabela 2.8 Escala de classificação do ICP

A escala de defeitos do ICP encontrada no departamento de transportes de Minnesota (MNDOT) é observada na figura 2.7 a seguir:

Pavement Condition Index (PCI)

Figura 2.7 Escala de classificação do PCI e níveis de reparos (fonte: MNDOT, 2014).

Comparação dos defeitos encontrados nos diferentes métodos:

Defeitos de Pavimentos Rígidos		
Nº Defeito (DNIT)	Nome DNIT 062/2004-PRO	Nome original (USACE)
1	Alçamento (B/M/A)	Blow-ups (L/M/H)
2	Fissura de Canto (B/M/A)	Corner break (L/M/H)
3	Placa dividida (B/M/A)	Divided slab (L/M/H)
4	Escalonamento ou degrau nas juntas (B/M/A)	Faulting (L/M/H)
5	Falha na Selagem (B/M/A)	Joint seal damage (L/M/H)
6	Desnível Pista/Acostamento (B/M/A)	Lane/shoulder drop off (L/M/H)
7	Fissuras Lineares (B/M/A)	Linear cracking (L/M/H)
8	Grandes Reparos (B/M/A)	Patching, large and utility cuts (L/M/H)
9	Pequenos Reparos (B/M/A)	Small patching (L/M/H)
10	Desgaste Superficial	Polished aggregate
11	Bombeamento	Pumping
12	Quebras Localizadas (B/M/A)	Punchouts (L/M/H)
13	Passagem de Nível (B/M/A)	Railroad crossing (L/M/H)
14	Fissuras superficiais (rendilhado) e escamação	Scaling / crazing / map cracking
15	Fissura de Retração Plástica	Shrinkage cracks
16	Esborcinamento ou Quebra de Canto (B/M/A)	Corner spalling (L/M/H)
17	Esborcinamento de Juntas (B/M/A)	Joint spalling (L/M/H)
18	Placa Bailarina (B/M/A)	-
19	Assentamento (B/M/A)	-
20	Buracos	-
-	-	Durability cracking (Fissuras tipo "D") (L/M/H)
-	-	Popouts (arrancamento do material)

Tabela 2.9 Defeitos de pavimentos rígidos nas metodologias USACE e DNIT

Um exemplo de ficha para levantamento do ICP:

Ficha de Inspeção de Pavimento Rígido						Pavimento: Presidente Afonso Camarg		Extensão: 14000m			
Cálculo do Índice de Condição do Pavimento (ICP)						Comprimento:		Data: 02/12/2010			
Tipos de Defeito											
1	Alçamento de Placas		7	Fissuras Lineares		13	Passagem de Nível				
2	Fissura de Canto		8	Grandes Reparos		14	Rendilhado e Escamação				
3	Placa Dividida		9	Pequenos Reparos		15	Fissuras de Retração Plástica				
4	Degrau de Junta		10	Desgaste Superficial		16	Quebra de Canto				
5	Defeito na Selagem das Juntas		11	Bombeamento		17	Esbordinamento de Juntas				
6	Desnível Pavimento Acostamento		12	Quebras Localizadas		18	Placa Bailarina				
ID. PLACA	A	B	C	D	E	F	Tipos de Defeitos	Grau de Severidade	Nº Placas Afetadas	% Placas Afetadas	Valor Deduzível
1	5 B 17 B	5 B 17 B					5	M	10	50,0%	4,0
							9	B	4	20,0%	1,0
							17	B	2	10,0%	2,0
2	5 M 9 B	5 M 9 B									
3	5 M	5 M									
4	5 M	5 M									
5	-	-									
6	-	-									
7	-	-									
8	5 B 9 B	5 B 9 B									
9	-	-									
10	-	-					Intervalo de Placas: 1A - 10B				
							Subtrecho:				
							Valor Deduzível Total: 7,0				
							Valor Deduzível Corrigido: 7,0				
							ICP	93,0	Conceito	Excelente	

Tabela 2.10 Modelo de ficha de inspeção de campo (fonte: IBRACON, 2011).

2.3.1.1. Avaliação Subjetiva do Índice de Condição do Pavimento (ICP)

A avaliação subjetiva de pavimentos rígidos consiste na atribuição de notas ou conceitos aos trechos inspecionados, de forma a indicar o grau de conforto e suavidade de rolamento proporcionado pelo pavimento rígido, levando em consideração os dados de projeto, de construção, de operação, de reparação e de reforço (DER, 2006).

De acordo com a norma do DNIT 063/2004 – PRO a “avaliação subjetiva consiste em avaliar se as condições do pavimento, especialmente a que se refere ao conforto ao rolamento de tráfego, por meio de observações realizadas por avaliadores que trafegam sobre este pavimento e que atribuem notas ao mesmo”.

A avaliação do pavimento deve ser realizada por uma equipe composta por três avaliadores em veículos separados, duas vezes para cada trecho. A primeira volta deve ser realizada com velocidade reduzida, observando-se os detalhes no pavimento (possíveis patologias, hidroplanagem e outros). A segunda volta deve ser realizada com velocidade de tráfego, obtendo dessa forma as condições de conforto, escoamento de tráfego e segurança.

Os três avaliadores deverão expressar sua opinião quanto ao conforto, a suavidade e a segurança oferecidas em cada trecho do pavimento empregando a escala padrão do ICP desenvolvida pelo USACE (1982) e oficializada no Brasil por meio da publicação “Pavimento Rígido - Avaliação Subjetiva - Procedimento” (DNIT 063/2004 – PRO). Esta escala varia de 0 a 100; onde 0 indica que o pavimento encontra-se completamente destruído, não atendendo a finalidade para o qual foi projetado, ou seja, proporcionando um rolamento completamente desconfortável e inseguro aos usuários da via; e 100 corresponde a conservação excelente da superfície do pavimento em serviço (FELIX, 2008).

2.3.1.2. Determinação dos trechos a serem inspecionados

A definição dos trechos da rodovia a serem inspecionados deve basear-se em dados sucintos de campo, nas informações de escritório ou do cadastro documental e em indícios que mostrem a necessidade da inspeção em determinados trechos, cabendo esta definição ao engenheiro responsável pela inspeção (DNIT, 2010).

Uma seção pode ser definida como a área total de um pavimento a ser inspecionado, avaliado e analisado, desde que esta, tenha a mesma composição estrutural (espessura e material), tenha sido construído na mesma época e apresente condições de tráfego similares em toda sua extensão (USACE, 1982).

Existem dois tipos de inspeções possíveis: a inspeção feita em toda a extensão do pavimento, ou em alguns trechos selecionados deste pavimento (inspeção por amostragem).

A inspeção feita em toda a extensão do pavimento é muito dispendiosa em termos de pessoal e de tempo, portanto sendo recomendada para rodovias de pequena extensão ou em pavimentos destinados a fins específicos, tais como postos de pedágio, de pesagem ou de arrecadação. Deve-se atentar que, para a realização de obras de recuperação, uma inspeção em toda a extensão do pavimento deve ser realizada. A maior facilidade de realizar este levantamento contínuo com o equipamento *Pavement Scanner* é uma de suas maiores vantagens com relação ao método tradicional.

A seção escolhida para a inspeção deve ser dividida em partes menores denominadas amostras; cada amostra será identificada por caracteres numéricos. Segundo o método desenvolvido pelo USACE (1982), a quantidade de placas que compõem uma amostra pode variar de 12 a 28, sendo recomendado como ideal 20 placas de comprimento máximo igual a 9 metros. No caso de placas com comprimento superior a 9 metros, será considerada uma junta imaginária em perfeitas condições, de modo que cada placa não ultrapasse o valor máximo estabelecido para o comprimento (FELIX, 2008).

A norma brasileira: “Pavimento rígido – Inspeção visual – Procedimento” (DNIT 060/2004-PRO), recomenda que as amostras relacionadas a seção de um pavimento devem ser compostas por 20 placas, de comprimento máximo igual a 9 metros.

2.3.1.3. Número mínimo de amostras

Independentemente do método: em toda a extensão do pavimento ou em trechos selecionados, deve-se realizar uma divisão de uma seção em amostras.

De acordo com o método desenvolvido pelo USACE (1982) a inspeção por amostragem de uma seção deve garantir 95% de confiabilidade. A obtenção de uma confiabilidade mínima depende de um número mínimo de amostras a serem inspecionadas.

Shahin e Khon (1979a; 1979b) determinam que o número ‘n’ de amostras de forma analítica ou gráfica. Este é função do número total de amostras (N), do erro admissível ($\pm e$) e do desvio padrão da média dos resultados individuais do índice de condição do pavimento (σ). Encontra-se o número mínimo de amostras (n) analiticamente, através da equação seguinte:

$$n = \frac{N * \sigma^2}{\frac{e^2}{4} * (N - 1) + \sigma^2}$$

Equação 2.4 Cálculo do número de amostras mínimo (fonte: DNIT, 2004).

Segundo a norma DNIT 060/2004 – PRO, essa equação garante 95% de confiança de que o erro na avaliação, baseado nos dados coletados na inspeção, estará dentro da faixa admissível ($\pm e$).

O desvio padrão σ pode ser calculado através de:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^R (ICP_i - \overline{ICP})^2}{R - 1}}$$

Equação 2.5 Cálculo do desvio padrão dos resultados (fonte: DNIT, 2004).

Onde:

R é o número de amostras unitárias da seção do pavimento;

ICP_i é o ICP da amostra unitária i;

ICP é a média do ICP de todas as amostras unitárias.

$$\overline{ICP} = \frac{\sum_{i=1}^R ICP_i}{R}$$

Equação 2.6 Cálculo do número de amostras mínimo (fonte: DNIT, 2004).

Para obtenção do número mínimo de amostras “n” graficamente os seguintes passos devem ser realizados:

- determinação do número total de amostras “N”,
- adoção de um valor de desvio padrão “ σ ” (recomenda-se entre 8 e 14, com o valor 10 considerado como boa estimativa),
- entrar com o valor do número total de amostras (N) no eixo das abscissas (x),
- seguir verticalmente até a curva do valor do desvio padrão (σ) adotado,
- obter horizontalmente no eixo das ordenadas (y) o valor do número mínimo de amostras a serem inspecionadas (n).

Figura 2.8 Determinação gráfica do número mínimo de amostras a serem inspecionadas (fonte: DNIT, 2004).

De acordo com o recomendado pela norma brasileira, o número mínimo de amostras (n) a serem inspecionadas em um trecho nunca deverá ser menor do que cinco, ocorrendo isto, todo o trecho deve ser inspecionado.

É aconselhável, também, que seja efetuado o cálculo do desvio padrão (S) para as primeiras amostras inspecionadas, com o objetivo de verificar se o valor inicialmente adotado foi adequado (DNIT, 2010).

Deve-se atentar que com a possibilidade de se obter o levantamento contínuo atualmente através de imageamento ou mesmo pelo *Pavement Scanner* a avaliação de trechos acaba sendo realizada em maiores extensões do que as previstas de acordo com este critério.

2.3.1.4. Seleção das amostras

O método do USACE (1982) propõe que a primeira amostra deva ser escolhida aleatoriamente, sendo que as demais serão espaçadas igualmente entre si a partir

desta escolhida. Este método é chamado de ‘amostragem sistemática’. Cada amostra deve ser identificada por caracteres numéricos e composta, de preferência, por 20 placas (número mínimo de placas para uma amostra), o que facilita os cálculos para a determinação do ICP.

O ‘intervalo de amostragem’ (i) é função do número total de amostras avaliadas (N) e do número mínimo de amostras a serem inspecionadas (n). Quando o intervalo de amostragem (i) resultar em um número fracionário, o mesmo deverá ser igual ao menor número inteiro mais próximo (exemplo, se o cálculo de i resultar em um número igual a 5,8; este valor deverá ser arredondado para 5).

$$i = \frac{N}{n}$$

Equação 2.7 Cálculo do intervalo entre amostras (fonte: DNIT, 2004).

A escolha da primeira amostra (início) deve ser feita aleatoriamente, entre 1 e o intervalo de amostragem “i”. Considerando i = 5, o início “s” será um número entre 1 e 5. A identificação das amostras a serem inspecionadas são identificadas como s, s + i; s + 2i; s + 3i; s + (n+1)i. Esta técnica é simples de ser aplicada e fornece as informações necessárias para se estabelecer um perfil ao longo da seção do pavimento.

Segue abaixo um exemplo da aplicação da técnica considerando:

- número total de amostras “N” = 25,
- número mínimo de amostras “n” = 7,
- intervalo de amostragem “i” = 3,
- início “s” = 2.

Figura 2.9 Ilustração da metodologia sistemática.

Observa-se no exemplo acima a obtenção de um número amostras inspecionadas superior do que o número mínimo de amostras “n” recomendado, o que ocorre devido ao arredondamento para baixo da divisão entre os valores de amostras.

Deve-se atentar ao aparecimento de defeitos atípicos nas amostras, que devem ser consideradas como amostras adicionais saindo do cálculo do ICP, sendo substituídas por um peso médio, além da necessária inclusão do mesmo número de amostras com uma distribuição semelhante de defeitos em sua constituição. Este efeito deve ser considerado tanto para o aparecimento de amostras com elevado ou baixo número de patologias. O objetivo deste método é a obtenção de um valor médio representativo para a seção, removendo a influência de amostras que possam descaracterizar o segmento, embora seja difícil de ser utilizado na prática.

2.3.1.5. Avaliação Objetiva do Índice de Condição do Pavimento (ICP)

A avaliação objetiva tem a finalidade de determinar a condição estrutural dos pavimentos de concreto, baseada na avaliação criteriosa das patologias que causam a deterioração destes pavimentos ao longo do tempo.

A Instrução de Projeto do DER IP-DE-P00/003 define: “A inspeção visual de pavimentos rígidos consiste no preenchimento de ficha de inspeção contendo os diferentes tipos de defeitos de pavimentos rígidos para a posterior determinação do Índice de Condição do Pavimento (ICP)”.

De acordo com a norma do DNIT 062/2004 – PRO a avaliação objetiva “consiste em uma avaliação da condição estrutural do pavimento baseada na determinação do índice de condição do pavimento”.

O procedimento da avaliação objetiva, baseado na inspeção visual das patologias está dividido em quatro etapas. A primeira delas está relacionada à definição das seções a serem inspecionadas, em seguida, será feita a determinação do tipo de inspeção a ser efetuada em campo. Concluídas as etapas anteriores, será

executado o levantamento das patologias visíveis a olho nu, baseado no tipo, na quantidade e no grau de severidade do defeito (FELIX, 2008).

A partir das informações obtidas com os levantamentos de campo, calcula-se enfim o Índice de Condição do Pavimento (ICP) que, conforme já mencionado, é uma medida das condições estruturais e funcionais do pavimento em questão, que serve como subsídio para serem estabelecidas políticas de manutenção, recuperação e prevenção.

2.3.1.6. Critérios e Classificação de Defeitos de acordo com DNIT 062/2004-PRO

Os levantamentos de campo são realizados com o propósito de determinar a quantidade dos defeitos existentes nas placas de concreto, assim como seu grau de severidade obedecendo ao procedimento contido na Norma Rodoviária DNIT 062/2004 - PRO, "Pavimento Rígido - Avaliação Objetiva - Procedimento".

Os critérios para classificação e contagem, assim como os graus de severidade são descritos a seguir.

1) Alçamento de placa ("*Blow-up*")

Numa fissura, o alçamento é registrado como ocorrendo em uma única placa. Quando este se localiza em uma junta atingindo duas placas, ambas deverão ser contadas. Com relação ao grau de severidade têm-se:

- Baixo (B): o defeito causa um baixo desconforto de rolamento;
- Médio (M): o defeito causa um médio desconforto de rolamento sem causar prejuízo ao tráfego;
- Alto (A): o defeito compromete a segurança de rolamento e provoca interrupções no escoamento do tráfego, devendo ser imediatamente reparado.

2) Fissuras de Canto

Uma placa é defeituosa quando esta possui uma única fissura de canto, mais de uma fissura de canto com o mesmo grau de severidade, duas ou mais fissuras de canto com diferentes graus de severidade (nesse caso apenas o grau de severidade mais elevado é registrado). A severidade é dada da seguinte forma:

- Baixo (B): a área compreendida entre a fissura de canto e as juntas não está fissurada;
- Médio (M): a área compreendida entre a fissura de canto e as juntas apresenta no máximo duas fissuras;
- Alto (A): a área compreendida entre a fissura de canto e as juntas apresenta mais de duas fissuras.

3) Placa Dividida

Severidade da maioria das fissuras	Número de pedaços em que a placa está dividida		
	4 a 5	6 a 8	Mais de 8
B	B	B	M
M	M	M	A
A	M	A	A

Tabela 2.11 Classificação do defeito Placa Dividida

Se a placa tiver um grau de severidade médio ou alto, nenhum outro defeito deverá ser registrado.

4) Escalonamento ou Degrau nas Juntas

Só uma placa é contada quando o defeito ocorrer em uma junta. Observa-se que o desnível em uma fissura não é tido como defeito isolado, mas é levado em conta para se definir o grau de severidade dessa fissura.

Já o grau de severidade é definido pelo valor do desnível na junta.

Grau de Severidade	Desnível (mm)
B	3 a 10
M	> 10 a 20
A	20

Tabela 2.12 Classificação do defeito Escalonamento

5) Defeito na Selagem das Juntas

A contagem é baseada na relação entre as condições gerais do selante e a área global considerada. O grau de severidade é dado da seguinte forma:

- Baixo (B): selante apresenta bom estado e desempenho por todo o trecho, com um mínimo de defeitos em áreas localizadas.
- Médio (M): selante apresenta condições razoáveis em todo o trecho, com um ou mais tipos de defeitos ocorrendo em grau moderado.
- Alto (A): selante em más condições, apresentando um ou mais tipos de defeitos em graus elevados, necessitando de substituição imediata.

6) Desnível Pavimento-Acostamento

O desnível é caracterizado pela média entre o menor e o maior valor observado numa mesma placa; sendo que em cada placa é registrada separadamente com o respectivo grau de severidade, cujo critério é apresentado a seguir:

Grau de Severidade	Desnível (mm)
B	25 a 50
M	> 50 a 100
A	> 100

Tabela 2.13 Classificação do defeito Desnível Pavimento/Acostamento

Destaca-se que graus de severidade M ou A recomenda-se reparo imediato, para evitar o comprometimento da segurança de rolamento.

7) Fissuras Lineares

São classificadas nos seguintes graus de severidade:

- Baixo (B): fissuras sem tratamento (selagem), com menos de 12 mm de largura, ou fissuras com qualquer abertura, com tratamento em boas condições. Não existem degraus.
- Médio (M): quando ocorre uma das condições seguintes:
 - Fissuras sem tratamento, com abertura entre 12 e 50 mm medida na parte superior da placa de concreto;

- Fissuras sem tratamento, com abertura de até 50 mm e degraus com menos de 10 mm medida na parte superior da placa de concreto;
- Fissuras com tratamento, com qualquer abertura e com degrau menor que 10mm, medida na parte superior da placa de concreto.
- Alto (A): quando se observa uma das condições:
 - Fissuras não tratadas com abertura superior a 50 mm, medida na parte superior da placa de concreto;
 - Fissuras que apresentam degraus com mais de 10 mm, tratadas ou não.
 - Fissuras capilares, curtas e que não atingem toda a espessura da placa são tidas como “fissuras de retração plástica”, já as fissuras com médio e alto grau de severidade são normalmente consideradas como defeitos estruturais.

8) Grandes Reparos (> 0,45 m²)

Uma placa contendo mais de um reparo é considerado apenas o de maior grau de severidade. Se os graus de severidade dos reparos forem iguais, considera-se apenas um reparo. Já o grau de severidade é dado conforme descrito a seguir:

Graus de Severidade:

- Baixo (B): reparo apresenta bom desempenho, com pouca ou nenhuma deterioração;
- Médio (M): reparo parcialmente deteriorado ou com esborcinamento das bordas; o material de reparo pode ser removido com algum esforço;
- Alto (A): reparo deteriorado; necessidade de substituição imediata.

É importante observar que se a causa do reparo for mais grave, apenas o defeito original é anotado.

9) Pequenos Reparos (< 0,45 m²)

Graus de severidade:

- Baixo (B): reparo com bom desempenho, com pouca ou nenhuma deterioração;

- Médio (M): reparo parcialmente deteriorado podendo, com esforço, ser removido;
- Alto (A): reparo deteriorado, necessitando de imediata substituição.

Numa placa que contém mais de um reparo, será anotado apenas o de maior grau de severidade. Se os graus de severidade forem iguais, considera-se apenas um reparo. Além disto, se a causa do reparo for mais grave, apenas o defeito original é registrado.

10) Desgaste Superficial

Não há uma definição de graus de severidade. Entretanto, o defeito deverá ser anotado fazendo-se o apontamento de cada placa que apresente o desgaste superficial.

11) Bombeamento

Se o bombeamento ocorrer numa junta entre duas placas, ambas serão catalogadas. Caso as demais juntas de uma dessas placas apresentem bombeamento, as placas contínuas a essas juntas deverão também ser anotadas. Não há definição de graus de severidade sendo suficiente apenas que se indique a sua ocorrência.

12) Quebras Localizadas (“Punchout”)

Severidade da maioria das fissuras	Número de pedaços em que a placa está dividida		
	2 a 3	4 a 5	Mais de 5
B	B	B	M
M	B	M	A
A	M	A	A

Tabela 2.14 Classificação do defeito Quebras Localizadas

Se uma placa tiver mais de uma dessas áreas, será contada como apresentando apenas a de maior grau de severidade.

13) Passagem de Nível (enumeram-se as placas atravessadas pelos trilhos)

- Baixo (B): a passagem de nível causa um baixo desconforto de rolamento;
- Médio (M): a passagem de nível causa um razoável desconforto de rolamento, sem, contudo comprometer a segurança do tráfego;
- Alto (A): a passagem de nível provoca desconforto de rolamento e compromete a segurança e o escoamento do tráfego.

14) Fissuras Superficiais (rendilhado) e Escamação

Cada placa com escamação é anotada. Esse defeito com grau baixo de severidade só é registrado se a escamação for iminente, como descrito a seguir:

- Baixo (B): existem fissuras superficiais em grande parte da placa; sua superfície está em boas condições, com um mínimo de escamação;
- Médio (M): existe escamação em menos de 15% da área da placa;
- Alto (A): há escamação em mais de 15% da área da placa.

15) Fissuras de Retração Plástica

Não há graus de severidade definidos; sendo necessário somente relatar sua ocorrência que se dá em função de cura.

16) Esborcinamento ou Quebra de Canto

Profundidade da quebra (mm)	Dimensões dos lados da quebra (cm)	
	13 x 13 a 30 x 30	Mais que 30 x 30
< 25	B	B
> 25 a 50	B	M
> 50	M	A

Tabela 2.15 Classificação do defeito Quebra de canto

Caso ocorra uma ou mais quebras de canto com o mesmo grau de severidade numa mesma placa, registra-se esta placa como “uma placa com quebra de canto”. Caso se verifiquem diferentes níveis de severidade, considera-se apenas o mais elevado.

Observa-se que quebras cujos lados tenham menos do que 13 cm ou que possuam área inferior a 65 cm² são desprezadas.

17) Esborcinamento de Juntas

Caso ocorra borda de uma parte, torna-se “uma placa com esborcinamento de junta”. Já se o esborcinamento ocorrer em mais de uma junta de uma mesma placa, o grau de severidade mais elevado é anotado e registra-se como uma única placa afetada. Caso o esborcinamento ocorra entre duas placas, cada uma delas deverá ser apontada como tendo junta esborcinada.

Partes Esborcinadas	Largura do Esborcinamento (mm)	Comprimento do Esborcinamento	
		< 0,6 m	> 0,6 m
Firmes – não podem ser removidas facilmente (podem ter alguns pedaços faltando)	< 100	B	B
	> 100	B	B
Soltas – podem ser removidas e faltam alguns pedaços; a maior parte ou todos os pedaços estão faltando e o esborcinamento é raso (< 25 mm).	< 100	B	M
	> 100	B	M
Ausentes – grande parte ou todos os pedaços foram removidos.	< 100	B	M
	> 100	M	A

Tabela 2.16 Classificação do defeito Esborcinamento de Juntas

18) Placa Bailarina

Realiza-se a contagem de cada placa que apresenta deslocamentos verticais.

Grau de Severidade	Maior descolamento vertical observado (mm)
B	3 a 10
M	> 10 a 20
A	> 20

Tabela 2.17 Classificação do defeito Placa bailarina

19) Assentamento

Defeito de avaliação extremamente subjetiva e que, geralmente, induz ao aparecimento de outros defeitos na área afetada. Para o cálculo do ICP serão considerados apenas aqueles outros ocorridos na área sujeita ao assentamento.

- Baixo (B): assentamento suave, não reduz as condições de conforto e de segurança de rolamento;
- Médio (M): assentamento visível, que embora proporcione boas condições de rolamento compromete a segurança do tráfego; havendo necessidade de sinais de advertência;
- Alto (A): assentamento abrupto, não oferece boas condições de tráfego nem de segurança; há necessidade de recuperação imediata do trecho.

20) Buracos

Como o Grau de Severidade e Contagem estão diretamente relacionados à progressão de outros defeitos, deverá ser avaliado e contado conforme o defeito que lhe deu origem.

A norma apresenta também as curvas de dedução para cada tipo de defeito apresentado para obtenção do valor deduzível em função da densidade observada. Deve-se atentar que a norma não tem curvas de dedução para os defeitos de Assentamento e Buracos (origem do método no PCI da USACE que não apresentava o defeito).

Todas as curvas foram a seguir obtidas da norma DNIT 062/2004-PRO:

1) Alçamento de placa (“*Blow-up*”)

Figura 2.10 Valor Deduzível x Densidade: Alçamento de Placas

2) Fissuras de Canto

Figura 2.11 Valor Deduzível x Densidade: Fissuras de canto

3) Placa Dividida

Figura 2.12 Valor Deduzível x Densidade: Placa dividida

4) Escalonamento ou Degrau nas Juntas

Figura 2.13 Valor Deduzível x Densidade: Alçamento de Placas

5) Defeito na Selagem das Juntas

Grau de severidade	Valores deduzíveis
Baixo	2 pontos
Médio	4 pontos
Alto	8 pontos

Tabela 2.18 Valor Deduzível x Densidade: Selagem de juntas

6) Desnível Pavimento-Acostamento

Figura 2.14 Valor Deduzível x Densidade: Desnível Pavimento / Acostamento

7) Fissuras Lineares

Figura 2.15 Valor Deduzível x Densidade: Fissuras Lineares

8) Grandes Reparos ($> 0,45 \text{ m}^2$)

Figura 2.16 Valor Deduzível x Densidade: Grandes reparos

9) Pequenos Reparos ($< 0,45 \text{ m}^2$)

Figura 2.17 Valor Deduzível x Densidade: Pequenos reparos

10) Desgaste Superficial

Figura 2.18 Valor Deduzível x Densidade: Desgaste

11) Bombeamento

Figura 2.19 Valor Deduzível x Densidade: Bombeamento

12) Quebras Localizadas (“Punchout”)

Figura 2.20 Valor Deduzível x Densidade: Punchout

13) Passagem de Nível (enumeram-se as placas atravessadas pelos trilhos)

Figura 2.21 Valor Deduzível x Densidade: Passagem de nível

14) Fissuras Superficiais (rendilhado) e Escamação

Figura 2.22 Valor Deduzível x Densidade: Fissuras superficiais

15) Fissuras de Retração Plástica

Figura 2.23 Valor Deduzível x Densidade: Retração plástica

16) Esborcinamento ou Quebra de Canto

Figura 2.24 Valor Deduzível x Densidade: Quebra de canto

17) Esborcinamento de Juntas

Figura 2.25 Valor Deduzível x Densidade: Esborcinamento de juntas

18) Placa Bailarina

Figura 2.26 Valor Deduzível x Densidade: Placa bailarina

2.3.2. Fluxograma e Resumo do cálculo do ICP

Encontra-se a seguir fluxograma esboçando passo a passo a metodologia para obtenção do ICP em pavimentos rígidos compostos por placas de concreto de cimento Portland:

Figura 2.27 Fluxograma para obtenção do ICP (DNIT 060/2004 – PRO e DNIT 062/2004 – PRO).

Figura 2.28 Passo a passo para obtenção do ICP (SUZUKI, 2014).

Figura 2.29 Exemplo de Valor Deduzível x Densidade (SUZUKI, 2014).

Figura 2.30 Exemplo do ajuste do valor deduzível total (SUZUKI, 2014).

2.3.3. Comparação entre PCI (USACE) e ICP

Deve-se atentar que, embora a norma brasileira cite como fonte de referência Shahin e Kohn (1979a), pode-se perceber que as curvas de dedução são diferentes em relação às originais, muitas vezes fornecendo valores inferiores de dedução para os mesmos tipos de defeitos (BALBO J.T e BECKER V.E.G, 2012).

Em estudo comparativo realizado por BALBO e BECKER (2012), chegou-se à conclusão de que as maiores disparidades se encontram nos seguintes defeitos:

- Alçamento de placas;
- Fissura de canto;
- Placa dividida;
- Degrau de junta;
- Quebras localizadas;
- Esborcinamento de juntas.

A diferença entre o valor obtido entre um método e outro pode chegar a mais de vinte pontos, fornecendo para a classificação ICP sempre uma condição melhor que a observado pelo método USACE original.

Reitera-se que na norma brasileira não há nenhuma menção a uma adequação às condições brasileiras, não é mencionado que foi realizado algum tipo processo em rodovias brasileiras para calibração e ajuste às condições nacionais.

Figura 2.31 Valores de dedução para alçamento de placas (fonte: BALBO J.T e BECKER V.E.G, 2012).

Figura 2.32 Valores de dedução para fissura de canto (fonte: BALBO J.T e BECKER V.E.G, 2012).

Figura 2.33 Valores de dedução para placa dividida (fonte BALBO J.T e BECKER V.E.G, 2012).

Figura 2.34 Valores de dedução para degrau de junta (fonte: BALBO J.T e BECKER V.E.G, 2012).

Figura 2.35 Valores de dedução para quebras localizadas (fonte: BALBO J.T e BECKER V.E.G, 2012).

Figura 2.36 Valores de dedução para esborcinamento de juntas (fonte: BALBO J.T e BECKER V.E.G, 2012).

2.4. Textura da Superfície (Macrotextura e Microtextura)

Um fator importante para o sistema rodoviário brasileiro é a segurança que o sistema nos fornece, e grande parte desta advém do fator de atrito que a via possui.

A textura do pavimento, que faz parte da aderência do mesmo, é um fator que podemos interferir, por isso temos um maior foco para seu controle.

A textura da superfície de um pavimento pode ser medida de diversas maneiras, incluindo deslizamento de pneus devido ao contato, técnicas volumétricas e técnicas de taxas de drenagem de água, obtendo medidas de micro, macro ou megatextura (NCHRP, 2009).

Medições de textura que requerem o fechamento da via são os métodos da mancha de areia – *Sand Patch Method* SPM (ASTM E 965), o drenômetro - outflow meter OFM (ASTM E 2380) e a textura circular – *circular texture meter* CTM (ASTM E 2157).

Métodos que caracterizam a textura do pavimento em altas velocidades são normalmente baseados em métodos que geram perfis da superfície do pavimento sem nenhum contato e, geralmente, calculam o MPD (*Mean Profile Depth*) e uma estimativa do MTD (*Mean Texture Depth*), o *Estimated Mean Texture Depth* (EMTD), que é uma estimativa do MTD derivada do MPD utilizando uma equação de transformação, que é o caso do *Pavement Scanner*.

Um método padrão para cálculo da profundidade do perfil da textura da superfície do pavimento foi estabelecida na norma ASTM E 1845-15. O MPD é a média da profundidade de um perfil (a diferença entre o perfil e uma linha horizontal passando pelo maior pico em uma distância em que haja interação entre o pavimento e o pneu) por uma extensão de 100 mm lineares.

Em experimento realizado para avaliação do MPD obtido com um equipamento que mede os perfis através de escaneamento laser, seções foram obtidas a cada 6 mm e, utilizando a metodologia proposta na norma ASTM E 1845-15, antes de ser realizado o cálculo do MPD, foi aplicado um filtro inferior nos dados removendo comprimentos de onda inferiores a 2,5 mm e, também, para remoção da inclinação do perfil, foi subtraída uma regressão linear do perfil. O cálculo do MPD foi realizado a partir da divisão de uma seção de um perfil em duas partes e tomando a média

dos picos de cada uma destas duas partes. As figuras abaixo exemplificam o descrito acima (SENGOZ et al, 2012).

Figura 2.37 Perfil obtido no escaneamento a laser (fonte: SENGOZ et al, 2012).

Figura 2.38 Seção do perfil obtido no escaneamento a laser (fonte: SENGOZ et al, 2012).

Figura 2.39 Cálculo do MPD a partir da média de dois picos (fonte: SENGÖZ et al, 2012).

O método da mancha de areia é uma técnica volumétrica que mede a macrotextura da superfície de um pavimento através do espalhamento de um volume conhecido de material (areia ou esferas de vidro) circularmente em uma superfície limpa e realizando medições (4 medidas) do diâmetro do círculo resultante. O volume dividido pela área do círculo resulta no MTD, ou HS.

Algumas correlações obtidas entre o MPD obtido por métodos que utilizaram o escaneamento a laser e o HS (altura de areia) são apresentadas abaixo:

$$HS = 1,0812 \text{ MPD} - 0,0697$$

Equação 2.8 Equação para obtenção de HS por meio de MPD (fonte: SANGÖZ, 2012).

$$HS = 1,03 \text{ MPD} + 0,15$$

Equação 2.9 Equação para obtenção de HS por meio de MPD (fonte: ABE, 2002).

$$HS = 1,0094 \text{ MPD} - 0,0056$$

Equação 2.10 Equação para obtenção de HS por meio de MPD (fonte: NCAT, 2004).

$$HS = 0,8 \text{ MPD} + 0,2$$

Equação 2.11 Equação para obtenção de HS por meio de MPD (fonte: ASTM, 2015).

O método do drenômetro é uma técnica volumétrica em que a medida da taxa de drenagem de água pelo pavimento e vazios resulta na macrotextura deste, em que

o tempo necessário determina a superfície mais lisa ou rugosa, tendo um valor menor para o último caso. O processo indica o potencial de hidroplanagem relacionando o tempo para remoção da água abaixo de um pneu em movimento.

O método da textura circular é um método que avalia o perfil da superfície em um diâmetro circular de 286 mm em intervalos de 0,868 mm sem contato direto utilizando laser. O aparelho roda em uma velocidade de 6 m/min e gera perfis da superfície do pavimento, que são transmitidas e armazenadas em um computador. Duas medidas podem ser obtidas destes perfis: Mean Profile Depth (MPD) e Root Mean Square (RMS). O MPD é uma estimativa 2D do MTD que é 3D, e representa a média dos maiores picos do perfil, ocorrendo em 8 segmentos individuais em que foram realizadas medidas do perfil do diâmetro circular. O RMS é um valor estatístico que indica o quanto o perfil medido varia de um perfil modelo.

Como o método volumétrico da mancha de areia requer interrupção da via, é devagar e com baixa repetibilidade, esforços no sentido de avaliar a textura dos pavimentos de uma forma automatizada vêm sendo realizados, e observados na literatura internacional. Técnicas como a interferometria, laser scanner terrestre que adquire dados tridimensionais e métodos que determinam perfis 2D e 3D são algumas das formas que os levantamentos são realizados hoje em dia (SENGOZ et al, 2012).

De acordo com a ASTM E 965, “o desvio de uma superfície a partir de uma superfície plana verdadeira com dimensões características que afetam a dinâmica do veículo e a qualidade de rolamento”.

Segundo Bernucci et al (2008), “A classificação da textura Segundo a PIARC (*Permanent International Association of Roads Congress*) depende do comprimento da onda ou distância entre dois picos ou depressões na superfície”.

A seguir uma tabela com a classificação da textura do pavimento:

Classificação da textura	Faixa de comprimento de onda
Microtextura	$\lambda < 0,5 \text{ mm}$
Macrotextura	$0,5 \text{ mm} \leq \lambda < 50 \text{ mm}$
Megatextura	$50 \text{ mm} \leq \lambda < 500 \text{ mm}$
Irregularidade	$0,5 \text{ m} \leq \lambda < 50 \text{ m}$

Tabela 2.19 Classificação da textura do pavimento (fonte: BERNUCCI et al, 2008).

A irregularidade e a megatextura, os maiores comprimentos de onda, interferem na dinâmica veicular e no contato do veículo com o pavimento, afetando também a estabilidade direcional e a aderência em pistas molhadas.

A macrotextura e microtextura, os menores comprimentos de onda, têm influência fundamental na aderência pneu/pavimento da via. Sendo a microtextura referente à superfície e aspereza dos agregados e a macrotextura a rugosidade formada pelo conjunto agregados e mástique.

Figura 2.40 Diferença entre macrotextura e microtextura (fonte: BERNUCCI et al, 2008).

A textura da superfície do pavimento é caracterizada de acordo com o grau de aspereza do pavimento. Os dois níveis que mais afetam a aderência são a macro e a microtextura. A macrotextura depende da granulometria dos agregados, da configuração geométrica individual dos agregados e do processo de compactação. Esta pode ser classificada como aberta e fechada. A microtextura depende da textura superficial dos agregados e pode ser classificada como rugosa ou polida.

Uma microtextura adequada é função da resistência ao polimento dos agregados. Além da textura, a forma e o tamanho das partículas são características dos agregados relacionados à resistência a derrapagem. Os agregados graúdos

localizados na superfície são os principais responsáveis pela textura superficial do pavimento.

A avaliação da microtextura pode ser realizada pelo equipamento denominado “Pêndulo britânico” (ASTM E 303) obtendo desta forma o Valor de Resistência à Derrapagem (VRD), ou mesmo o *British Pendulum Number* (BPN), permitindo a classificação da microtextura de muito lisa até muito rugosa.

Órgãos nacionais recomendam um valor mínimo de microtextura que determine uma superfície medianamente rugosa (VRD igual a 47) porque esta tem grande importância no rompimento da película de água e no contato pneu/pavimento para baixas velocidades de deslocamento. Abaixo temos uma tabela com faixas de classificação limites de microtextura utilizadas pelo DNIT:

Resistência à Derrapagem (classificação de microtextura)	VRD	
	Mínimo	Máximo
Perigosa	< 25	
Muito Lisa	25	31
Lisa	32	39
Insuficientemente Rugosa	40	46
Medianamente Rugosa	47	54
Rugosa	55	75
Muito Rugosa	> 75	

Tabela 2.20 Valores limites de microtextura (fonte: ABPv, 1999).

A macrotextura está diretamente relacionada com o Tamanho Máximo Nominal (TMN) dos agregados, ou seja, quanto maior for o TMN dos agregados, maior será o valor de macrotextura, com subsequente melhora das características de resistência ao deslizamento.

Segundo Rodrigues Filho (2006), a hidroplanagem é muito influenciada pela macrotextura do pavimento. A espessura da lâmina d'água, necessária para a ocorrência de hidroplanagem, é maior para pavimentos com macrotextura aberta e menor em pavimentos com macrotextura fechada. Isso ocorre porque a macrotextura aberta forma canais entre os agregados, facilitando a drenagem da água que ficaria na área de contato entre o pneu e o pavimento. A possibilidade de

ocorrência de hidroplanagem pode ser diminuída se a pista possuir uma macrotextura suficientemente aberta. Um exemplo das diferentes formas que podem ser classificados os pavimentos em relação ao seu tipo de textura vem a seguir:

Microtextura	Macrotextura	Superfície	Tipo de Textura
Rugosa	Aberta		Rugosa e Aberta
	Fechada		Rugosa e Fechada
Polido ou Lisa	Aberta		Polido e Aberto
	Fechada		Polido e Fechado

Figura 2.41 Classificação da superfície em função do tipo de textura superficial (fonte: APS, 2006).

As diferentes texturas que podem ser encontradas nos pavimentos tem influência direta na qualidade do conforto de rolamento que é proporcionado ao tráfego de veículos, a tabela 2.21 engloba uma visão geral de alguns efeitos gerados através de uma combinação de microtextura, macrotextura e megatextura. Logo a seguir na figura 2.42 temos exemplos práticos de métodos de avaliação da textura de superfície do pavimento.

Efeitos no Veículo, Ocupantes ou Meio Ambiente	Características da Superfície	Influência
Atrito	Microtextura Macrotextura Megatextura	Muito Alta Alta Moderada
Resistência ao Rolamento Consumo de Combustível Poluição do Ar	Macrotextura Megatextura Irregularidade	Alta Muito Alta Alta
Desgaste do Pneu	Microtextura Macrotextura	Muito Alta Moderada
Ruído Externo	Macrotextura Megatextura	Muito Alta Muito Alta
Drenagem da Superfície	Macrotextura	Alta
Esguicho e Pulverização	Macrotextura	Alta
Reflexão (luz de farol)	Microtextura Macrotextura	Pouco Conhecida Alta
Ruído interior	Macrotextura Megatextura Irregularidade	Alta Muito Alta Alta

Tabela 2.21 Efeitos nos veículos devido às texturas superficiais (fonte: FILHO, 2006).

Figura 2.42 Métodos de avaliação da textura da superfície do pavimento, em ordem horária: μ -meter (ou griptester), mancha de areia, drenabilidade e pêndulo britânico (fonte: FILHO, 2006).

O método de avaliação utilizado no Brasil e aprovado pelo DNIT é o chamado mancha de areia que apesar de confiável requer interrupção da via, além de depender de situações meteorológicas favoráveis, já a utilização do equipamento *Pavement Scanner* proporciona maior agilidade no processo de avaliação, sem a necessidade de interdições e não dependendo de fatores climáticos para que o processo seja realizado, além de proporcionar resultados mais confiáveis quanto a mancha de areia.

O método de ensaio da Mancha de Areia consiste basicamente em espalhar um volume conhecido de material (areia limpa e seca ou microesferas de vidro) sobre a superfície do pavimento de modo a preencher os vazios da superfície. Salienta-se que os movimentos para espalhar a areia são circulares e contam com o auxílio de um disco.

De acordo com Bernucci et al (2008), “A areia deve ser uniforme, arredondada, passante na peneira N° 60 (0,25 mm) e retirada na peneira N° 80 (0,18 mm), com um volume de 25.000 mm³. A areia deve ser espalhada sobre a superfície do pavimento com auxílio de uma base de um pistão circular, que é movimentada em círculos, paralelamente à superfície do pavimento, de modo a distribuí-la de forma homogênea, perfazendo um círculo de areia. O espalhamento cessa quando aparecem algumas pontas dos agregados.

Com o aparecimento de algumas pontas dos agregados, mede-se então o diâmetro do círculo formado no pavimento em 4 direções com auxílio de uma trena ou régua, e calcula-se o diâmetro médio da mancha. Dessa forma, é possível obter a altura média da mancha de areia, que representa a medida de macrotextura do pavimento.

Figura 2.43 Sequência executiva da técnica da mancha de areia (fonte: RIBEIRO, 2012).

Figura 2.44 Ensaio da mancha de areia.

Figura 2.45 Ensaio da mancha de areia (fonte: FILHO, 2006).

A altura média da de mancha de areia pode ser calculada pela expressão:

$$HS = \frac{V \cdot 4}{D_m^2 \cdot \pi}$$

Equação 2.12 Cálculo da altura média de areia HS.

Onde:

HS = altura média de mancha de areia em mm,

V = volume constante de areia em 25.000 mm³,

D_m = diâmetro médio do círculo de areia em mm

Segue abaixo a classificação nacional (Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos - DNIT, 2006) para os valores de HS (mm) obtidos pelo ensaio de mancha de areia:

Classificação	Limites de HS
Muito Fina	< 0,20
Fina	0,21 – 0,40
Média	0,41 – 0,80
Grossa	0,81 – 1,20
Muito Grossa	> 1,20

Tabela 2.22 Classes de macrotextura pelo método da mancha de areia (fonte: DNIT, 2006).

A faixa recomendada pelo Manual do DNIT (2006) para os valores da altura média da mancha de areia é 0,6 mm < HS < 1,2 mm, ou seja, as superfícies devem apresentar textura média a grossa. Abaixo de 0,6 mm, a macrotextura passa a ter uma tendência a ser fechada e aumenta o risco de hidroplanagem. Acima de 1,2 mm, a textura é muito aberta, causando desgaste excessivo nos pneus, maior consumo de combustível e tendência ao maior ruído ao rolamento.

Enquanto a microtextura tem maior influência na aderência para velocidades inferiores a 40 km/h, a macrotextura é uma das características mais importantes e que afetam a aderência, principalmente para velocidades de deslocamento acima de 50 km/h.

Segue abaixo exemplos de macha de areia obtidos no levantamento realizado em campo:

Figura 2.46 Exemplo de manchas de areia com macrotexturas distintas (fonte: acervo pessoal).

Defeitos que influenciam diretamente na textura da superfície dos pavimentos tem impacto direto tanto na macrotextura e microtextura. A ocorrência de exsudação leva a formação de uma superfície mais lisa, diminuindo seu atrito, e com isso a segurança da via pode ficar comprometida. Outro caso é o polimento de agregados que diminui a microtextura e com ela vem uma menor capacidade de ruptura da lâmina d'água. Um defeito que acaba auxiliando na melhoria da macrotextura é o desgaste, que acaba proporcionando uma maior exposição dos agregados possibilitando maior vazão superficial.

2.5. Equipamento para Avaliação Funcional

Os levantamentos das condições do pavimento desempenham um papel vital no sistema de gestão de uma rede rodoviária, fornecendo informações importantes sobre o desempenho do pavimento, de maneira a prever e antecipar necessidades de manutenção e reabilitação. Portanto, é essencial para que os dados sejam coletados de maneira precisa, eficiente e segura (FIALHO, 2015).

Tradicionalmente, os levantamentos de campo são realizados manualmente através do aferimento das características dos pavimentos por técnicos habilitados em velocidades muito inferiores à de tráfego, promovendo um grande consumo de tempo, perigo e subjetividade na avaliação. A busca de métodos que automatizem o

processo de coleta de dados vem sendo feita intensamente na engenharia rodoviária nacional e internacional.

Um levantamento automatizado consiste na coleta de dados frequentemente em velocidades de tráfego por veículos adaptados com sistemas de coleta, armazenamento e segurança. Informações como trincamento, textura superficial, irregularidade longitudinal e defeitos superficiais são obtidas desta forma hoje em dia.

Bennett (1998) cita uma grande variedade de tipos de equipamentos para realização de levantamentos automatizados produzidos em diversos países, com diferentes tecnologias, com variabilidade de custos e de características. O problema que aparece geralmente é a identificação correta dos defeitos no subsequente processamento dos dados coletados.

Merece destaque o desenvolvimento relativamente recente do scanner de pavimentos, que é capaz de medir perfis longitudinais e o perfil transversal em um grande número de pontos de uma faixa de rolamento através de um laser de varredura rápida, que possibilita ainda a reprodução da superfície em 3 dimensões (BARELLA, 2008).

Alguns equipamentos utilizados para levantamentos automatizados da avaliação funcional são:

- ARAN (*Automatic Road Analyser*);
- ROMDAS – TPL (*Road Measurement Data Acquisition System - Transverse Profile Logger*);
- Perfilômetro laser;
- *Pavement Scanner*.

2.5.1. ARAN (Automatic Road Analyser)

Em sua versão inicial possuía um perfilômetro traseiro com dois sensores laser de varredura, um conjunto de sensores de GPS e de sensores inerciais. Conseguia realizar a determinação do perfil transversal de elevada resolução por varredura (e não pontuais como os sensores de avaliação de perfil longitudinal) e determinar o traçado da rodovia em planta e perfil, bem como a declividade longitudinal e transversal da pista. Atualmente também tem a uma versão que utiliza o sistema LCMS obtendo um maior nível de detalhamento para estes indicadores.

2.5.2. ROMDAS – TPL (Road Measurement Data Acquisition System - Transverse Profile Logger

É um equipamento que tem cinco sensores ultrassônicos instalados em um veículo com espaçamento de 100 mm. Consegue registrar o perfil transversal dos pavimentos (TPL). É um componente do sistema ROMDAS que mede também a irregularidade e a condição visual em vídeo. A seção principal do TPL contém 20 (vinte) sensores.

2.5.3. Perfilômetro Laser

O perfilômetro laser permite medir os desvios altimétricos da superfície do pavimento em relação a um perfil ideal. Com base nesse perfil longitudinal podem-se calcular os diversos indicadores da regularidade superficial do pavimento, por exemplo, o índice de irregularidade longitudinal (IRI) criado pelo Banco Mundial.

O equipamento pode fornecer inclinações horizontais e verticais da rodovia, raios de curvatura, afundamentos nas trilhas de roda externa e interna, o Quociente de Irregularidade (QI) e o índice de irregularidade longitudinal (IRI).

2.5.4. *Pavement Scanner*

2.5.4.1. Introdução

O *Pavement Scanner* é um equipamento fixado sobre um veículo, onde a partir da radiação a laser emitida por dispositivos, verifica-se o perfil transversal da camada de revestimento do pavimento e avalia os defeitos da superfície.

Figura 2.47 Veículo do *Pavement Scanner* em funcionamento (fonte: acervo pessoal).

Nos últimos 10 anos desenvolveu-se a tecnologia 3D do *Pavement Scanner*. O sistema foi aplicado em uma série de rodovias americanas e canadenses para se avaliar o desempenho na tarefa de detecção automatizada e classificação de defeitos dos pavimentos.

Em experiência realizada para validação do *Pavement Scanner*, mais de 9000 km de rodovias foram inspecionados através da metodologia tradicional com visitas ao

campo e foram comparados os dados obtidos com o levantamento automatizado através do *Pavement Scanner*. O resultado foi muito satisfatório, pois em mais de 95 % dos casos, a classificação dos defeitos foi semelhante (SAVARD et al, 2013).

2.5.4.2. Equipamento

O equipamento é composto pelas seguintes partes:

- Perfilômetros a laser (2 unidades): Capturaram os perfis transversais esquerdo e direito da faixa. Cada perfilômetro é composto por uma linha laser de alta potência e uma câmera de alta resolução para medir deformações dos perfis transversais.

Figura 2.48 Disposição dos sensores a laser (fonte: LCMS, 2016).

- Unidade de medição inercial (IMU) (2 unidades) (opcional): Os dois IMUs medem a aceleração vertical do veículo de inspeção, que é então utilizado na medição do perfil longitudinal da estrada. O perfil longitudinal permite medir o IRI (*International Roughness Index*).

- Placa isoladora de quadros (2 unidades): São utilizadas para digitalizar as imagens que saem das câmeras dos perfilômetros a laser.
- Controlador: O controlador é uma unidade padrão de interface de dados e sinais de controle entre o computador para armazenamento e os perfilômetros a laser.

Figura 2.49 Controlador (parte frontal e traseira) (fonte: LCMS, 2016).

- Programa de aquisição (biblioteca de aquisição): A biblioteca de aquisição é um padrão Win32 DLL (*Dynamic Link Library*) para o Microsoft Windows XP ou Windows 7. Configura e opera o LCMS por meio de funções declaradas na linguagem C.
- Programa de análise (biblioteca de análise): A biblioteca de processamento é um padrão Win32 DLL (*Dynamic Link Library*) para o Microsoft Windows XP ou Windows 7. A biblioteca processa os dados capturados pelos sensores. O processamento inclui a detecção de trincas, medição de trilha de roda, a detecção de marcação na pista, a detecção de buracos e avaliação macrotextura.
- Cabos necessários: cabos de alimentação, de dados e de controle necessários.
- Estojo de transporte: Estojo utilizado para mover o sistema quando não está instalado no veículo de controle. As dimensões dele são 100 cm (largura) x 61 cm (altura) x 61 cm (profundidade).

- Objeto de validação (opcional): O objeto de validação é uma ferramenta opcional que pode ser utilizado para avaliar a calibração de um sensor.

Figura 2.50 Objeto de validação (fonte: LCMS, 2016).

Segundo Savard et al (2013), o equipamento é composto por dois perfis a laser 3D de alto desempenho que são capazes de medir perfis transversais na rodovia com resolução de um milímetro em velocidade de tráfego. Estes lasers possuem duas distintas funções, onde o primeiro coleta os dados da superfície nas coordenadas X, Y e Z e o segundo tem a função de coletar os dados do pavimento.

Figura 2.51 Veículo de inspeção com unidades de sensores a laser (foto superior). Imagem de uma unidade de sensor a laser, com o projetor a laser e câmera (foto inferior) (fonte: FIALHO, 2015).

Os sensores do equipamento captam o perfil 3D e de intensidade da rodovia, onde os de intensidade absorvem os dados de trincas seladas e sinalização horizontal, já os dados em 3D são coletados em baixa e alta frequência. Os dados de baixa frequência absorvem informações de afundamento plástico e os de alta frequência captam informações de macrotextura, trincamento, panela e desagregação.

Figura 2.52 Sistema do *Pavement Scanner* (sensores e controlador) (fonte: LCMS, 2016).

Cada unidade de sensor possui um tipo específico de câmera de alta velocidade e um módulo de emissão que projeta uma linha de laser. A projeção da linha de laser é feita através de um sistema composto por um díodo semiconductor de alta potência que emite em sua saída cerca de 7 W a 10 W, um aparato óptico responsável em moldá-lo em um feixe a laser e a projeção desta linha fina alongada transversalmente ao eixo longitudinal percorrido pelo veículo. A linha de laser na janela de saída do sistema tem uma espessura de cerca de 7 mm e comprimento de cerca de 7 cm, ao se afastar da janela de saída, se espalha tornando o feixe mais alongado.

Com a altura nominal de cerca de 2,2 m acima da superfície do pavimento, o feixe de laser entra em contato com a superfície do pavimento, após propagar-se no ar ao longo de uma distância de cerca de 2 m. Na superfície do pavimento, a linha de laser apresenta cerca de 2 m de comprimento enquanto que a sua espessura é reduzida para aproximadamente 1 mm. As linhas de laser projetadas a partir das duas unidades de sensores se sobrepõem, iluminando uma zona de cerca de 4 m de comprimento sobre o pavimento da rodovia (fonte: LCMS, 2016).

A faixa de luz é projetada pelo laser no pavimento e sua imagem é capturada enquanto o veículo de inspeção trafega ao longo da rodovia. A figura 2.53 abaixo ilustra o sensor laser executando a varredura dos defeitos e a figura 2.54 demonstra a disposição dos sensores a laser.

Figura 2.53 Detalhe do laser levantando o trincamento (fonte: LCMS, 2016).

Com o intuito de medir o perfil/inclinação longitudinal e inclinação transversal com um alto grau de precisão foram adicionados IMU (unidades de medidas inerciais) aos sensores. Os IMU são compostos por três eixos acelerômetros e giroscópios, em que o eixo vertical do IMU (gravidade) é cuidadosamente alinhado ao mesmo plano que os lasers dos sensores 3D. Este alinhamento permite uma referência direta do sistema de coordenadas do IMU com os sensores 3D, permitindo a fusão dos dados de ambos os tipos de sensores.

Figura 2.54 Disposição do IMU (aparelho dourado) no sensor do *Pavement Scanner* (fonte: LCMS, 2016).

O perfil longitudinal é medido por meio da integração do sinal vertical (acelerômetro), com o intuito de medir o deslocamento vertical total do veículo e o perfil da estrada, enquanto subtrai as variações da distância entre o veículo e a estrada, como medido diretamente pelos sensores 3D. Estes sensores permitem, assim, a remoção das variações no perfil longitudinal, que são causadas pela suspensão do veículo, quando o veículo atinge solavancos na estrada. Esses sensores e o IMU também devem ser cuidadosamente sincronizados entre si para que todo o processo funcione com precisão. O *Pavement Scanner* utiliza para o cálculo da irregularidade longitudinal dois (um para cada trilha de roda) perfis longitudinais da via, através dos pontos de dados 3D e as acelerações verticais armazenados.

O módulo para detecção da irregularidade pode ser utilizado para computar e salvar os dados dos perfis longitudinais da rodovia, bem como, para calcular o *International Roughness Index* (IRI), a partir dos perfis longitudinais medidos. Assim, os usuários têm duas opções: podem recuperar os perfis longitudinais originais e, em seguida, calcular seu próprio índice de irregularidade utilizando qualquer *software* ou método, ou podem calcular os valores do IRI utilizando o *software* do *Pavement Scanner*.

Este equipamento possui ainda um módulo que detecta as marcações da sinalização horizontal no pavimento. Dentre as várias funcionalidades deste módulo, há uma que possibilita um alto nível de repetibilidade do levantamento, de forma a evitar desvios na linha utilizada para avaliação do perfil longitudinal. A figura abaixo exemplifica a utilização dos marcadores de faixa para corrigir desvios do motorista do veículo de levantamento.

Figura 2.55 Imagem do sistema clássico de levantamento dependendo da trajetória do veículo (fonte: LCMS, 2016).

Figura 2.56 Imagem do sistema do *Pavement Scanner* que utiliza as marcações de faixa para compensar desvios do condutor do veículo (fonte: LCMS, 2016).

Este equipamento é considerado como sendo um perfilômetro de Classe I pelo Banco Mundial, o que implica em medidas de elevada repetibilidade e precisão.

O *Pavement Scanner* utiliza linhas de projeção de laser, câmeras de alta potência e óptica avançada para adquirirem alta definição do perfil 3D da rodovia. Esta exclusiva tecnologia permite a visão 3D para avaliação automática do estado do pavimento, seja ele flexível ou rígido.

O equipamento *Pavement Scanner* foi inicialmente desenvolvido por uma empresa canadense denominada *Pavemetrics* que é especializada em sistemas de visão em 3D para a inspeção automatizada de infraestrutura de transporte e realiza serviços em diversos países, desde 2009. A empresa vende os sensores e os softwares para processamento de dados, e neste estudo, o software utilizado foi o LCMS (*Laser Crack Measuring System*).

O LCMS é capaz de medir automaticamente, detectar e quantificar todos os parâmetros funcionais do pavimento em uma única passagem, incluindo: rachaduras, afundamentos, textura de superfície, buracos, escorregamentos, desgaste e rugosidade, podendo ser utilizado em qualquer tipo de pavimento. Atualmente há duas versões do sistema disponíveis, indicadas para cada tipo de necessidade. Recomenda-se para realização de medidas um computador que tenha uma configuração mínima de 2 GB de RAM de memória e 4 núcleos de processadores.

Uma inspeção completa da condição do pavimento é dada em apenas uma única passagem, podendo ser realizada sem iluminação (dentro de túneis ou durante a noite) e em velocidades de até 100 km/h. A resolução do levantamento é de um milímetro.

Segundo Savard et al (2013), o software LCMS foi idealizado em três fases principais: a primeira teve como objetivo avaliar os perfis de laser 3D e foi validado por meio de levantamento de seções de rodovia contendo trincas artificiais criadas por cortes de serra e foi feita em 2002; a segunda fez a validação dos algoritmos para a detecção e classificação de trincas em segmentos de 400 m de rodovia; por fim, a terceira fase serviu para aperfeiçoar o sistema e software.

Com a utilização de critérios adequados a qualidade dos dados obtidos através do levantamento automatizado é superior ao levantamento tradicional devido ao fato de o processo ser objetivo e realizado por uma análise computadorizada, obtendo desta forma resultados mais precisos e com uma maior repetitividade do que os levantamentos obtidos de forma tradicional.

O sistema de medição de trincas com laser (LCMS) usa projetores laser, câmeras de alta velocidade e ótica avançada para adquirir perfis 3D de alta resolução da estrada. Esta tecnologia exclusiva de visão 3D permite a avaliação automática da condição do pavimento de asfalto, asfalto poroso e de superfícies de concreto. O LCMS adquire dados de imagem 2D e 3D de superfície da rodovia com resolução de 1 mm em uma largura de pista de até 4 m com velocidades de até 100 km / h (LCMS, 2016).

Os arquivos do levantamento são adquiridos e comprimidos em tempo real no veículo, minimizando as necessidades de armazenamento (aproximadamente 1 GB por km). Os dados coletados podem ser analisados por meio do software de análise que tem funções para detectar e analisar trincamentos, faixas de marcação, placas, desgaste e macrotextura. Afundamento é medido e caracterizado usando mais de quatro mil pontos (4160 ao total) permitindo a avaliação da profundidade e tipo deste defeito. Superfícies de concreto podem ser escaneadas para avaliação de juntas,

texturização e afundamentos entre placas de concreto. Com a adição de unidades de medida inerciais (IMU – *Inertial Measure Units*) podem ser obtidos também perfis longitudinais, IRI, declive e inclinação transversal.

Para facilitar o entendimento do sistema LCMS, será explicado no capítulo adiante como a aquisição e o processamento de dados funcionam através de definições básicas.

2.5.4.3. Detalhamento do sistema LCMS

2.5.4.3.1. Perfil

Um perfil da estrada é um conjunto de pontos (X, Z) de dados capturados ao longo do eixo transversal da rodovia. Um perfil é capturado cada vez que o controlador do LCMS recebe um sinal de disparo a partir do hodômetro do veículo. Normalmente, o sistema LCMS pode capturar um perfil da rodovia de poucos em poucos milímetros, variando de um perfil a cada 1 mm até a cada 5 mm, de acordo com a velocidade de deslocamento do veículo (máximo de 100 km / h). Cada perfil consiste de até 4160 pontos de dados (LCMS, 2016).

Figura 2.57 Caracterização do perfil transversal, longitudinal e seção de rodovia (fonte: LCMS, 2016).

2.5.4.3.2. Perfil longitudinal

O perfil longitudinal da estrada é gerado pela medição da sua forma ao longo de uma linha imaginária na direção do deslocamento ou eixo longitudinal da estrada. O perfil longitudinal pode então ser usado para calcular vários índices de irregularidade, tais como o IRI (*International Roughness Index*).

2.5.4.3.3. Seção da rodovia

Uma seção da rodovia é um conjunto de perfis consecutivos que são unidos e salvos em um arquivo comum. Uma seção da rodovia pode ser vista como um conjunto de coordenadas 3D (X, Y, Z), onde X é a coordenada ao longo do eixo transversal da rodovia, Y ao longo do eixo longitudinal, e Z é o eixo de profundidade.

O comprimento da seção da rodovia é configurável e é definido pelo usuário antes de iniciar a aquisição. Um comprimento típico fica entre 5 a 10 metros. O número de perfis por seção depende do tom codificador do hodômetro do veículo.

As seções são salvas pela biblioteca aquisição utilizando um formato de arquivo próprio (.fis). O formato de arquivo inclui todos os dados necessários para a biblioteca do analisador, o software que realiza o processamento:

- mapa de profundidade da superfície da estrada (também referida como dados de distância, ou a imagem XYZ, ou valores de altura);
- intensidade da imagem da superfície da rodovia (intensidade da linha de laser em cada ponto de dados);
- dados do usuário (dados adicionais que o usuário pode querer anexar durante a aquisição);
- parâmetros de aquisição e o estado do sistema no momento da aquisição;
- Informações sobre a seção em relação ao levantamento a que pertence.

2.5.4.3.4. Levantamento

Um levantamento é um grupo de seções da rodovia. Um novo levantamento é criado cada vez que uma nova aquisição é iniciada a partir da biblioteca de aquisição. É identificado por um número único de identificação (ID do levantamento) e cada seção da rodovia de um levantamento é rotulado com um número sequencial (ID da seção).

Um único levantamento pode ser composto de milhares de seções de rodovia, o que corresponderia a centenas de quilômetros de pavimento da rodovia inspecionados pelo veículo. O ID da seção da primeira seção de rodovia de um levantamento é sempre 0. Todas as seções de uma mesma pesquisa são salvas na mesma pasta.

2.5.4.3.5. Análise da superfície da rodovia

A análise da superfície da rodovia começa pelo carregamento das seções em que se deseja a análise em que alguns procedimentos como correções angulares para compensar o ângulo de inclinação do veículo, fusão dos perfis provenientes do sensor esquerdo e direito, remoção da sobreposição entre os perfis direito e esquerdo e outras adequações.

O programa permite diferentes tipos de análise que são ligadas a um tipo de processamento que pode ser habilitado ou desabilitado de acordo com o interesse do estudo em questão. Os módulos de processamento são os seguintes:

- Medição de trilhas de roda;
- Detecção de trincas;
- Avaliação de macrotextura;
- Marcações na pista (sinalização horizontal);
- Panelas;
- Meio-fio e degraus na pista;
- Desgaste;
- Trincas seladas.

O resultado do processamento é dado em 4 tipos diferentes de arquivos (podendo ser desabilitada a saída dos 3 tipos de imagem, se necessário):

- LcmsResult – dados em XML

```

▼<LcmsAnalyserResults>
  <DataFormat>1.1</DataFormat>
  ▼<SurveyInfo>
    <SurveyID>3120141181</SurveyID>
    ▼<SurveyPath>
      \\dysao791d\I\Pav Scan\Estudo rodoanel scabelo\cresc\km 1,220\faixa 1\1
    </SurveyPath>
    ▼<SensorEnable>
      <Left>Yes</Left>
      <Right>Yes</Right>
    </SensorEnable>
    <FirstTimeStamp_s>0.0</FirstTimeStamp_s>
    <LastTimeStamp_s>11.3</LastTimeStamp_s>
    <SectionLength_m>10.000</SectionLength_m>
    <SectionNbProfiles>2000</SectionNbProfiles>
    <TotalNbSections>14</TotalNbSections>
    <TotalLength_m>140.00</TotalLength_m>
    <MeanSpeed_kmh>44.4</MeanSpeed_kmh>
    <NbValidSections>14</NbValidSections>
  </SurveyInfo>
  ▼<RoadSectionInfo>
    <SurveyID>3120141181</SurveyID>
    <SectionID>2</SectionID>
    <DistanceBegin_m>20.000</DistanceBegin_m>
    <DistanceEnd_m>29.995</DistanceEnd_m>
    <TimeBegin_s>1.662</TimeBegin_s>
    <TimeEnd_s>2.485</TimeEnd_s>
    <NbProfiles>2000</NbProfiles>
    <SectionLength_m>10.000</SectionLength_m>
    <Speed_kmh>43.737</Speed_kmh>
    <AcquisitionResolution_mm>5.000</AcquisitionResolution_mm>
  </RoadSectionInfo>
  ▼<ProcessingInformation>
    <DataFormat>1.3</DataFormat>
    ▼<RoadSectionFileName>
      \\dysao791d\I\Pav Scan\Estudo rodoanel scabelo\cresc\km 1,220\faixa 1\1\SP021CF1km 1220-1_000002.fis
    </RoadSectionFileName>
  </ProcessingInformation>
</LcmsAnalyserResults>

```

Figura 2.58 Exemplo de LcmsResult – dados em XML (fonte: arquivo pessoal).

- LcmsResult_Image3D – foto da seção do pavimento

Figura 2.59 Exemplo de Image 3D (fonte: arquivo pessoal).

- LcmsResult_ImageRng – imagem da profundidade da seção

Figura 2.60 Exemplo de Image Range (fonte: arquivo pessoal).

- LcmsResult_Overlay3D – imagem processada da seção

Figura 2.61 Exemplo de Overlay 3D (fonte: arquivo pessoal).

Deve-se atentar que o LcmsResult é o arquivo que permite a obtenção dos dados da seção através de planilhas de Excel, sendo o arquivo que possui o banco de dados da seção da rodovia, é o resultado com maior importância para a análise do pavimento. O formato XML tem informações organizadas em classes permitindo uma navegação entre as informações mais simplificada.

O programa permite a adaptação do usuário de diversos parâmetros para a forma mais adequada para análise, modificando os resultados de acordo com a necessidade do usuário, embora alguns parâmetros sejam fixos, existe a possibilidade de modificação em diversos fatores. Podem ser alterados os parâmetros relativos aos módulos de processamento descritos anteriormente.

A partir de montagem especificada com uma altura de 2,2 m dos sensores, obtém-se, para cada sensor, uma largura de seção de rodovia mínima de 2,0 m de comprimento, somando ao total um mínimo de 4 m de comprimento em cada perfil transversal levantado da rodovia.

A sincronização dos dados coletados é feita a partir de um hodômetro acoplado a uma das rodas, possibilitando que todas as diferentes informações sejam processadas pelo CPU de forma adequada. É realizada uma digitalização das imagens obtidas no levantamento possibilitando a diminuição do armazenamento

exigido que, sem a devida compressão dos dados, seria necessário um armazenamento de 30 GB/km pra uma velocidade de 100 km/h, valor muito superior comparado ao que pode chegar neste processo que é de aproximadamente 700 MB/km.

A obtenção das informações pelos sensores é feita simultaneamente por meio do perfil 3D e o perfil de intensidade da rodovia. Os dados do perfil 3D são utilizados para obtenção da maioria dos defeitos que podem ser identificados pelo equipamento, com exceção de trincas seladas e sinalização horizontal, que são obtidas pelos dados de intensidade.

Figura 2.62 Diagrama dos resultados do 3D e da Intensidade no *Pavement Scanner* (fonte: FIALHO, 2015).

A informação obtida pelo perfil de intensidade tem fundamental importância para determinação dos limites das faixas da rodovia, definindo precisamente a largura das faixas e removendo a imprecisão no levantamento devido aos desvios do motorista. A subsequente avaliação é facilitada quanto maior for o contraste observado na pista, as faixas de sinalização podem ser evidenciadas sem muita dificuldade com a visualização das imagens obtidas.

Os dados 3D obtidos pelo sistema do *Pavement Scanner* medem a distância entre o sensor e superfície para cada ponto avaliado na rodovia. Além dos dados numéricos que são usados para definição do tipo, forma e severidade dos defeitos, são produzidas modelagens dos dados adquiridos em escalas de cinza, que definem a

profundidade dos pontos, sendo que um ponto mais escuro determina uma maior profundidade de um ponto específico. Deve-se atentar para possíveis variações de altura devido a movimentos na suspensão do veículo, efeito suavizado por uma alta frequência de obtenção dos dados no levantamento e as características específicas da obtenção dos defeitos que diferem por apresentar uma maior frequência.

Dados obtidos pelo IMU (unidades de medidas inerciais) possibilitam a determinação do perfil longitudinal, inclinação e inclinação transversal com um alto grau de precisão.

Um resumo das características do *Pavement Scanner* é dado a seguir:

1 Especificações do sistema

- Número de perfis a laser: 2;
- Velocidade do veículo: de 0 km/h até 100 km/h;
- Velocidade de aquisição: de 5600 perfis/segundo até 11200 perfis/segundo;
- Espaço entre os perfis: de 1 até 5 mm (ajustável);
- Precisão transversal: 1 mm;
- Precisão vertical: 0,5 mm;
- Largura transversal de visão: 4 m;
- Resolução transversal: 4096 pontos/perfil;
- Profundidade de visão: 250 mm (ajustável);
- Resolução vertical: 0,25 mm;
- Dimensões do perfil do laser: 428 mm (altura) x 265 mm (largura) x 139 mm (profundidade);
- Peso: 10 kg (por sensor);
- Consumo de energia (máximo): 150W a 120/240 VAC.

2 Características do levantamento

- Detecção automática de fissuras e severidade;
- 4160 pontos na trilha de roda;
- Medidas de macrotextura em toda largura da faixa;
- Dados 2D e 3D para caracterização: fissuras, panelas, desagregação, trincamentos, juntas no concreto, etc.;
- Pode se operar em superfícies asfálticas e de concreto;
- Operação dia e noite;
- Alta resolução (1 mm);
- Baixo consumo de energia;
- Perfil longitudinal (IRI - International Roughness Index);
- Inclinação transversal e longitudinal.

A descrição detalhada dos módulos processados pelo *Pavement Scanner* é apresentada no Anexo B deste trabalho.

3. METODOLOGIA DA PESQUISA

3.1. Definição da Metodologia da Pesquisa

A pesquisa consiste na análise da aplicabilidade técnica e operacional do emprego do equipamento *Pavement Scanner* na avaliação funcional de pavimentos em rodovias brasileiras, buscando um melhoramento na coleta de informações, com uma maior velocidade na obtenção dos dados, uma diminuição na subjetividade nos resultados com a retirada da interferência do profissional encarregado pelo levantamento, um aumento na qualidade do dado final obtido com uma maior repetibilidade e reprodutividade do mesmo e, não menos importante, uma diminuição das interferências do tráfego que são causas de aumento de probabilidade de acidentes nestes levantamentos.

Foram definidas seções-teste ao longo de vias com pavimento rígido em que foram feitas inspeções a partir de levantamentos tradicionais estabelecidos nas normas e especificações rodoviárias nacionais. Nestas seções-teste, foi utilizado o equipamento *Pavement Scanner*, com diferentes equipes, objetivando a comparação entre os diferentes métodos em relação a qualidade, reprodutividade e repetibilidade dos dados obtidos.

A utilização do equipamento *Pavement Scanner* compreendeu as seguintes características:

- utilização de equipes treinadas no levantamento automatizado,
- treinamento das equipes em relação as informações necessárias a serem obtidas pelo levantamento automatizado em relação aos levantamentos tradicionais,
- adaptação dos parâmetros de processamento para obtenção dos resultados necessários.

A partir da obtenção dos resultados do equipamento *Pavement Scanner* foi realizado um tratamento estatístico e foram comparados os resultados dos levantamentos tradicionais em campo: a avaliação objetiva do pavimento rígido dada pelo Índice de

Condição do Pavimento (ICP) e a macrotextura através do levantamento de mancha de areia.

As etapas da pesquisa são as seguintes:

1. Definição e demarcação de seções-teste de 100 m (20 placas) para diferentes tipos de condição de superfície em pavimentos rígidos compostos por placas de concreto de cimento Portland, buscando englobar um intervalo de condições de superfície que represente toda a faixa de classificação, desde um pavimento com diversos defeitos, e subsequente baixa qualidade de rolamento, até um pavimento em praticamente perfeitas condições.

2. Em busca da comparação entre a degradação obtida pelas diferentes solicitações ao pavimento, foram escolhidas seções pareadas em que, em um mesmo trecho de rodovia, foi realizada a avaliação funcional da faixa mais interna em comparação com a faixa mais externa, totalizando 6 trechos e 12 seções no estudo da condição funcional do pavimento rígido.

3. Da mesma forma realizada para a obtenção do ICP das seções, foram escolhidos trechos de uma rodovia de pavimento rígido, composta por placas de concreto de cimento Portland, que apresentassem diferentes valores de macrotextura, buscando representatividade para uma grande faixa de variação de textura superficial.

4. Foram selecionados 7 trechos, em que a avaliação da macrotextura foi realizada. Medições foram realizadas nas trilhas de roda, internas e externas, de faixas da rodovia, distanciadas todas por um valor constante do bordo externo (ou interno) de cada uma.

5. A caracterização das seções foi realizada a partir dos seguintes passos:

- Avaliação funcional de seções com 100 m de extensão das faixas 1 e 4 (ou 1 e 3, quando não existe faixa 4), empregando o procedimento de avaliação DNIT 062/2004-PRO, com:

- a. duas equipes distintas utilizando formulário de papel, obtendo assim o ICP para 12 seções-teste pelo método tradicional em campo.
- b. duas equipes distintas utilizando fotos tiradas das seções (1 foto a cada 10 m de pista), obtendo assim o ICP para 12 seções-teste pelo método visual no escritório (comparação com vídeo registro).
- c. duas equipes distintas utilizando o *Pavement Scanner*, e subsequente tratamento dos dados no escritório, obtendo assim o ICP para 12 seções-teste pelo método *Pavement Scanner*.

- Avaliação da macrotextura de 7 amostras constituídas de 2 pontos espaçados 10 m cada, empregando o procedimento proposto pela norma ASTM E 965 (96) de avaliação da macrotextura por um método volumétrico pela utilização de mancha de areia, com:

- a. uma equipe utilizando formulário de papel, obtendo assim valores de macrotextura para 14 pontos distintos ou 7 amostras pelo método tradicional em campo.
- b. uma equipe utilizando o *Pavement Scanner*, e subsequente tratamento de dados no escritório, obtendo assim valores de macrotextura para 14 pontos distintos ou 7 amostras pelo método *Pavement Scanner*.

- Cadastro fotográfico do trecho para caracterização das estações de avaliação do pavimento, para cada uma das equipes de forma independente.

6. Calibração do equipamento e dos parâmetros de processamento dos dados obtidos pelo *Pavement Scanner* e realização de diversas iterações buscando uma melhor relação entre os resultados obtidos, as normas de referência e os levantamentos realizados em campo.

7. Estudo dos resultados de ICP obtidos para os distintos métodos de levantamento utilizados, realizando análises estatísticas e comparando com resultados de estudos semelhantes observados na literatura.

8. Comparação dos resultados de macrotextura com os diferentes métodos de levantamento utilizados e os resultados de estudos semelhantes encontrados na literatura.

9. Análise estatística mais detalhada dos levantamentos realizados obtendo índices importantes como o a repetibilidade e a reprodutividade de cada levantamento em conformidade com a ISO 5725-2 (1994).

10. Correlações entre os levantamentos automatizados e os levantamentos tradicionais em campo.

3.2. Definição das Seções-teste

3.2.1. Avaliação funcional – Índice de condição do pavimento (ICP)

As seções-teste foram determinadas objetivando a obtenção de um intervalo de condições de superfície que represente toda a faixa de classificação, desde um pavimento com diversos defeitos, e subsequente baixa qualidade de rolamento, até um pavimento em praticamente perfeitas condições. Assim, foram selecionados trechos de pistas de pavimentos rígidos com 100 m de extensão, tomados aos pares, localizados nas faixas mais internas e mais externas dos segmentos, e desta forma obtendo também uma comparação dos desgastes entre as diferentes solicitações nestes pavimentos.

Em resumo:

- 6 trechos com 100 m de extensão (ou 20 placas de concreto);
- 2 segmentos para cada trecho, sendo um localizado na faixa 1 e outro localizado na faixa 4 (faixa 3 quando não houver faixa 4);
- diferentes tipos de condição: de péssimo a excelente;
- 3 trechos em cada sentido da rodovia.

Observando que vias de pavimento rígido no Brasil existem em quase sua totalidade para rodovias com tráfego elevado, a dificuldade do levantamento em campo para a avaliação funcional da faixa 1 foi considerada.

Deve-se atentar também na velocidade do levantamento em campo: para um segmento que apresentasse pequena quantidade de defeitos por placa, a análise e preenchimento dos formulários eram facilitados, gerando uma maior celeridade no levantamento em comparação aos segmentos com uma condição de superfície mais deteriorada.

Em busca de análise da repetitividade e reprodutibilidade dos resultados em campo, os levantamentos foram realizados por 2 equipes distintas, diversas vezes cada uma, o que permitiu a análise destes dois fatores.

As seções-teste selecionadas para o objeto deste estudo foram as seguintes:

Tabela Resumo ICP				
Rodovia: SP021 - Rodoanel Mário Covas				
Pista: Multipla				
Faixas: 1 a 4				
Seção-teste	Sentido	km	Faixa	Condição
1	Crescente	1,220	1	Excelente
2		1,220	4	Ruim
3		3,000	1	Excelente
4		3,000	3	Bom
5		4,000	1	Excelente
6		4,000	4	Ruim
7	Decrescente	2,000	1	Excelente
8		2,000	4	Bom
9		4,000	1	Bom
10		4,000	3	Razoável
11		6,000	1	Bom
12		6,000	4	Ruim

Tabela 3.1 Seções-teste para estudo do ICP

O trecho do estudo fica localizado no trecho oeste do Rodoanel (SP-021) na região metropolitana de São Paulo entre a rodovia dos Bandeirantes e a Avenida Raimundo de Magalhães.

A escolha deste trecho foi baseada na proximidade com São Paulo e, principalmente, na existência de condições diferentes (ICP de 40 até 80 obtidos em levantamento realizados em agosto de 2015).

Figura 3.1 Mapa do Estado de São Paulo e localização do trecho (DER, 2017).

Figura 3.2 Mapa de localização do trecho (GOOGLE, 2016).

Figura 3.4 Fotos das seções-teste no sentido crescente.

Figura 3.5 Fotos das seções-teste no sentido decrescente.

3.2.2. Avaliação da macrotextura do pavimento

A determinação das seções foi realizada buscando um intervalo de condições de textura que represente uma grande faixa de classificação, desde um pavimento com uma textura bastante fechada a uma textura bem aberta.

Medições da macrotextura realizadas nas trilhas de roda, internas e externas, distanciadas por um valor constante do bordo externo (ou interno) foram feitas em 7 diferentes trechos na Rodovia dos Imigrantes (SP-160).

Em resumo:

- 7 trechos com 10 m de extensão;
- 2 medidas de macrotextura para cada trecho, espaçadas 10 metros;
- medidas realizadas a um valor fixo de 50 cm da junta da placa de concreto;
- diferentes tipos de condição: de fina a grosseira.

Observando que a realização do ensaio de macrotextura necessita da interdição da via, os ensaios realizados foram feitos durante a execução de uma operação de descida de cargas especiais em que a via ficou bloqueada por algumas horas, possibilitando a realização do estudo.

As seções-teste selecionadas para o objeto deste estudo foram as seguintes:

Tabela Resumo Macrotextura						
Rodovia: Rodovia dos Imigrantes (SP-160)						
Faixas: 1 a 3						
Seção-teste	Testes	Nome	Posição (km/est)	Faixa	Trilha	Condição (visual)
Seção-teste 1	Teste 1	d1	53,620	3	Externa	Fina
	Teste 2		53,610			Fina
Seção-teste 2	Teste 1	d2	52,200	3	Externa	Fina
	Teste 2		52,190			Fina
Seção-teste 3	Teste 1	d3	52,165	3	Externa	Fina
	Teste 2		52,155			Fina
Seção-teste 4	Teste 1	d4	52,165	1	Interna	Média
	Teste 2		52,155			Média
Seção-teste 5	Teste 1	d5	52,200	1	Interna	Média
	Teste 2		52,190			Média
Seção-teste 6	Teste 1	d6	51,500	3	Externa	Média
	Teste 2		51,490			Média
Seção-teste 7	Teste 1	d7	51,500	1	Interna	Média
	Teste 2		51,490			Grossa

Tabela 3.2 Seções-teste para estudo da macrotextura.

O trecho do estudo fica localizado na pista norte (ascendente) da rodovia dos Imigrantes (SP-160). Os pontos escolhidos para realização das medições ficaram dentro dos túneis TA 13 (túnel de número 10) e TA 10/11 (túnel de número 8).

A escolha deste trecho foi baseada na proximidade com São Paulo e, principalmente, na existência de condições diferentes por toda a extensão da rodovia.

Figura 3.6 Mapa do Estado de São Paulo e localização do trecho (DER, 2017).

Figura 3.7 Mapa de localização do trecho (GOOGLE, 2016).

Figura 3.8 Mapa de localização dos segmentos (GOOGLE, 2016).

As seções-teste ST-01 a ST-07 foram inventariadas pelo método tradicional e mecanizado na última semana de julho de 2016. Abaixo seguem as fotos para demonstrar os locais em que o estudo foi realizado.

Figura 3.9 Fotos das seções-teste na pista norte.

Figura 3.10 Fotos das seções-teste na pista norte.

Figura 3.11 Fotos das seções-teste na pista norte.

3.3. Levantamentos de campo

Os levantamentos de campo foram realizados nas seções-teste mencionadas de acordo com a disponibilidade das equipes e de acesso às rodovias.

A ordem cronológica para o estudo do Índice de condição de pavimento foi:

1. Levantamento com *Pavement Scanner*;
 2. Levantamento em campo utilizando formulário em papel;
 3. Levantamento visual no escritório a partir de fotos tiradas das seções.
- (Realizados no mês de dezembro de 2015).

A ordem cronológica para o estudo da macrotextura do pavimento foi:

1. Levantamento em campo utilizando formulário em papel;
 2. Levantamento com *Pavement Scanner*.
- (Realizados no mês de julho de 2016).

3.3.1. Avaliação funcional – Índice de condição do pavimento (ICP)

Conforme já mencionado nos itens anteriores, buscou-se realizar um levantamento que englobasse uma larga faixa da qualidade superficial dos pavimentos rígidos e, para isso, 12 seções foram analisadas, comparando, duas a duas, as faixas internas e externas em segmentos compostos por 20 placas de concreto (ou 100 m).

Os levantamentos foram realizados visando uma análise da qualidade, reprodutibilidade e repetibilidade dos resultados. Para tanto, os levantamentos foram feitos por diferentes equipes, repetidas vezes.

3.3.1.1. Levantamento com *Pavement Scanner*

O levantamento com *Pavement Scanner* foi realizado da seguinte forma:

- Passagem do equipamento 14 vezes em cada seção-teste;
- Obtenção dos dados por 2 diferentes operadores, 7 vezes cada um (para posterior análise da repetitividade do levantamento segundo a norma ISO 5725-2 (94));
- Levantamento realizado por inteiro em dois dias seguidos no mês de dezembro de 2015;
- Identificação do início dos trechos por meio de faixas brancas para facilitação de análise posterior no escritório;
- Processamento posterior no escritório.

Figura 3.12 Levantamento com *Pavement Scanner*: imagem do equipamento e identificação do início dos trechos.

Figura 3.13 Levantamento com *Pavement Scanner*: imagem da tela de aquisição de dados dentro do equipamento e processamento de dados posterior.

Após a aquisição dos dados em campo foi iniciada a fase de análise e processamento dos dados no escritório feito a partir de diversas iterações, adoção de parâmetros e apresentação de informações que mais se adequasse ao método de avaliação do Índice de Condição do pavimento (ICP).

A partir dos dados processados, foi possível obter o ICP das seções-teste levantadas em que os defeitos apontados pela norma nacional puderam ser identificados de forma automatizada.

3.3.1.2. Levantamento tradicional em campo

O levantamento tradicional em campo foi realizado da seguinte forma:

- Avaliação da condição de superfície do pavimento 10 vezes em cada seção-teste;
- Obtenção dos dados por 2 diferentes avaliadores, 5 vezes cada um (para posterior análise da repetitividade do levantamento segundo a norma ISO 5725-2 (94);
- Levantamento realizado por inteiro em dois dias seguidos no mês de dezembro de 2015;
- Utilização da identificação do início dos trechos por meio de faixas brancas feito no levantamento com *Pavement Scanner*;
- Cálculo do ICP no escritório.

Figura 3.14 Levantamento tradicional em campo.

Após a aquisição dos dados em campo foi feito o cálculo dos ICPs para as 12 seções-tipo, 10 vezes cada uma, utilizando a norma rodoviária nacional.

3.3.1.3. Levantamento visual no escritório

O levantamento visual no escritório foi realizado da seguinte forma:

- Avaliação da condição de superfície do pavimento 14 vezes em cada seção-teste;
- Obtenção das imagens pelo equipamento *Pavement Scanner*, a cada 10 m de pista;
- Avaliação das imagens por 2 diferentes técnicos, 7 vezes cada um (para posterior análise da repetitividade do levantamento segundo a norma ISO 5725-2 (94));
- Utilização da identificação do início dos trechos por meio de faixas brancas feito no levantamento com *Pavement Scanner*;
- Cálculo do ICP.

Figura 3.15 Imagens das seções utilizadas para levantamento visual no escritório.

3.3.2. Avaliação da macrotextura do pavimento

Conforme já mencionado nos itens anteriores, foi buscada a realização de um levantamento que englobasse uma larga faixa da textura superficial dos pavimentos rígidos e, para isso, 7 seções com macrotexturas visivelmente diferentes, foram analisadas. Os levantamentos foram realizados visando uma análise comparativa da qualidade dos resultados.

3.3.2.1. Levantamento com *Pavement Scanner*

O levantamento com *Pavement Scanner* foi realizado da seguinte forma:

- Identificação do início dos trechos por meio de faixas brancas para facilitação de análise posterior no escritório,
- Passagem do equipamento em cada seção-teste,
- Processamento posterior no escritório.

Figura 3.16 Levantamento com *Pavement Scanner*: identificação do início dos trechos.

Após a aquisição dos dados em campo foi iniciada a fase de análise e processamento dos dados no escritório feito a partir de diversas iterações, adoção de parâmetros e apresentação de informações que mais se adequasse ao valor obtido da textura superficial do ensaio tradicional realizado em campo.

A partir dos dados processados, foi possível obter a macrotextura das seções-teste levantadas para diferentes regiões da faixa de rolamento, a divisão em 5 faixas distintas (bandas) é feita a partir de critério AASHTO. A busca de um refinamento do tamanho destas bandas foi realizada para obtenção de um dado mais aproximado do valor real da textura do pavimento.

3.3.2.2. Levantamento tradicional em campo

O levantamento tradicional em campo foi realizado da seguinte forma:

- Avaliação da textura da superfície do pavimento em cada seção-teste;
- Levantamento realizado por inteiro em um dia no mês de julho de 2016;
- Utilização da identificação do início dos trechos por meio de faixas brancas feito no levantamento com *Pavement Scanner*;
- Cálculo da altura de areia (HS) no escritório.

Figura 3.17 Levantamento tradicional em campo.

Após a aquisição dos dados em campo foi feito o cálculo dos HS para as 7 seções-tipo, utilizando o procedimento recomendado nacionalmente.

4. RESULTADOS E ANÁLISES COMPARATIVAS

4.1. Avaliação funcional – Índice de condição do pavimento (ICP)

O cálculo do Índice de Condição do Pavimento (ICP) para os diferentes métodos apresentados teve como resultados os valores expressos na tabela a seguir.

Podem ser verificados os diferentes valores obtidos para os 3 métodos de avaliação, com suas respectivas quantidades de repetições realizadas (10 para o tradicional e 14 para os outros dois) e alguns índices estatísticos apontando algumas divergências entre as avaliações.

		Amostra														Média $\bar{x}$	Desvio Padrão (S_d)	Coefficiente de Variação ($S_d/\bar{x}$)	Variância (C_v^2)	Diferença Δ extremos
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14					
Seção Teste 01	Tradicional	86,1	93,2	98,8	100,0	86,1	93,2	98,8	98,0	86,1	98,8					93,91	5,86	6,2%	34,39	13,90
	Visual no escritório	93,3	92,1	91,9	90,7	93,3	92,1	91,9	90,7	93,3	92,1	91,9	90,7	93,3	92,1	92,10	0,95	1,0%	0,90	2,60
	Pavement Scanner	93,8	93,3	90,0	93,3	90,0	93,3	91,9	97,1	93,8	87,6	82,4	89,0	86,8	83,2	90,39	4,25	4,7%	18,03	14,70
Seção Teste 02	Tradicional	39,5	29,6	54,2	54,2	45,8	42,2	48,6	56,6	51,4	61,6					48,37	9,40	19,4%	88,40	32,00
	Visual no escritório	58,6	57,7	61,8	57,2	64,6	64,2	71,9	68,9	60,7	64,4	67,4	67,0	65,8	68,2	64,17	4,46	7,0%	19,91	14,70
	Pavement Scanner	57,8	50,1	53,5	53,9	54,7	55,9	53,2	56,8	52,4	51,8	49,1	45,4	54,9		53,16	3,27	6,2%	10,71	12,40
Seção Teste 03	Tradicional	89,6	88,3	96,1	98,0	89,6	88,3	96,1	98,0	89,6	96,1					92,97	4,19	4,5%	17,52	9,70
	Visual no escritório	89,2	85,8	89,0	90,0	89,2	87,8	89,0	92,5	89,2	90,1	89,0	90,0	89,2	85,8	88,99	1,70	1,9%	2,89	6,70
	Pavement Scanner	87,7	89,3	82,7	86,3	87,7	87,7	89,1	87,6	85,1	83,0	87,6	76,1	81,1	84,3	85,38	3,66	4,3%	13,43	13,20
Seção Teste 04	Tradicional	65,1	66,7	75,9	74,7	72,1	65,8	77,4	76,3	60,6	81,7					71,63	6,72	9,4%	45,22	21,10
	Visual no escritório	77,8	70,7	74,1	75,2	78,5	71,0	76,0	77,5	79,1	71,8	77,5	78,0	79,5	71,8	75,61	3,17	4,2%	10,02	8,80
	Pavement Scanner	74,8	80,6	82,7	76,4	82,5	79,7	81,2	74,9	76,8	79,5	79,7	71,1	79,3	71,5	77,91	3,75	4,8%	14,05	11,60
Seção Teste 05	Tradicional	93,1	85,2	94,1	94,1	94,5	85,2	94,1	96,0	94,5	96,0					92,68	4,04	4,4%	16,31	10,80
	Visual no escritório	95,2	95,2	92,2	90,9	95,2	95,6	92,2	90,9	95,6	95,6	92,2	92,2	95,6	95,2	93,84	1,92	2,0%	3,68	4,70
	Pavement Scanner	95,2	95,2	95,2	92,4	92,4	95,2	93,8	94,0	94,4	90,5	91,9	87,1	90,1	94,0	92,96	2,41	2,6%	5,79	8,10
Seção Teste 06	Tradicional	46,6	45,3	45,9	38,3	58,5	46,9	50,0	44,1	51,8	49,5					47,69	5,31	11,1%	28,24	20,20
	Visual no escritório	67,0	63,4	64,1	63,6	70,6	66,2	69,1	68,6	71,2	67,9	68,0	66,5	70,2	66,4	67,34	2,51	3,7%	6,32	7,80
	Pavement Scanner	63,0	66,4	63,8	64,5	64,8	70,5	68,4	63,0	63,2	67,7	67,6	64,9	69,8	62,9	65,75	2,64	4,0%	6,95	7,60
Seção Teste 07	Tradicional	94,1	93,0	96,6	100,0	95,4	93,0	96,6	98,0	94,1	96,6					95,74	2,26	2,4%	5,11	7,00
	Visual no escritório	90,0	92,1	95,4	91,9	90,0	92,1	95,4	91,9	90,0	92,1	95,4	91,9	90,0	92,1	92,16	1,97	2,1%	3,87	5,40
	Pavement Scanner	89,8	93,3	91,9	91,0	92,1	93,3	91,9	91,9	92,1	92,1	95,9	95,9	93,3	93,3	92,70	1,67	1,8%	2,79	6,10
Seção Teste 08	Tradicional	69,9	70,4	81,7	80,6	71,2	68,0	80,5	81,0	71,3	83,7					75,83	6,11	8,1%	37,29	15,70
	Visual no escritório	80,9	81,1	80,4	78,7	82,4	83,0	80,9	80,4	79,4	83,0	81,1	79,2	79,8	82,8	80,94	1,43	1,8%	2,03	4,30
	Pavement Scanner	76,7	80,6	78,7	76,1	81,7	76,9	80,2	72,7	79,6	82,2	81,2	77,3	78,8	77,1	78,56	2,61	3,3%	6,80	9,50
Seção Teste 09	Tradicional	70,5	68,1	94,1	68,1	70,5	68,1	95,4	68,1	70,5	94,1					76,75	12,32	16,1%	151,82	27,30
	Visual no escritório	79,4	71,2	77,5	70,3	80,7	71,2	85,0	71,2	81,8	71,2	85,0	71,2	80,5	72,3	76,32	5,63	7,4%	31,67	14,70
	Pavement Scanner	62,5	70,2	68,6	70,3	70,2	67,1	72,3	61,4	69,9	55,1	66,9	73,4	70,3	68,1	67,59	4,90	7,2%	23,99	18,30
Seção Teste 10	Tradicional	61,7	61,9	67,4	61,9	62,8	62,5	68,7	57,5	60,6	69,5					63,45	3,84	6,0%	14,72	12,00
	Visual no escritório	78,9	75,4	77,5	76,6	80,7	70,9	77,3	77,5	82,4	77,9	77,3	77,4	83,6	78,9	78,02	3,05	3,9%	9,28	12,70
	Pavement Scanner	71,6	71,3	76,2	73,9	72,9	68,5	71,4	64,2	69,8	71,3	72,5	74,2	75,1	66,6	71,39	3,28	4,6%	10,78	12,00
Seção Teste 11	Tradicional	91,0	89,9	99,1	98,0	92,1	89,9	99,1	100,0	91,0	99,1					94,92	4,43	4,7%	19,64	10,10
	Visual no escritório	98,0	96,6	98,0	93,3	98,0	96,6	98,0	93,3	98,0	96,6	98,0	93,3	98,0	96,6	96,59	1,89	2,0%	3,57	4,70
	Pavement Scanner	90,5	98,0	85,2	98,0	98,0	90,5	98,0	89,1	85,1	88,3	93,3	93,3	93,6	93,3	92,44	4,55	4,9%	20,72	12,90
Seção Teste 12	Tradicional	47,8	35,6	58,8	62,1	58,0	46,9	58,0	68,9	52,3	70,8					55,92	10,64	19,0%	113,15	35,20
	Visual no escritório	69,0	63,1	60,3	62,7	74,6	70,5	67,0	65,9	71,7	70,5	63,4	67,0	76,7	68,5	67,92	4,69	6,9%	21,97	16,40
	Pavement Scanner	47,4	50,2	53,7	43,9	50,3	54,1	50,3	51,8	46,9	42,8	51,7	43,6	50,7	43,5	48,64	3,92	8,1%	15,38	11,30

Tabela 4.1 Tabela de resultados de ICP por amostra, para cada seção.

Analisando a tabela acima, as seguintes observações podem ser feitas:

- o coeficiente de variação do levantamento realizado com o *Pavement Scanner* e o método visual no escritório são bem inferiores comparados com o levantamento tradicional com inspeção em campo;
- quanto pior a condição apresentada pelo pavimento, maior é a variação entre os resultados obtidos, diferença acentuada para o levantamento tradicional com inspeção em campo;
- a ST-12, com a pior condição de superfície dentre as seções levantadas, foi a que apresentou as maiores variações entre os resultados, enquanto que a ST-07, com uma ótima condição de superfície, foi a que apresentou as menores variações;
- o coeficiente de variação do levantamento tradicional variou de 2,4% a 19,0%;
- o coeficiente de variação do levantamento realizado visualmente no escritório variou de 1,0% a 7,4%;
- o coeficiente de variação do levantamento realizado com *Pavement Scanner* variou de 1,8% a 8,1%.

4.1.1. Variância entre os diferentes métodos

Uma análise inicial aponta o método tradicional como uma forma de análise com menor qualidade dos resultados obtidos, enquanto que os métodos de levantamento realizados com o *Pavement Scanner* e visualmente no escritório aparecem como formas de análise da condição de superfície dos pavimentos rígidos mais confiáveis e independentes da subjetividade inerente do tipo de levantamento.

Reunindo as variâncias dos 3 métodos de uma forma mais simplificada, obtêm-se:

Figura 4.1 Variância das amostras para os três diferentes métodos.

Observando as médias dos resultados obtidos, para os 3 métodos relacionados, tem-se:

		Seções											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Levantamentos	Tradicional	93,9	48,4	93,0	71,6	92,7	47,7	95,7	75,8	76,8	63,5	94,9	55,9
	Visual no escritório	92,1	64,2	89,0	75,6	93,8	67,3	92,2	80,9	76,3	78,0	96,6	67,9
	Pavement Scanner	90,4	53,2	85,4	77,9	93,0	65,8	92,7	78,6	67,6	71,4	92,4	48,6
Análises	Média ($\bar{x}$)	92,1	55,2	89,1	75,0	93,2	60,3	93,5	78,4	73,6	71,0	94,7	57,5
	Desvio Padrão (S_d)	1,8	8,1	3,8	3,2	0,6	10,9	1,9	2,6	5,2	7,3	2,1	9,7
	Coefficiente de Variação ($S_d / \bar{x}$)	2%	15%	4%	4%	1%	18%	2%	3%	7%	10%	2%	17%
	Variância (C_v^2)	3,1	65,7	14,4	10,1	0,4	119,2	3,7	6,5	26,7	53,2	4,4	94,8
	Diferença Δ extremos	3,5	15,8	7,6	6,3	1,2	19,7	3,6	5,1	9,2	14,6	4,2	19,3

Tabela 4.2 Tabela de resultados com as médias das amostras de ICP por seção.

Em busca de uma análise mais detalhada, as seguintes tabelas apresentam as seções pareadas em relação aos seus trechos da rodovia, possibilitando a comparação dos resultados obtidos para as diferentes faixas e métodos.

Comparação dos três métodos por seção e por amostra:

Sentido Crescente

Figura 4.2 Comparação dos três métodos por seção e amostra – sentido crescente.

Sentido Decrescente

Figura 4.3 Comparação dos três métodos por seção e amostra – sentido decrescente.

Legenda dos Defeitos:

1- Alçamento (B/M/A)	11 - Bombeamento
2 - Fissura de Canto (B/M/A)	12 - Quebras Localizadas (B/M/A)
3 - Placa dividida (B/M/A)	13 - Passagem de Nível (B/M/A)
4 - Escalonamento (B/M/A)	14 - Rendilhado e escamação
5 - Falha na Selagem (B/M/A)	15 - Fissura de Retração Plástica
6 - Desnível Pista/Acostamento (B/M/A)	16 - Esborcinam. ou Quebra de Canto (B/M/A)
7 - Fissuras Lineares (B/M/A)	17 - Esborcinamento de Juntas (B/M/A)
8 - Grandes Reparos (B/M/A)	18 - Placa Bailarina (B/M/A)
9 - Pequenos Reparos (B/M/A)	19 - Assentamento (B/M/A)
10 - Desgaste Superficial	20 - Buracos

Tabela 4.3 Tabela com lista de defeitos apontados nos pavimentos rígidos avaliados.

Analisando os gráficos, algumas observações podem ser feitas:

- Os resultados obtidos com o *Pavement Scanner* se mostram mais constantes entre as diferentes amostras, comparando-se com os outros dois métodos;
- A diferença entre os resultados obtidos entre as faixas internas e externas são marcantes, chegando muitas vezes a diferenças superiores a 20 pontos, para o mesmo trecho;
- Dentre os métodos, a avaliação tradicional aparece com os maiores desvios entre as amostras de uma mesma seção, apresentando valores aparentemente inconsistentes em comparação com valores da mesma amostra;
- Percebe-se uma tendência de classificação mais rigorosa do que dos outros métodos quando utilizando o método do *Pavement Scanner*, o que provavelmente ocorre devido a detecção mais adequada e automatizada das trincas em pavimentos rígidos;
- Um problema apontado no levantamento automatizado pelo *Pavement Scanner* é impossibilidade da detecção de placas bailarinas, que por apresentarem valores de dedução altos, impactam bastante na medida da condição do pavimento, para uma amostra. Deve-se atentar que a observação desse defeito pelo método tradicional também não é a das missões mais fáceis, sendo difícil sua classificação também desta forma;
- Em geral os resultados foram satisfatórios e apresentaram valores consistentes e próximos, aparecendo algumas variações em relação ao levantamento tradicional que possui oscilações até mesmo entre suas diferentes amostras.

4.1.2. Correlação método automatizado x tradicional

Buscando exprimir a correlação entre os resultados obtidos, foram feitas as análises a seguir, demonstrando que os resultados obtidos pelo *Pavement Scanner*

(automatizados) e os resultados obtidos pela forma tradicional são bastante relacionados.

Figura 4.4 Correlação entre o Levantamento Tradicional x *Pavement Scanner* (médias).

Figura 4.5 Correlação entre o Levantamento Tradicional x *Pavement Scanner* (pontos).

4.1.3. Repetibilidade dos defeitos

Buscando analisar as diferentes classificações dos defeitos obtidas para cada tipo de levantamento, foi feita uma análise da repetibilidade dos defeitos para cada placa, obtendo desta forma, para uma mesma seção-teste, a porcentagem que o defeito foi apontado de todas as amostras, para os 3 diferentes tipos de levantamento propostos.

Da mesma forma que realizado para a comparação entre os resultados obtidos entre os diferentes métodos, a análise da repetibilidade dos defeitos por placa está demonstrada a seguir:

Sentido Crescente

Figura 4.6 Análise da repetibilidade dos defeitos por placa – sentido crescente.

Sentido Decrescente

Figura 4.7 Análise da repetibilidade dos defeitos por placa – sentido decrescente.

Legendas dos defeitos:

1- Alçamento (B/M/A)	11 - Bombeamento
2 - Fissura de Canto (B/M/A)	12 - Quebras Localizadas (B/M/A)
3 - Placa dividida (B/M/A)	13 - Passagem de Nível (B/M/A)
4 - Escalonamento (B/M/A)	14 - Rendilhado e escamação
5 - Falha na Selagem (B/M/A)	15 - Fissura de Retração Plástica
6 - Desnível Pista/Acostamento (B/M/A)	16 - Esborcinam. ou Quebra de Canto (B/M/A)
7 - Fissuras Lineares (B/M/A)	17 - Esborcinamento de Juntas (B/M/A)
8 - Grandes Reparos (B/M/A)	18 - Placa Bailarina (B/M/A)
9 - Pequenos Reparos (B/M/A)	19 - Assentamento (B/M/A)
10 - Desgaste Superficial	20 - Buracos

Tabela 4.4 Tabela com a descrição dos defeitos nos pavimentos rígidos apontados nas análises realizadas.

Analisando os gráficos, algumas observações podem ser feitas:

- Fica evidente a forma mais rígida de avaliação do trincamento nas placas de concreto pelo método do *Pavement Scanner*, para uma mesma seção, as trincas observadas no método são em sua maioria definidas com uma severidade superior às observadas nos outros dois métodos;
- Os defeitos que apresentaram a maior repetibilidade são os também mais recorrentes, os defeitos relacionados a falhas na selagem de juntas (5B, 5M e 5A);
- O defeito relacionado a placa bailarina (número 18) apresentou problemas na repetibilidade devido a observação unicamente no levantamento de forma tradicional e, mesmo neste tipo de levantamento, à dificuldade de observação precisa do evento;
- Aparece como um levantamento mais consistente do que o levantamento tradicional o levantamento com o *Pavement Scanner*, pois a repetibilidade dos resultados apontados para um tipo de defeito apontado são maiores quando comparados.

Há necessidade de revisão e melhoramento do algoritmo de processamento de alguns defeitos no *Pavement Scanner* que já se encontra em andamento, devido a maior dificuldade de classificação imposta por este tipo de classificação (ICP), embora possa ser verificado que os resultados já apresentem uma boa correlação.

4.1.4. Análise estatística dos levantamentos – Reprodutividade e Repetibilidade (RR)

A análise da confiabilidade de um levantamento pode ser verificada a partir do estudo de parâmetros como a reprodutividade e repetibilidade destes resultados.

Uma importante característica que pode ser estudada em função dos resultados dos levantamentos de campo é a sua repetitividade que, segundo a norma ISSO-5725-2 (94), refere-se à variação entre medidas obtidas da seguinte forma:

1. Levantamentos devem ser realizados com o mesmo procedimento de medição, observador, instrumento (utilizado sob as mesmas condições) e local;
2. As repetições devem ser feitas no menor espaço de tempo possível.

Da mesma forma, a reprodutividade é definida pela variabilidade dada da seguinte forma:

1. Levantamentos devem ser realizados com o mesmo procedimento de medição e local;
2. Devem ser feitos por diferentes observadores e instrumentos (utilizados sob as mesmas condições);
3. As repetições devem ser feitas no menor espaço de tempo possível.

Utilizando este método para o estudo realizado, temos que a repetibilidade do levantamento é dada pela avaliação da variabilidade dos resultados para uma mesma seção-teste e para um mesmo operador, enquanto que a reprodutividade é dada para uma mesma seção-teste e diferentes operadores.

Em busca de adequação das amostras obtidas de acordo com critérios estatísticos, os valores foram agrupados e testes foram realizados, filtrando desta forma valores que podem ter apresentado algum tipo de erro em sua obtenção, o que levaria a uma contaminação dos valores das amostras. Os testes utilizados neste estudo foram os seguintes:

1. Teste de Grubbs

Remoção de valores extremos a partir de análise na confiabilidade desejada, os passos são os seguintes:

- Adoção da confiabilidade desejada – utilizado 95% neste estudo;

- Obtenção do valor crítico Z_c em tabela padrão cruzando o número de amostras e o valor permitido de erro ($1 - \text{confiabilidade}$);
- Organização dos valores da amostra em forma crescente;
- Cálculo da média das amostras;
- Cálculo do desvio padrão das amostras (s);
- Cálculo do valor teste para os valores extremos através da equação:

$$Z = \frac{|x_i - \bar{x}|}{s}$$

Equação 4.1 Cálculo do valor teste Z do teste de Grubbs

- Comparar com o valor Z_c obtido;
- Remoção dos valores se superiores a Z_c .

2. Distribuição Normal

- Cálculo da média das amostras;
- Cálculo do desvio padrão das amostras;
- Adoção da confiabilidade desejada – utilizado 95% neste estudo;
- Comparação dos valores das amostras em relação valores distantes por duas vezes o valor do desvio padrão em relação a média das amostras;
- Remoção dos valores se superiores/inferiores a estas diferenças.

3. Teste Estatístico

- Cálculo da mediana das amostras;
- Cálculo dos quartis 1 e 3 ($Q1$ e $Q3$) das amostras;
- Obtenção do valor $IQR = Q3 - Q1$ (Intervalo entre quartis);
- Verificação de valores $Q1 - 1,5 IQR$ e $Q3 + 1,5 IQR$;
- Remoção dos valores se superiores/inferiores a estas diferenças.

A partir dos resultados da etapa anterior, foram calculados os valores da repetibilidade e reprodutividade de acordo com a norma ISO 5725-2 (94). As equações são as seguintes:

1. Variância das Amostras (S_{dj}^2):

$$S_{dj}^2 = \frac{1}{p-1} \sum_{i=1}^p n_{ij} (\bar{x}_{ij} - \bar{\bar{x}}_j)^2$$

Equação 4.2 Cálculo da variância das amostras S_{dj}^2 .

Onde:

$\bar{x}_{ij}$ = média dos resultados para o operador i, na seção-teste j,

$\bar{\bar{x}}_j$ = média geral dos resultados para a seção-teste j,

p = número de operadores.

2. Variância da Repetitividade (S_{rj}^2):

$$S_{rj}^2 = \frac{\sum_{i=1}^p (n_{ij}-1) S_{ij}^2}{\sum_{i=1}^p (n_{ij}-1)}$$

Equação 4.3 Cálculo da variância da repetitividade S_{rj}^2 .

Onde:

S_{rj}^2 = variância da repetitividade,

S_{ij} = desvio padrão para o operador i, na seção-teste j,

n_{ij} = número de resultados para o operador i, na seção-teste j.

3. Valor limite da repetitividade (r)

$$r = 2,8 \times S_r$$

Equação 4.4 Cálculo do valor limite de repetitividade r.

Onde:

r = valor limite da repetitividade,

S_r = desvio padrão da repetitividade.

O valor 2,8 vem do produto entre $t_{(n-1,1-\alpha)}$ e $\sqrt{2}$ que depende do valor de confiabilidade exigida e é obtido em tabela (igual a 2 para confiabilidade de 95%).

A norma ISO 5725-2 (94) estipula o valor limite de aceitação mínima de repetitividade de 95%. No próximo capítulo serão mostrados os valores obtidos para os diferentes métodos e diferentes operadores no estudo.

4. Valor de repetitividade do ensaio (r'_e)

$$r'_e = \left(1 - \frac{E}{C}\right) \cdot 100$$

Equação 4.5 Cálculo do valor da repetitividade r'_e .

Onde:

r'_e = valor de repetitividade do ensaio;

E = número de diferenças de leituras maiores que r;

C = número de diferenças totais de leitura, ou seja, combinação de n leituras 2 a 2.

5. Variância entre laboratórios – diferentes observadores (S_{Lj}^2):

$$S_{Lj}^2 = \frac{S_{dj}^2 - S_{rj}^2}{n_{ij}}$$

Equação 4.6 Cálculo da variância entre diferentes avaliadores.

Onde:

S_{dj}^2 = variância das amostras,

S_{Lj}^2 = variância entre laboratórios (diferentes observadores),

n_{ij} = número de resultados para o operador i, na seção-teste j.

6. Variância da Reprodutividade (S_{Rj}^2):

$$S_{Rj}^2 = S_{rj}^2 + S_{Lj}^2$$

Equação 4.7 Cálculo da variância da reprodutividade.

Onde:

S_{rj}^2 = variância da repetitividade,

S_{Lj}^2 = variância entre laboratórios (diferentes observadores).

4.1.5. Resultados das análises estatísticas

A partir da utilização das equações do capítulo anterior e da coleta dos dados feita pela maneira descrita abaixo, os resultados são demonstrados a seguir para cada tipo de levantamento.

Método	Amostras	Operadores
Tradicional	10	2
Visual no escritório	14	2
Pavement Scanner	14	2

Tabela 4.5 Quantidade de amostras e operadores para cada tipo de levantamento.

Método automatizado utilizando o equipamento *Pavement Scanner*

Seção -Teste	Operador	n° amostras	Média $\bar{x}$	Média Geral $\bar{\bar{x}}$	Desv. Pad (S_r)	S_r^2	S_d^2	S_L^2	S_R^2	S_r	S_R
Seção	A	7	92,23	90,39	1,63	2,66	23,59	2,99	5,65	1,63	2,38
Teste 01	B	7	88,56		5,34	28,55		0,00	28,55	5,34	5,34
Seção	A	7	54,37	53,16	2,36	5,59	10,32	0,68	6,27	2,36	2,50
Teste 02	B	7	51,94		3,76	14,17		0,00	14,17	3,76	3,76
Seção	A	7	87,21	85,38	2,23	4,97	23,59	2,66	7,63	2,23	2,76
Teste 03	B	7	83,54		4,03	16,26		1,05	17,31	4,03	4,16
Seção	A	7	79,70	77,91	3,02	9,13	22,50	1,91	11,04	3,02	3,32
Teste 04	B	7	76,11		3,72	13,81		1,24	15,05	3,72	3,88
Seção	A	7	94,20	92,96	1,33	1,77	10,81	1,29	3,06	1,33	1,75
Teste 05	B	7	91,71		2,68	7,18		0,52	7,70	2,68	2,77
Seção	A	7	65,91	65,75	2,70	7,27	0,19	0,00	7,27	2,70	2,70
Teste 06	B	7	65,59		2,78	7,72		0,00	7,72	2,78	2,78
Seção	A	7	91,90	92,70	1,24	1,53	4,48	0,42	1,95	1,24	1,40
Teste 07	B	7	93,50		1,74	3,01		0,21	3,22	1,74	1,80
Seção	A	7	78,70	78,56	2,19	4,81	0,14	0,00	4,81	2,19	2,19
Teste 08	B	7	78,41		3,14	9,88		0,00	9,88	3,14	3,14
Seção	A	7	68,74	67,59	3,19	10,17	9,26	0,00	10,17	3,19	3,19
Teste 09	B	7	66,44		6,22	38,71		0,00	38,71	6,22	6,22
Seção	A	7	72,26	71,39	2,41	5,81	5,23	0,00	5,81	2,41	2,41
Teste 10	B	7	70,53		3,98	15,81		0,00	15,81	3,98	3,98
Seção	A	7	94,03	92,44	5,26	27,66	17,60	0,00	27,66	5,26	5,26
Teste 11	B	7	90,86		3,37	11,37		0,89	12,26	3,37	3,50
Seção	A	7	49,99	48,64	3,53	12,45	12,76	0,04	12,49	3,53	3,53
Teste 12	B	7	47,29		4,08	16,62		0,00	16,62	4,08	4,08

Tabela 4.6 Índices da repetitividade e reprodutividade - *Pavement Scanner*.

Desvio Padrão da Repetitividade: S_r 1,26

Desvio Padrão da Reprodutividade: S_R 1,18

Seção -Teste	Operador	S_r	r	delta máximo	E	C	r_e'	Valor da Repetitividade
Seção Teste 01	A	1,63	4,57	3,80	0	21	100%	> 95%
	B	5,34	14,96	14,70	0	21	100%	
Seção Teste 02	A	2,36	6,62	7,70	1	21	95%	> 95%
	B	3,76	10,54	11,40	1	21	95%	
Seção Teste 03	A	2,23	6,24	6,60	2	21	90%	< 95%
	B	4,03	11,29	11,50	2	21	90%	
Seção Teste 04	A	3,02	8,46	7,90	0	21	100%	> 95%
	B	3,72	10,40	8,60	0	21	100%	
Seção Teste 05	A	1,33	3,73	2,80	0	21	100%	> 95%
	B	2,68	7,50	7,30	0	21	100%	
Seção Teste 06	A	2,70	7,55	7,50	0	21	100%	> 95%
	B	2,78	7,78	6,90	0	21	100%	
Seção Teste 07	A	1,24	3,46	3,50	2	21	90%	< 95%
	B	1,74	4,86	4,00	0	21	100%	
Seção Teste 08	A	2,19	6,14	5,60	0	21	100%	> 95%
	B	3,14	8,80	9,50	1	21	95%	
Seção Teste 09	A	3,19	8,93	9,80	1	21	95%	> 95%
	B	6,22	17,42	18,30	1	21	95%	
Seção Teste 10	A	2,41	6,75	7,70	1	21	95%	> 95%
	B	3,98	11,13	10,90	0	21	100%	
Seção Teste 11	A	5,26	14,72	12,80	0	21	100%	> 95%
	B	3,37	9,44	8,50	0	21	100%	
Seção Teste 12	A	3,53	9,88	10,20	1	21	95%	> 95%
	B	4,08	11,41	9,00	0	21	100%	

Tabela 4.7 Valores de repetitividade - *Pavement Scanner*.

Método Tradicional com levantamento em campo

Seção -Teste	Operador	n° amostras	Média $\bar{x}$	Média Geral $\bar{\bar{x}}$	Desv. Pad (S_r)	S_r^2	S_d^2	S_L^2	S_R^2	S_r	S_R
Seção	A	5	93,74	94,02	5,88	34,62	0,39	0,00	34,62	5,88	5,88
Teste 01	B	5	94,30		7,11	50,59		0,00	50,59	7,11	7,11
Seção	A	5	44,87	50,70	8,74	76,34	170,00	18,73	95,07	8,74	9,75
Teste 02	B	5	56,53		5,10	26,01		28,80	54,81	5,10	7,40
Seção	A	5	92,29	93,43	4,24	17,99	6,50	0,00	17,99	4,24	4,24
Teste 03	B	5	94,57		4,40	19,40		0,00	19,40	4,40	4,40
Seção	A	5	71,10	71,98	5,17	26,69	3,90	0,00	26,69	5,17	5,17
Teste 04	B	5	72,87		10,96	120,14		0,00	120,14	10,96	10,96
Seção	A	5	91,47	93,49	4,31	18,54	20,29	0,35	18,89	4,31	4,35
Teste 05	B	5	95,50		0,87	0,75		3,91	4,66	0,87	2,16
Seção	A	5	47,36	47,91	6,06	36,72	1,54	0,00	36,72	6,06	6,06
Teste 06	B	5	48,47		3,95	15,62		0,00	15,62	3,95	3,95
Seção	A	5	95,53	95,88	2,49	6,19	0,62	0,00	6,19	2,49	2,49
Teste 07	B	5	96,23		1,98	3,90		0,00	3,90	1,98	1,98
Seção	A	5	74,61	76,64	6,00	36,01	20,53	0,00	36,01	6,00	6,00
Teste 08	B	5	78,67		6,52	42,52		0,00	42,52	6,52	6,52
Seção	A	5	76,40	76,98	12,59	158,43	1,70	0,00	158,43	12,59	12,59
Teste 09	B	5	77,57		14,37	206,45		0,00	206,45	14,37	14,37
Seção	A	5	63,84	63,19	2,92	8,55	2,14	0,00	8,55	2,92	2,92
Teste 10	B	5	62,53		6,23	38,80		0,00	38,80	6,23	6,23
Seção	A	5	94,16	95,43	4,36	19,01	8,08	0,00	19,01	4,36	4,36
Teste 11	B	5	96,70		4,96	24,57		0,00	24,57	4,96	4,96
Seção	A	5	52,46	58,23	9,41	88,57	166,55	15,60	104,16	9,41	10,21
Teste 12	B	5	64,00		10,18	103,57		12,60	116,17	10,18	10,78

Tabela 4.8 Índices da repetitividade e reprodutividade – Método Tradicional.

Desvio Padrão da Repetitividade: S_r 3,35

Desvio Padrão da Reprodutividade: S_R 3,37

Seção -Teste	Operador	S_r	r	delta máximo	E	C	r_e'	Valor da Repetitividade
Seção Teste 01	A	5,88	16,47	13,90	0	10	100%	> 95%
	B	7,11	19,92	12,70	0	10	100%	
Seção Teste 02	A	8,74	24,46	24,60	2	10	80%	< 95%
	B	5,10	14,28	10,20	0	10	100%	
Seção Teste 03	A	4,24	11,88	9,70	0	10	100%	> 95%
	B	4,40	12,33	8,40	0	10	100%	
Seção Teste 04	A	5,17	14,47	12,30	0	10	100%	> 95%
	B	10,96	30,69	21,10	0	10	100%	
Seção Teste 05	A	4,31	12,05	9,30	0	10	100%	> 95%
	B	0,87	2,42	1,50	0	10	100%	
Seção Teste 06	A	6,06	16,97	20,20	1	10	90%	< 95%
	B	3,95	11,07	7,70	0	10	100%	
Seção Teste 07	A	2,49	6,97	7,00	2	10	80%	< 95%
	B	1,98	5,53	3,90	0	10	100%	
Seção Teste 08	A	6,00	16,80	13,70	0	10	100%	> 95%
	B	6,52	18,26	12,40	0	10	100%	
Seção Teste 09	A	12,59	35,24	27,30	0	10	100%	> 95%
	B	14,37	40,23	26,00	0	10	100%	
Seção Teste 10	A	2,92	8,19	7,00	0	10	100%	> 95%
	B	6,23	17,44	12,00	0	10	100%	
Seção Teste 11	A	4,36	12,21	9,20	0	10	100%	> 95%
	B	4,96	13,88	9,00	0	10	100%	
Seção Teste 12	A	9,41	26,35	26,50	1	10	90%	< 95%
	B	10,18	28,50	18,50	0	10	100%	

Tabela 4.9 Valores de repetitividade – Método Tradicional.

Método Visual no Escritório

Seção -Teste	Operador	n° amostras	Média x	Média Geral $\bar{x}$	Desv. Pad (S _e)	S _e ²	S _d ²	S _L ²	S _R ²	S _r	S _R
Seção	A	7	92,19	92,10	0,90	0,81	0,05	0,00	0,81	0,90	0,90
Teste 01	B	7	92,01		1,06	1,13		0,00	1,13	1,06	1,06
Seção	A	7	62,29	64,17	5,20	27,03	24,89	0,00	27,03	5,20	5,20
Teste 02	B	7	66,06		2,80	7,81		2,44	10,25	2,80	3,20
Seção	A	7	88,57	88,99	1,38	1,91	1,20	0,00	1,91	1,38	1,38
Teste 03	B	7	89,40		1,99	3,94		0,00	3,94	1,99	1,99
Seção	A	7	74,76	75,61	3,06	9,34	5,06	0,00	9,34	3,06	3,06
Teste 04	B	7	76,46		3,27	10,70		0,00	10,70	3,27	3,27
Seção	A	7	93,79	93,84	1,94	3,77	0,02	0,00	3,77	1,94	1,94
Teste 05	B	7	93,90		2,05	4,19		0,00	4,19	2,05	2,05
Seção	A	7	66,29	67,34	2,81	7,89	7,82	0,00	7,89	2,81	2,81
Teste 06	B	7	68,40		1,79	3,19		0,66	3,85	1,79	1,96
Seção	A	7	92,41	92,16	2,23	4,99	0,44	0,00	4,99	2,23	2,23
Teste 07	B	7	91,91		1,81	3,26		0,00	3,26	1,81	1,81
Seção	A	7	81,06	80,94	1,39	1,94	0,10	0,00	1,94	1,39	1,39
Teste 08	B	7	80,81		1,56	2,43		0,00	2,43	1,56	1,56
Seção	A	7	76,47	76,32	5,68	32,32	0,16	0,00	32,32	5,68	5,68
Teste 09	B	7	76,17		6,02	36,25		0,00	36,25	6,02	6,02
Seção	A	7	76,76	78,02	3,09	9,53	11,19	0,24	9,76	3,09	3,12
Teste 10	B	7	79,29		2,62	6,84		0,62	7,47	2,62	2,73
Seção	A	7	96,93	96,59	1,73	3,00	0,79	0,00	3,00	1,73	1,73
Teste 11	B	7	96,26		2,11	4,47		0,00	4,47	2,11	2,11
Seção	A	7	66,74	67,92	5,04	25,36	9,72	0,00	25,36	5,04	5,04
Teste 12	B	7	69,10		4,36	19,00		0,00	19,00	4,36	4,36

Tabela 4.10 Índices da repetitividade e reprodutividade – Método Visual no Escritório.

Desvio Padrão da Repetitividade: S_r 1,48

Desvio Padrão da Reprodutividade: S_R 1,48

Seção -Teste	Operador	S_r	r	delta máximo	E	C	r_e'	Valor da Repetitividade
Seção Teste 01	A	0,90	2,52	2,60	1	21	95%	> 95%
	B	1,06	2,98	2,60	0	21	100%	
Seção Teste 02	A	5,20	14,56	14,70	1	21	95%	> 95%
	B	2,80	7,83	8,20	1	21	95%	
Seção Teste 03	A	1,38	3,87	4,20	5	21	76%	< 95%
	B	1,99	5,56	6,70	6	21	71%	
Seção Teste 04	A	3,06	8,56	7,80	0	21	100%	> 95%
	B	3,27	9,16	7,70	0	21	100%	
Seção Teste 05	A	1,94	5,44	4,70	0	21	100%	> 95%
	B	2,05	5,73	4,70	0	21	100%	
Seção Teste 06	A	2,81	7,87	7,20	0	21	100%	> 95%
	B	1,79	5,00	4,80	0	21	100%	
Seção Teste 07	A	2,23	6,26	5,40	0	21	100%	> 95%
	B	1,81	5,05	5,40	2	21	90%	
Seção Teste 08	A	1,39	3,90	4,30	1	21	95%	> 95%
	B	1,56	4,37	3,80	0	21	100%	
Seção Teste 09	A	5,68	15,92	14,70	0	21	100%	> 95%
	B	6,02	16,86	13,80	0	21	100%	
Seção Teste 10	A	3,09	8,64	9,80	1	21	95%	> 95%
	B	2,62	7,33	6,30	0	21	100%	
Seção Teste 11	A	1,73	4,85	4,70	0	21	100%	> 95%
	B	2,11	5,92	4,70	0	21	100%	
Seção Teste 12	A	5,04	14,10	14,30	1	21	95%	> 95%
	B	4,36	12,20	13,30	1	21	95%	

Tabela 4.11 Valores de repetitividade – Método Visual no Escritório.

Pôde-se verificar através dos trabalhos desenvolvidos a superioridade da qualidade dos resultados obtidos pelo método que utiliza o equipamento *Pavement Scanner*, em comparação com os outros dois métodos discutidos neste estudo. No entanto, ainda há espaço para o desenvolvimento de um algoritmo que retorne valores mais adequados para alguns tipos de defeitos que não conseguiram ser ainda bem representados nesta versão, levando a obtenção de valores de ICP imprecisos em algumas amostras.

4.2. Avaliação da macrotextura

O cálculo da macrotextura do pavimento para os 2 diferentes métodos de avaliação apresentados teve como resultados os valores expressos na tabela a seguir:

Seção-teste	Nome	Posição (km/est)	Faixa	HS (mm)	Condição (HS)	MPD (mm)	Condição (MPD)	Diferença (mm)
Seção-teste 1	d1	53,620	3	0,32	Fina	0,55	Média	0,23
Seção-teste 2	d2	52,200	3	0,28	Fina	0,46	Média	0,18
Seção-teste 3	d3	52,165	3	0,26	Fina	0,49	Média	0,23
Seção-teste 4	d4	52,165	1	0,55	Média	0,64	Média	0,09
Seção-teste 5	d5	52,200	1	0,62	Média	0,71	Média	0,09
Seção-teste 6	d6	51,500	3	0,64	Média	0,73	Média	0,09
Seção-teste 7	d7	51,500	1	0,72	Média	0,75	Média	0,03

Tabela 4.12 Tabela de resultados de Macrotextura para cada seção.

Figura 4.8 Comparação entre valores obtidos pelos dois métodos.

Analisando a tabela 4.12 e o gráfico 4.8 acima, as seguintes observações podem ser feitas:

- os valores obtidos pelos dois métodos foram bastante semelhantes, sendo que para as seções ST 04, ST 05, ST 06 e ST 07 os valores tiveram as menores diferenças;
- os valores observados nas seções ST 01, ST 02 e ST 03 foram os que mais se distanciaram em relação aos demais;
- as condições observadas pelo método tradicional levaram a classificações em um maior intervalo do que o observado pelo método mecanizado;
- percebe-se uma dificuldade do método mecanizado em classificar os trechos com valores de macrotextura muito baixos, demonstrando uma leve tendência de classificação centralizada dos valores;
- a classificação realizada pelo método mecanizado apresenta valores de macrotextura superiores ao método tradicional, para todo o intervalo de classificação, acentuando-se para valores em que a macrotextura observado pelo método tradicional apresenta valores mais baixos.

4.2.1. Correlação método automatizado x tradicional

Buscando exprimir a correlação entre os resultados obtidos, foram feitas as análises a seguir, demonstrando que os resultados obtidos pelo *Pavement Scanner* (automatizados) e os resultados obtidos pela forma tradicional são bastante relacionados.

Figura 4.9 Correlação entre o Levantamento Tradicional (HS) x *Pavement Scanner* (MPD).

Pode-se observar que a relação entre os valores obtidos pelos dois diferentes métodos é muito alta (R^2 de 0,96), o que indica a possibilidade de obtenção de índices HS através de uma equação que correlacione os valores obtidos pelo levantamento mecanizado em MPD. A equação que correlaciona e possibilita a obtenção de HS através do MPD, de acordo com este estudo, é a seguinte:

$$HS = 1,58 \text{ MPD} - 0,4943$$

Equação 4.8 Equação para obtenção de HS por meio de MPD.

A seguir temos para cada seção-teste a comparação entre os valores de HS obtidos de acordo com o método de obtenção utilizado: pelo método tradicional com levantamento em campo, com a utilização do *Pavement Scanner* e com a utilização da equação 4.8 para obtenção de HS por meio de MPD obtida no estudo.

Seção-teste	HS (mm)	MPD (mm)	HS equação (mm)	Diferença HS (mm)
Seção-teste 1	0,32	0,55	0,38	0,05
Seção-teste 2	0,28	0,46	0,23	-0,05
Seção-teste 3	0,26	0,49	0,28	0,02
Seção-teste 4	0,55	0,64	0,52	-0,03
Seção-teste 5	0,62	0,71	0,63	0,02
Seção-teste 6	0,64	0,73	0,67	0,03
Seção-teste 7	0,72	0,75	0,70	-0,02

Tabela 4.13 Tabela de resultados de Macrotextura para cada seção, para cada método.

Figura 4.10 Resultados de Macrotextura para cada seção, para cada método.

5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA NOVAS PESQUISAS

Este capítulo apresenta as conclusões relevantes sobre os estudos desenvolvidos na presente dissertação e recomendações para trabalhos futuros na mesma linha de pesquisa, buscando o aprimoramento e complementação dos assuntos abordados.

A utilização do equipamento *Pavement Scanner* mostrou-se uma alternativa adequada para a realização de levantamentos de campo, de acordo com os resultados obtidos neste estudo, além de ter características que levam a uma maior celeridade na obtenção das informações e maior segurança tanto para os usuários da via quanto para os responsáveis pelo levantamento em campo.

A realização da varredura de dados em velocidades compatíveis com as rodovias estudadas através do equipamento *Pavement Scanner* demonstrou-se uma alternativa de avaliação mais fácil e segura, em comparação aos métodos tradicionais realizados através de inspeções em campo. Permitindo que sejam coletadas grandes extensões de rodovias, em curto intervalo de tempo, com segurança e com qualidade dos dados obtidos.

5.1. Conclusões

5.1.1. Conclusões relacionadas ao levantamento automatizado para obtenção do ICP em Pavimentos de Concreto de Cimento Portland.

A variação observada no levantamento realizado com o *Pavement Scanner* mostrou-se inferior ao tradicional com inspeção em campo. O método visual no escritório também demonstrou uma menor variação em comparação ao método tradicional com inspeção em campo.

Devido à complexidade apresentada pelo método do ICP, em que 20 diferentes tipos de defeitos podem ser apontados, com diferentes severidades, a automatização do processo de identificação dos defeitos é bastante complexa e necessita muito cuidado com os limites dos parâmetros adotados. O processamento final obtido foi originado a partir de diversas iterações, buscando a melhor adaptação dos dados levantados às situações reais em campo e, mesmo assim, ainda há a necessidade de maiores estudos em relação a este tópico.

Segmentos que possuíam uma maior quantidade de defeitos, um menor ICP, apresentaram uma maior variação dos resultados entre os 3 diferentes métodos de levantamento estudados. Isto se deve justamente pelo fato apontado logo acima, de que o método ICP é bastante complexo e pode levar a diferentes resultados, dependendo da forma como o avaliador observa o segmento. O caso contrário também foi observado e, para condições de superfície muito boas, os defeitos apontados nos segmentos foram semelhantes para os 3 métodos.

Os coeficientes de variação obtidos para cada tipo de levantamento realizado foram os seguintes:

- do método tradicional variou de 2,4% a 19,0%;
- do levantamento realizado visualmente no escritório variou de 1,0% a 7,4%;
- com *Pavement Scanner* variou de 1,8% a 8,1%.

A partir dos dados obtidos permite-se afirmar que os métodos de levantamento realizados com o *Pavement Scanner* e visualmente no escritório aparecem como alternativas de análise da condição de superfície dos pavimentos rígidos mais confiáveis e independentes da subjetividade inerente do tipo de levantamento, quando comparados com as inspeções em campo.

Os resultados obtidos com o *Pavement Scanner* se mostram mais constantes entre as diferentes amostras (apresentam uma maior repetividade), comparando-se com os outros dois métodos. Defeitos apontados em uma amostra, por um operador, acabam aparecendo mais frequentemente do que nas outras formas de levantamento.

Os diferentes níveis de degradação observados entre as faixas internas e externas dos pavimentos avaliados neste estudo ficaram evidentes, demonstrando que, uma maior solicitação de tráfego pesado nas placas rígidas de concreto de cimento Portland, leva a uma maior deterioração em comparação as placas menos solicitadas. No estudo, puderam ser observadas diferenças superiores a 20 pontos na classificação ICP entre os segmentos referentes às faixas internas e às faixas externas, sendo que as últimas apresentaram os valores inferiores.

O método tradicional com inspeções em campo apresentou dentre os levantamentos as maiores diferenças entre a classificação de uma mesma seção, demonstrando a grande importância que o operador tem neste tipo de levantamento, comprovando uma maior subjetividade em relação aos outros métodos.

Deve-se atentar a tendência de classificação inferior aos outros métodos quando utiliza-se o método do *Pavement Scanner*, o que provavelmente ocorre devido a detecção mais adequada e automatizada das trincas em pavimentos rígidos, sendo uma forma mais fidedigna da classificação dos defeitos, apontando, para uma mesma seção, trincas com severidades superiores às observadas nos outros dois métodos.

Um problema apontado no levantamento do ICP de um segmento é o defeito relacionado à placa bailarina (número 18) que têm como característica a difícil observação, realizada apenas no método tradicional com inspeção em campo, sendo difícil sua classificação também desta forma. Os valores de dedução muito altos, com grande impacto na medida da condição do pavimento para uma amostra, acabam tornando este problema ainda mais crítico, já que apenas o método com inspeção em campo consegue detectar este defeito e de forma imprecisa.

O processamento realizado no método *Pavement Scanner* obteve as maiores repetitividades para os defeitos relacionados a falhas de selagem nas juntas e as fissuras lineares, sendo que aqueles relacionados aos cantos das placas de concreto foram os mais difíceis de ser classificados.

Foi verificado através dos resultados a superioridade da qualidade dos resultados obtidos pelo método que utiliza o equipamento *Pavement Scanner*, em comparação com os outros dois métodos discutidos neste estudo. No entanto, ainda há a necessidade do aprimoramento do algoritmo de processamento retornando valores mais adequados para alguns tipos de defeitos que não conseguiram ser muito bem representados nesta versão, levando a obtenção de ICP inconsistentes em algumas amostras.

5.1.2. Conclusões relacionadas ao levantamento automatizado para obtenção de parâmetros de macrotextura em pavimentos.

Observando os dados obtidos com os dois diferentes tipos de levantamentos feitos neste estudo, pôde-se perceber que os valores de macrotextura foram semelhantes, chegando a resultados praticamente iguais para algumas amostras.

A utilização do método mecanizado por meio do equipamento *Pavement Scanner* levou a valores mais centralizados de macrotextura, apontando uma dificuldade na classificação de valores extremos. As seções do estudo que apresentaram os menores valores de macrotextura pelo método tradicional da mancha de areia (HS) foram as que mais se distanciaram dos resultados obtidos pelo *Pavement Scanner* (MPD).

A classificação realizada pelo método mecanizado apresenta valores de macrotextura superiores aos obtidos pelo método tradicional, para todo o intervalo de classificação, acentuando-se para valores em que a macrotextura observada pelo método tradicional apresenta valores mais baixos. Embora os resultados obtidos sejam muito próximos, a realização de um maior número de levantamentos se faz necessária para aprimoramento destes resultados.

Com os valores obtidos no estudo foi obtida uma alta correlação ($R^2 = 0,96$) entre os valores dos dois diferentes métodos e uma equação que possibilita a obtenção de altura de areia HS por meio do parâmetro MPD. Realizando a comparação entre os

valores obtidos por esta equação o desvio foi mínimo, inferior a 0,05 mm de altura de areia HS.

A forma de avaliação atual no Brasil é artesanal e muito fácil de ter um resultado manipulado pelo interesse do avaliador. Acredita-se que com a utilização de um método mecanizado ficará mais fácil a obtenção de valores mais fidedignos e, modificando a análise pontual do método atual para uma análise contínua do método mecanizado, um desenvolvimento nos conceitos de texturas de pavimentos nacionais, além de um efetivo controle da segurança das rodovias.

O equipamento *Pavement Scanner* certamente irá substituir em um futuro próximo a realização de ensaios tradicionais por inspeção em campo aqui no Brasil, o que já é visto de forma semelhante em países europeus e na América do Norte.

5.2. Sugestões para Novas Pesquisas

Levando em conta os resultados obtidos em que a viabilidade de utilização do equipamento *Pavement Scanner* para utilização na avaliação funcional de Pavimentos Rígidos foi comprovada, faz-se as seguintes recomendações:

- Estudar um número maior de amostras de seções-teste na faixa de ICP de regular a ruim (refinamento da parametrização);
- Avaliar a aplicabilidade do *Pavement Scanner* na análise de macrotextura para pavimentos flexíveis e para diferentes tipos de materiais e texturas;
- Estudar um número maior de amostras de seções-teste na faixa de macrotextura de fina a muito fina;
- Analisar a influência das juntas em pavimentos de concreto no IRI e nos degraus entre placas;
- Definição de novos índices que possam ser interpretados e monitorados com os dados levantados com o *Pavement Scanner*;
- Aperfeiçoar os módulos de detecção do software na identificação de juntas e trincamentos na região dos cantos das placas e eventualmente no degrau pista/acostamento.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AASHTO - AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. Interim Guide for the Design of Rigid Pavement Structures. AASHTO Committee on Design, April 1962.

AASHTO - AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. Guide for Design of Pavement Structures. Washington D.C., 1986.

AASHTO - AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. Guide for Design Management Systems. Washington D.C., 1990.

AASHTO - AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. Determining Rut Depth in Pavements (R 48-10) specifications and the LTPP Distress Identification Manual, 2010a.

AASHTO - AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. Determining Pavement Deformation Parameters and Cross Slope from Collected Transverse Profiles. PP 69-10, 2010b.

ABE, H., A; TAMAI, J. J; WAMBOLD J. Measurement of Pavement Macrotexture with Circular Texture Meter, In Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1764, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 2002.

ABPv – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PAVIMENTAÇÃO. Informativo técnico sobre avaliação da resistência à derrapagem através de aparelhagem portátil. Boletim técnico, Rio de Janeiro, n. 18, 1999.

ARTESP – AGÊNCIA DE TRANSPORTE DO ESTADO DE SÃO PAULO. Serviços correspondentes as funções de Conservação. Anexo 06 – Projeto Tamoios, São Paulo, 2014.

ASTM – AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS. ASTM E 965 – 15: Standard Test Method for Measuring Pavement Macrotexture Depth Using a Volumetric Technique. USA, 2015.

ASTM – AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS. ASTM E 2157 - 15: Standard Test Method for Measuring Pavement Macrotexture Properties Using the Circular Track Meter. USA, 2015.

ASTM – AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS. ASTM E 2380 – 15: Standard Test Method for Measuring Pavement Texture Drainage Using an Outflow Meter. USA, 2015.

ASTM. AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS. Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys. ASTM D6433-03. American Society of Testing and Materials, West Conshohocken, PA, 2003.

ASTM – AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS ASTM E1703/E1703M-10. Standard Test Method for Measuring Rut-Depth of Pavement Surfaces Using a Straightedge. ASTM Standards, 2010.

ASTM – AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS ASTM E1845 - 15. Standard Practice for Calculating Pavement Macrotexture Mean Profile Depth. ASTM Standards, 2015.

APS, M.; BALBO, J. T. SEVERI, A. A. Avaliação Superficial de Pavimentos Asfálticos em Vias Urbanas Utilizando o Método do PCI. In: 31ª Reunião Anual de Pavimentação, São Paulo, 1998.

APS, M. Classificação da aderência pneu-pavimento pelo índice combinado IFI – International Friction Index para revestimentos asfálticos. Tese de Doutorado. Programa de Doutorado em Engenharia de Transportes. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, SP, 2006.

BALBO, J.T. Pavimentos asfálticos: patologia e manutenção. São Paulo: Plêiade, 1997.

BALBO, J. T. Pavimentos asfálticos materiais, projeto e restauração. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 558 p.

BALBO J.T. e BECKER V.E.G. Análise Comparativa Entre os Valores de Dedução para o Cálculo do Índice de Condição de Pavimentos de Concreto Empregados Pelos Critérios do DNIT e do USACE - ABPv- Associação Brasileira de Pavimentação. Revista Pavimentação nº 24 - Brasil, 2012.

BARELLA, R. M. Contribuição para a Avaliação da Irregularidade Longitudinal de Pavimentos com Perfilômetros Inerciais. Tese de Doutorado, USP, São Paulo, 2008.

BENNETT, C. R. Evaluation of high speed transverse profile logger. In: 4th International Conference on Managing Pavements, New Zealand 1998.

BENNETT, C. R.; PATERSON, W. D. O. A guide to calibration and adaptation (Highway Development and Management - HDM-4). Birmingham, United Kingdom. Highway Development and Management Series, Version 1.0, v.5, 2000. 229p.

BERNUCCI, L.B.; MOTTA, L.M.G.; CERATTI, J.A.P.; SOARES, J.B. Pavimentação Asfáltica - Formação Básica para Engenheiros. 1ª Ed. - Rio de Janeiro: Petrobrás ABEDA, 2008.

BURTON, M. C. Assessment of Automated Technologies in Texas for Pavement Distress Identification, Texture, and Cross Slope Measurement, The University of Texas, Austin, 2014

Características do *Pavement Scanner* Dynatest Engenharia Ltda., disponível em <<http://www.dynatest.com.br/produto.asp?produtoAtivo=27>>, acesso em 1 de março de 2016.

CHANG K, CHANG J, LIU J, Detection of pavement distresses using 3D laser scanning technology, ASCE International Conference on Computing in Civil Engineering, Cancun, 2005.

CHODOUNSKY, M. A.; VIECILI, F. A. Pisos industriais de concreto. Aspectos teóricos e construtivos. 1. Ed. São Paulo: Reggenza Editorial, 2007. 373 p.

CNT. Confederação Nacional dos Transportes. 19ª Edição. Brasília. Pesquisa CNT de rodovias 2015: relatório gerencial. – Brasília CNT, SEST, SENAT, 2015.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - Manual de Reabilitação de Pavimentos Asfálticos. Rio de Janeiro, 1998.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES- DNIT 008/2003 - PRO: Levantamento visual contínuo para avaliação da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos. Norma Rodoviária, Brasil, 2003.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM (São Paulo) - IP-DE-P00/003: Avaliação Funcional e Estrutural de Pavimento. São Paulo, 2006.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM (São Paulo) – Mapas Rodoviários do Estado de São Paulo. São Paulo, 2017.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos. Rio de Janeiro, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. Manual de Recuperação de pavimentos Rígidos. Rio de Janeiro, 2010.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. Manual de Gerência de Pavimentos. Rio de Janeiro, 2011.

DNIT 060 / 2004 – PRO: Pavimento rígido: inspeção visual – procedimento. Rio de Janeiro, 2004. 22 p.

DNIT 061 / 2004 – TER: Pavimento rígido: defeitos - terminologia. Rio de Janeiro, 2004. 13 p.

DNIT 062 / 2004 – PRO: Pavimento rígido: avaliação objetiva - procedimento. Rio de Janeiro, 2004. 29 p.

DNIT 063 / 2004 – PRO: Pavimento rígido: avaliação subjetiva - procedimento. Rio de Janeiro, 2004. 15 p.

DOMINGUES, F.A.A. MID - Manual para Identificação de Defeitos de Revestimentos Asfálticos. São Paulo, 1993.

FARIAS, M. M.; SOUZA, R. O. Irregularidade Longitudinal e sua Influência na Avaliação Funcional de Pavimentos. In: VII Encontro Nacional de Conservação Rodoviária, Vitória, ES, 2002.

FELIX, D.B.C.; Balbo, J.T. Análise do método do United States Army Corps of Engineers para avaliar as condições de rolamento de pavimentos, Dissertação para obtenção de Mestrado, USP, São Paulo, 2008.

FHWA - Federal highway administration. Distress identification manual for the long-term pavement performance program. U.S. Department of transportation, publication n. FHWARD-03-031, 2003. 154 p.

FIALHO, P.C.G, Validação de resultados do inventário funcional de pavimentos flexíveis com o emprego do equipamento *Pavement Scanner*, Dissertação para obtenção de Mestrado, USP, São Paulo, 2015.

FILHO, R. O. S. Características de Aderência de Revestimentos Asfálticos Aeroportuários – Estudo de caso do Aeroporto Internacional de São Paulo/Congonhas. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.

GASPARETTO, W. E. Manual técnico de barras de transferência e espaçadores soldados. São Paulo: [s.n.], 2001. 18 p.

GEIPOT. Research on the interrelationships between costs of highway construction, maintenance and utilization. Final report on the Brazil-UNDP Highway Research Project. (12 Volumes). Brasília, DF, 1982.

HAAS, R.; HUDSON, W.R.; ZANIEWSKI, J.P. Modern pavement management, Universidade Cornell, Krieger Pub. Co., 583p, 1994.

HALL, J.W., SMITH, K.L., TITUS-GLOVER, L., WAMBOLD, J.C., TAGER, T.J. e RADO, Z. Guide for Pavement Friction, NCHRP Web-Only Document 108. National Cooperative Highway Research Program (NCHRP), Washington, D.C., 2009.

HANSON D; PROWELL B. Evaluation of circular texture meter for measuring surface texture of pavements, NCAT Report No:04–05, Auburn University, Auburn, USA, 2004.

HEADQUARTERS DEPARTMENT OF THE ARMY – Pavement Maintenance Management. Technical Manual 5-623. Washington, DC, 1982.

HPMS - Highway Performance Monitoring System. Field Manual Office of Highway Policy Information. Office of Management & Budget (OMB) Control No. 2125-0028. March 2014.

HRB Special Report 61A-g: The AASHTO Road Test, Report 5: Pavement Research. HRB, National Research Council, Washington, D.C., 1962.

HUDSON, W.R.; HAAS, R., Pavement Management Systems. New York: McGraw-Hill Book Company, 1978.

HUANG, Y.H. Pavement analysis and design. Englewood Cliffs: Prentice Hall. 1993.

IBRACON – 53 ° Congresso Brasileiro do Concreto. Avaliação do Pavimento de Concreto em diversas ruas de Curitiba. Carlos Roberto Giublin, Alex Maschio e Cleverson Boeno Moro, Santa Catarina, 2011.

ISO 2631-1: Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole body vibration – Part 1: General requirements. International Organization for Standardization, 1997.

ISO 5725 - Guide to the use of repeatability, reproducibility and trueness estimates in measurement uncertainty estimation, 2002.

LCMS - PAVEMETRICS SYSTEMS INC, LCMS Analyser Library: User Manual, 2016.

LCMS - Pavemetrics e INO. LCMS Data Processing Library: User Manual. Canada, 2016.

LERCH, R. L. Previsão de Irregularidade pós-recapê em rodovias do RS: Ajuste do modelo HDM-4. Porto Alegre, 2002.

MEDINA, J. Mecânica dos pavimentos. Rio de Janeiro; Editora UFRJ, 1997. 380 p.

MELO, E. S. Interação dinâmica veículo-estrutura em pequenas pontes rodoviárias. 2007. 129 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

MNDOT – Minnesota Department of Transportation. Pavement Condition Report: Ortonville Municipal Airport (VVV). Applied Research Associates, Inc. 6314 Odana Rd, Madison, WI 53719. December, 2014.

NCHRP - National Cooperative Highway Research Program (TRB – Transportation Research Board). Guide for Pavement Friction. Web only document 108, 2009.

NYSDOT - NEW YORK STATE DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. Pavement Condition Assessment. New York, 2010

PETERSON, D.E., Pavement Management Practices. National Cooperative Research Program. Synthesis of Highway Practice 135. Transportation Research Board. Washington D.C., 1987.

PINTO, S., PREUSSLER, E. Pavimentação Rodoviária. Conceitos fundamentais sobre pavimentos flexíveis. Rio de Janeiro, 2001.

PREUSSLER, E. S. et al. Considerações acerca dos limites de irregularidade para aceitação de pavimentos rígidos em túneis. In: Jornadas luso-brasileiras de pavimentos: políticas e tecnologias, V, 2006, Recife. Anais... Recife: 2006.

QUEIROZ, C.A.V. Modelos de Previsão do Desempenho para a Gerência de Pavimentos no Brasil. GEIPOT/DNER, 1984.

QUEIROZ, C.A.V., HUDSON, W.R. e HAAS, R., 1992. Standardization of Pavement Management Systems in Brazil and Other Developing Countries. In: Transportation Research Record Nº 1344 – Transportation Research Board – p. 31-37, Washington D.C., 1992.

RIBEIRO, L. M. B. Estudo da drenabilidade de pavimentos aeroportuários através de equipamento do tipo outflow meter. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2012.

SAVARD, Y.; LAURENT, J.; HÉBERT, J. F. 3D laser road profiling for the automated measurement of road surface conditions and geometry. Baltic Roads Conference, 2013.

SENGOZ, B.; TOPAL, A.; TANYEL, S. Comparison of Pavement Surface texture determination by sand patch test and 3D laser scanning. Periodica Polytechnica, 2012.

SHAHIN, M.Y.; Pavement Management for Airports, Roads, and Parking Lots. 2ª Ed. New York: Chapman & Hall, 2005.

SHAHIN, M.Y.; KOHN, S.D Development of a pavement condition rating procedure for roads, street and parking lots. Volume II: Distress Identification Manual. Technical Report M-268, Construction Engineering Research Laboratory, U.S. Army, Champaign. 1979.

SONCIM, S. P. Desenvolvimento de modelos de previsão de desempenho de pavimentos asfálticos com base em dados da rede de rodovias do estado da Bahia. Tese de Doutorado, orientador José Leomar Fernandes Júnior. São Carlos, 2011.

STRATEGIC HIGHWAY RESEARCH PROGRAM - SHRP. Distress Identification Manual for the Long Term Pavement Performance Project. Washington, D C., 1993.

SUH, Y. C.; Mc CULLOUGH, B. F. Factors affecting crack width of continuously reinforced concrete pavement. Journal of transportation research record, n. 1.449, 1994.

SUZUKI, C. Y. Manutenção e Reabilitação de Pavimentos Asfálticos. São Paulo, 2014.

TIMM, D. H.; MCQUEEN, J. M. A Study of Manual vs. Automated Pavement Condition Surveys. Alabama Department of Transportation.AL, 2004.

ULLIDTZ, P. Pavement analysis. Elsevier Science Publishers. New York, USA.1987.

USACE - United States Army Corps of Engineers Technical Manual.
Pavement Maintenance Management. TM 5-623, Headquarters,
Department of the Army, Washington, D.C., 1982.

YODER, E. J.; WITCZAK, M W. Principles of Pavement Design. 2^a ed.
EUA: Wiley-Interscience Publication, 1975.

ANEXO A

CLASSIFICAÇÃO DAS PATOLOGIAS ENCONTRADAS EM PAVIMENTOS DE CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND

1. Patologias Funcionais

Segundo Balbo (2007), as patologias de origem funcional estão relacionadas às condições de segurança e conforto ao rolamento. As patologias classificadas como funcionais são as seguintes:

- desgaste superficial da placa de concreto;
- arrancamento do material (popouts);
- escalonamento ou degrau nas juntas;
- desnível entre o pavimento e o acostamento;
- grandes e os pequenos reparos;
- passagens em desnível executadas nos pavimentos de concreto.

A condição funcional de um pavimento é dada pelo conforto e da suavidade de rolamento da via, pela macrotextura adequada impondo aderência entre pneu e pavimento e subsequente segurança ao usuário, e também, pelo custo operacional imposto ao usuário.

O acúmulo de solicitações, fadiga, projetos inadequados, processos executivos inconsistentes e manutenções periódicas irregulares são algumas das causas que levam ao aparecimento de patologias nos pavimentos e, com estas, a diminuição da condição funcional da via. Podem-se apontar como maiores contribuidores no decréscimo da qualidade funcional da via como as irregularidades superficiais, transversais e longitudinais e, em relação à segurança da via, a perda de aderência devido a desgastes superficiais diminuindo a macrotextura do material.

1.1. Desgaste Superficial de placa de concreto ou polimento de agregados (Polished aggregate)

Encontra-se nos dois métodos (USACE e DNIT) e é caracterizado pelo descolamento da argamassa superficial, fazendo com que os agregados aflorem na superfície do pavimento, e com o tempo fiquem com a sua superfície polida. (DNIT, 2004).

O desgaste superficial é identificado em campo pela deterioração da superfície da placa de concreto, normalmente de 3 a 13 mm (FHWA, 2003). É causado devido ao mau controle na época da execução da obra permitindo a segregação dos agregados e a exsudação do concreto.

A segregação pode ocorrer em diversas etapas construtivas, como por exemplo:

- durante o carregamento do caminhão basculante;
- durante o transporte;
- durante a descarga do caminhão na pista;
- durante o adensamento do concreto;
- por excesso de água na mistura, no momento do lançamento.

Caracteriza-se pela decantação do agregado graúdo com subsequente afluência da pasta de cimento para a superfície. Este fenômeno acaba influenciando na exsudação do concreto.

A modificação da relação água cimento é a razão do acontecimento observado, com o acúmulo de água na superfície, uma redução da resistência mecânica do concreto ocorre, proporcionando um desgaste superficial prematuro dessa forma. A água removida do interior do concreto levaria a um aumento da resistência, porém, com a expulsão desta água, ocorre o aparecimento de vazios, não modificando, portanto, o resultado final.

A característica inerente dos pavimentos de concreto é de possuírem grande área superficial o que acaba sujeitando a superfície do material de uma forma bem mais intensa que em estruturas convencionais. A partir disto, juntando a necessidade de um acabamento superficial dentro dos padrões para utilização dos usuários, o controle da exsudação torna-se fundamental para a obtenção de um desempenho adequado do pavimento de concreto de cimento Portland.

Figura A. 1 Desgaste Superficial de placa de concreto (fonte: DNIT, 2004).

Figura A. 2 Desgaste Superficial de placa de concreto (fonte: arquivo pessoal)

Figura A. 3 Polimento de agregados (fonte: FHWA, 2003).

Uma medida preventiva ao aparecimento desta patologia deve ser no controle do traço do concreto a ser utilizado, a quantidade de agregados lisos deve ser limitada, pois intensifica o aparecimento deste defeito.

1.2. Escalonamento ou Degrau nas Juntas (Faulting)

Encontra-se nos dois métodos (USACE e DNIT) e é caracterizado pela ocorrência de deslocamentos verticais diferenciados e permanentes entre uma placa e outra adjacente, na região da junta (DNIT, 2004).

As causas do aparecimento desta patologia podem ser:

- ausência ou pelo dimensionamento inadequado das barras de transferência;
- pelo uso excessivo de graxa nas mesmas, gerando uma folga entre a barra e o concreto;
- pelo procedimento inadequado da retirada das fôrmas com a remoção das barras de transferência;
- pela utilização de materiais inadequados no isolamento das barras de transferência de carga, tais como, conduítes, tubos, pedaços de saco de cimento, entre outros, geram vazios entre o aço e o concreto (GASPARETTO, 2001);
- bombeamento de solos finos da camada superior do subleito do pavimento, com posterior desnivelamento desta camada, que sob a ação do tráfego ocasionará um afundamento da placa na região da junta;
- empenamento da placa ocasionado pelas variações de temperatura e umidade a que esteja submetido (USACE, 1982).

Defeito em que duas placas sucessivas não estão niveladas nas juntas, o que causa um degrau, bastante inconveniente ao rolamento dos veículos. Normalmente associado à perda de suporte da placa e ao recalque diferencial entre duas placas. Pode também ocorrer em fissuras transversais e longitudinais, ao longo do tempo (BALBO, 2009).

Figura A. 4 Esquema ilustrativo do escalonamento (fonte: adaptado do FHWA, 2003).

Figura A. 5 Esquema ilustrativo do escalonamento (fonte: HPMS, 2014).

Figura A. 6 Escalonamento (BALBO, 2007).

Figura A. 7 Escalonamento.

1.3. Arrancamento do Material (Popouts)

Encontra-se apenas no método USACE e é um defeito caracterizado pela presença de pedaços da superfície de rolamento do pavimento com diâmetros de 25 a 100 mm, e profundidades de 13 a 50 mm, quebrados e soltos na superfície (FHWA, 2003). Tem como origem a ação do gelo e degelo e subsequente expansão do agregado graúdo.

A necessidade da ocorrência de baixíssimas temperaturas para a ocorrência do defeito faz com que o aparecimento deste em regiões tropicais seja muito raro e, devido a este fato, este não aparece nas normas brasileiras.

Figura A. 8 Esquema ilustrativo dos popouts (fonte: adaptado do FHWA, 2003).

1.4. Desnível pavimento – acostamento (Lane/Shoulder drop off)

Encontra-se nos dois métodos (USACE e DNIT) e, segundo o DNIT (2004) é definido como: “É o degrau formado entre o acostamento e a borda do pavimento, geralmente acompanhado de uma separação dessas bordas”.

Uma diferença entre os níveis do acostamento e a borda da placa de concreto representa o defeito, diferença esta que costuma vir acompanhada de uma separação horizontal das placas. Tem como origem as mesmas inadequações nas barras de transferência observadas no escalonamento (ou degrau nas juntas) indicadas acima.

Figura A. 9 Esquema ilustrativo do desnível acostamento – pavimento (fonte: adaptado do FHWA, 2003).

Muitas vezes trata-se de um defeito construtivo, por falha do nivelamento entre as faixas de rolamento e de acostamento. Contudo, pode ocorrer mesmo entre faixas de rolamento, caso em que a gênese mais comum é a perda de suporte da placa e o recalque diferencial entre duas placas (BALBO, 2009).

Figura A. 10 Desnível acostamento – pavimento (fonte: BALBO, 2009).

1.5. Pequenos Reparos (Small patching)

Encontra-se nos dois métodos (USACE e DNIT) e é caracterizado como áreas de pavimentos originais menores ou iguais a 0,45 m², que foram removidas e posteriormente preenchidas com material de enchimento (DNIT, 2004).

Remendos são correções de defeitos que já existiram; contudo, remendos de má qualidade podem apresentar uma série de inconvenientes (como fissuras nos cantos e afundamentos), prejudicando a qualidade do rolamento (BALBO, 2009).

As causas do aparecimento desta patologia podem ser:

- falhas construtivas;
- restauração de outras patologias com grau de severidade elevado;
- execução da manutenção ou criação de redes distribuição subterrânea (água, esgoto, luz e outros).

Figura A. 11 Pequeno reparo executado na placa de concreto (fonte: arquivo pessoal).

Figura A. 12 Pequeno reparo executado na placa de concreto (fonte: arquivo pessoal).

Figura A. 13 Pequeno reparo executado na placa de concreto (fonte: DNIT, 2004).

1.6. Grandes Reparos (Large patching & Utility cuts)

Encontra-se nos dois métodos (USACE e DNIT) e são caracterizados como áreas de pavimentos originais maiores ou iguais a 0,45 m², que foram removidas e posteriormente preenchidas com material de enchimento (DER, 2006).

As causas do aparecimento desta patologia são as mesmas mencionadas para os pequenos reparos.

Figura A. 14 Grande reparo executado na placa de concreto (fonte: DNIT, 2004).

1.7. Passagem de nível (Railroad crossing)

Encontra-se nos dois métodos (USACE e DNIT) e é um defeito que ocorre em passagens de nível, consistindo de depressões ou elevações próximas aos trilhos (DNIT, 2004).

Figura A. 15 Passagem de nível (fonte: USACE, 1982).

2. Patologias Estruturais

Patologias estruturais são defeitos que além de influenciarem a condição de rolamento e subsequente condição funcional da via, afetam a capacidade e a integridade estrutural dos pavimentos de concreto.

São classificadas com patologias estruturais:

- fissuras (lineares, de canto, microfissuras e do tipo “D”);
- desagregação;
- punchout (ou quebra localizada);
- bombeamento dos solos finos;
- esborcinamento das juntas transversais e longitudinais;
- falhas na selagem das juntas;
- alçamento das placas;
- placas divididas.

2.1. Fissuras (Cracking)

Encontra-se nos dois métodos (USACE e DNIT) e é caracterizado, de acordo com o DNIT (2004), por fissuras atingem toda a espessura da placa de concreto, dividindo-a em duas ou três partes. Quando as fissuras dividem a placa em quatro ou mais partes, o defeito é denominado de placa dividida. Como fissuras lineares enquadram-se:

- fissuras transversais que ocorrem na direção da largura da placa, perpendicularmente ao eixo longitudinal do pavimento;
- fissuras longitudinais que ocorrem na direção do comprimento da placa, paralelamente ao eixo longitudinal do pavimento;

– fissuras diagonais, que são fissuras inclinadas que interceptam as juntas do pavimento a uma distância maior que a metade do comprimento dessas juntas ou bordas.

O estudo das causas, da previsão da evolução da abertura e consequências advindas desta condição, tem grande importância para a avaliação do estado operacional de um pavimento. A abertura das fissuras determina a influência que esta terá em relação à percolação de água para as camadas inferiores do pavimento que acabará causando diversos efeitos adversos como o bombeamento de solos finos do subleito e corrosão da armadura, além da capacidade de transferência de carga que a placa deixará de ter quanto maior for a abertura desta fissura.

Segundo Balbo (2009), algumas recomendações para evitar o aparecimento de fissuras, além de outros problemas no concreto são as seguintes:

1. Materiais para o concreto

- limitação do diâmetro máximo e da quantidade de agregados graúdos;
- uso de boa graduação granulométrica;
- uso de cimentos mais grossos e menos retráteis;
- uso de redutores de retração;
- uso de concretos de baixo abatimento (elevada consistência);
- emprego de escória granulada moída.

2. Projetos de pavimentos

- considerar explicitamente efeitos do empenamento térmico;
- usar concreto armado.

3. Obras de pavimentação em concreto

- estudo detalhado das condições locais;
- compatibilização da mistura, execução e cura com as condições climáticas;
- adequação e proteção de estoques de agregados;
- ranhurar em vez de texturizar superfície;
- uso de mantas grossas para cura úmida de, no mínimo, 14 dias;

- controle estrito do tempo de corte em função do concreto e das condições climáticas sazonais.

Em estudo realizado por SUH e McCULLOUGH (1994) algumas conclusões quanto ao comportamento das fissuras foram obtidas:

- quanto maior a temperatura da região, maior será a abertura da fissura no local;
- agregados com presença de sílica em sua constituição levam a maiores fissuras em comparação com agregados exclusivamente calcários;
- quanto maior a quantidade de aço no concreto, menores as fissuras;
- fissuras que ocorrem nos três primeiros dias após a concretagem apresentam aberturas de fissuras maiores.

As fissuras que surgem precocemente têm origem em atrasos no procedimento de corte das juntas serradas ou cura ineficiente, enquanto as demais provavelmente ocorrem devido a deficiências no projeto.

As microfissuras, as fissuras de retração por secagem, as fissuras de retração plástica e as fissuras de retração térmica são consideradas como defeitos secundários. Esses defeitos são, ao longo do tempo, responsáveis pelo desenvolvimento dos defeitos primários (punchout, bombeamento, entre outros), que acarretam na redução do desempenho do pavimento (FELIX,2008).

Fissuras longitudinais e transversais são em sua maioria o resultado de carregamentos externos e/ou deformações por temperatura contidas. Carregamentos externos causam fissuras por flexão. Mudanças de temperatura em placas com movimento contido resultarão em tensões devido à fricção ou ondulação. Quando qualquer dessas tensões excede a resistência da placa, fissuras irão aparecer. As fissuras são classificadas em baixa, média, ou alta severidade, dependendo na largura de abertura da fissura e grau de deterioração (MNDOT, 2014).

2.1.1. Fissuras Transversais (Transverse Cracking)

Defeito caracterizado por fissuras lineares que ocorrem transversalmente ao eixo longitudinal do pavimento. Tensões internas originadas pela secagem do concreto (pela retração hidráulica) são a causa de ocorrência deste fenômeno. O agravamento da condição é dado pela solicitação do pavimento pela passagem de tráfego. Pode-se dizer que a maioria das fissuras transversais aparece no primeiro mês de serviço.

O aparecimento do fenômeno é influenciado por diversos fatores como os seguintes:

- condições climáticas;
- cura do concreto;
- relação água/cimento;
- quantidade / posicionamento das juntas;
- composição dos agregados;
- execução das barras de transferência.

Segundo Balbo (2009), a ocorrência de fissuras transversais esta normalmente associada ao consumo de resistência à fadiga do concreto, à insuficiência de sua espessura ou baixa resistência do concreto. O posicionamento próximo às juntas transversais indica a causa da ocorrência ser inadequações em relação à serragem das juntas, ou por espessura insuficiente, ou por atraso de serragem.

Figura A. 16 Esquema ilustrativo de uma fissura transversal (fonte: adaptado do HPMS, 2014).

Figura A. 17 Esquema ilustrativo de uma fissura transversal (fonte: adaptado do FHWA, 2003).

Figura A. 18 Fissura transversal (fonte: arquivo pessoal)

Figura A. 19 Fissura transversal (fonte: arquivo pessoal)

Figura A. 20 Fissura transversal (fonte: DNIT, 2004).

2.1.2. Fissuras Longitudinais (Longitudinal Cracking)

Defeito caracterizado por fissuras lineares que ocorrem paralelamente à direção do tráfego.

Semelhantemente às fissuras transversais, o aparecimento do fenômeno é influenciado por diversos fatores como os seguintes:

- condições climáticas;
- cura do concreto;
- relação água/cimento;
- quantidade / posicionamento das juntas;
- composição dos agregados;
- execução das barras de transferência.

Segundo Balbo (2009), a ocorrência de fissuras longitudinais está normalmente associada ao consumo de resistência à fadiga do concreto ou à insuficiência de sua espessura. O posicionamento próximo às juntas longitudinais indica a causa da ocorrência ser inadequações em relação à serragem das juntas, ou por espessura insuficiente, ou por atraso de serragem.

Figura A. 21 Esquema ilustrativo de uma fissura longitudinal (fonte: HPMS, 2014).

Figura A. 22 Esquema ilustrativo de uma fissura longitudinal (fonte: adaptado do FHWA, 2003).

Figura A. 23 Fissura longitudinal (fonte: arquivos pessoais).

Figura A. 24 Fissura longitudinal (fonte: DNIT, 2004).

2.1.3. Fissuras de Canto (Corner break)

Encontra-se nos dois métodos (USACE e DNIT) e é caracterizado por fissura que intercepta as juntas à distância menor ou igual à metade do comprimento das bordas ou juntas longitudinais e transversais do pavimento, medindo-se a partir do seu canto. A fissura geralmente atinge toda a espessura da placa (DER, 2006).

Defeito caracterizado por fissuras lineares que ocorrem na forma de semicírculo e são denominadas também de “diamond cracking”. O seu aparecimento está associado ao vencimento da resistência por fadiga do concreto na região ou à espessura insuficiente de placa em relação ao tráfego real (BALBO, 2009).

Deve-se atentar que inadequações em relação às barras de transferência têm grande influência no aparecimento deste fenômeno, seja por ausência, dimensionamento inadequado ou execução inconsistente com os padrões recomendados.

Figura A. 25 Esquema ilustrativo de uma fissura de canto (fonte: adaptado do FHWA, 2003).

Figura A. 26 Fissura de canto (fonte: arquivos pessoais).

Figura A. 27 Fissura de canto (fonte: DNIT, 2004).

2.1.4. Fissuras de Retração Hidráulica ou por Secagem

Resulta da secagem do concreto e está associada ao uso de água na mistura durante a fase inicial de hidratação dos ligantes hidráulicos e é caracterizada pela perda de água da massa para o ambiente, o que está relacionado com as condições climáticas.

A retração hidráulica ou por secagem consiste em variações volumétricas na massa de concreto que ocasionam o surgimento de fissuras em sua estrutura interna por contração da mesma (BALBO, 2007).

O mecanismo de fissuração pode ser explicado pensando na comparação entre os esforços de deformação de contração e a capacidade de resistência à tração desenvolvida até o momento na hidratação dos compostos anidros no concreto em formação.

A ruptura por retração hidráulica em misturas cimentadas consiste em variações volumétricas na massa que acabam ocasionando o surgimento de fissuras em sua estrutura interna. A retração hidráulica ou por secagem ocorre quando há evaporação ou da água de gel de cimento à temperatura superior a 100°C ou da água capilar com umidade relativa do ar inferior a 100%. (DER, 2006)

Segundo Balbo (2009), a água de amassamento em uma mistura de concreto pode ser dividida em três partes:

- Água de Cristalização é responsável pelas reações que formam a parte sólida da pasta de cimento (hidratação da pasta de cimento);
- Água de gel é a que está adsorvida aos cristais hidratados e serve de veículo para os compostos que dão continuidade às reações de hidratação, formando o gel de cimento hidratado;
- Água livre ou água capilar está retida em pequenos ou grandes vazios. Somada ao gel de cimento hidratado forma a pasta de cimento.

A ocorrência de fissuras de retração é um fenômeno inevitável, e o espaçamento entre as fissuras transversais em um volume longitudinal de concreto (pavimento) varia em função de diversos fatores, tendo o ligante hidráulico – conforme sua finura, seu calor de hidratação e a quantidade empregada – papel preponderante na definição do tempo de ocorrência e manifestação das fissuras de retração por secagem (BALBO, 2009).

A utilização de juntas transversais e longitudinais em pavimentos de concreto promove a concentração de tensões nestas regiões com seções transversais reduzidas, fazendo com que este fenômeno inevitável, que é a retração hidráulica, ocorra controladamente nestes locais, proporcionando um desempenho adequado do pavimento como um todo.

Alguns fatores que afetam a retração por secagem e suas consequências;

- Agregados de elevado módulo de elasticidade: diminui o efeito;
- Agregado graúdo em grande quantidade: diminui o efeito;
- Maior dimensão do agregado graúdo: diminui o efeito;
- Aumento da relação a/c: aumenta o efeito;
- Aditivos plastificantes: aumenta o efeito;
- Adições finas de pozolanas e escórias: aumenta o efeito;
- Peças estruturais mais espessas: diminui o efeito.

2.1.5. Fissuras de Retração Plástica (Shrinkage cracks)

Em pavimentos de concreto a área de superfície é um fator muito relevante devido as grandes extensões expostas às condições ambientais o que acaba favorecendo a possibilidade de ocorrência de retração plástica que ocorre quando a taxa de evaporação excede a taxa de exsudação durante o lançamento e cura do concreto. A origem do nome advém da situação em que o concreto se encontra nestas primeiras fases, o estado plástico.

Encontra-se nos dois métodos (USACE e DNIT) e ocorre no concreto ainda fresco devido à ação da radiação solar e da temperatura ambiente na massa. Tal fenômeno está estritamente relacionado à segregação e à exsudação do concreto, tendo como consequências possíveis a fissuração da massa e seu assentamento plástico, ambas as ocorrências altamente indesejáveis para os pavimentos de concreto (BALBO, 2009).

A profundidade da placa de concreto proporciona o aparecimento de temperaturas diferentes por sua extensão, uma zona superior mais aquecida que a inferior, o que se traduz em um gradiente térmico ao longo da profundidade. A zona aquecida acaba causando a mobilização de umidade para a superfície do fundo da placa o que acaba induzindo a segregação e a exsudação nas placas de concreto.

As fissuras de retração plástica, quando se manifestam, ocorrem na superfície do pavimento durante a cura do concreto, resultante da perda de água livre do mesmo para o ambiente em nível relativamente elevado (USACE, 1982).

São fissuras pouco profundas (superficiais), de pequena abertura (inferior a 0,5mm) e de comprimento limitado. Sua incidência costuma ser aleatória e elas se desenvolvem formando ângulo de 45° a 60° com o eixo longitudinal da placa (DNIT, 2004).

Figura A. 28 Esquema ilustrativo das fissuras de retração plástica (fonte: FELIX, 2008).

Algumas medidas para auxiliar no combate ao aparecimento do defeito:

- evitar o desempenamento excessivo da superfície do concreto;
- atentar-se a temperatura do cimento e tempo de pega;
- manter o substrato umedecido;
- controle da evaporação.

O controle da evaporação pode ser realizado por diversos métodos como com a proteção da superfície recém concretada da ação do sol e do vento, fazer a cura química do concreto, uso de retardadores de evaporação, uso de fibras, cobrimento do concreto lançado com lonas plásticas e outros.

Fissuras de retração plástica são pequenas, não estão trabalhando (não há erosão em seus cantos) e são visíveis na superfície, mas não penetram por toda a profundidade do concreto. Ocorrem mais frequentemente logo após a construção devido ao fissuramento do concreto durante o processo de cura. São usualmente tão pequenas que não são visíveis até o concreto ficar manchado ou perda de material

nos cantos das fissuras começa a ocorrer, por fim, não representam um ponto fraco na estrutura e nenhuma ação corretiva é indicada (MNDOT, 2014).

Figura A. 29 Fissuras de retração plástica (fonte: MNDOT, 2014).

Figura A. 30 Fissuras de retração plástica (fonte: DNIT, 2004).

2.1.6. Fissuras de Retração Térmica

A ruptura por retração térmica ocorre devido a variações de temperaturas nas misturas tratadas com cimento motivadas por reações químicas na massa fresca, devido à liberação de calor de hidratação ou por efeitos de insolação. A retração térmica se manifesta também em misturas asfálticas por variações volumétricas sob ação de baixas e rigorosas temperaturas (DER, 2006).

A retração térmica do concreto desenvolve-se devido a variações de temperatura nos concretos de cimento Portland ocasionadas por reações químicas no concreto fresco (liberação de calor durante o processo de hidratação do cimento) ou por efeitos externos (frio intenso) (BALBO, 2007).

O fenômeno da retração térmica ocorre pela lentidão do concreto em transferir calor, o que torna a temperatura em seu núcleo mais elevada em comparação à da superfície, causando sua expansão, que é absorvida pela fluência da massa fresca. Contudo, à medida que as reações prosseguem e o concreto ganha resistência, o

fenômeno poderá se manifestar sob a forma de fissuras, uma vez que há tensões de tração internas possivelmente muito elevadas (BALBO, 2009).

Nas placas de concreto, a combinação do calor produzido pela hidratação do cimento com as condições relativamente pobres de dissipação de calor resultam em um grande aumento na temperatura do concreto em poucos dias após o lançamento. O subsequente resfriamento à temperatura ambiente gera tensões de tração que podem resultar na fissuração da superfície do pavimento se estas tensões forem maiores do que a resistência à tração no concreto naquele momento (FELIX, 2008).

Figura A. 31 Esquema ilustrativo das fissuras de retração térmica. O controle do fenômeno pode ser realizado através de:

- cura adequada (diminui-se o diferencial de temperatura entre núcleo e superfície),
- uso de concretos com baixo calor de hidratação,
- uso de agregados com baixo coeficiente de dilatação térmica.

2.1.7. Microfissuras, fissuras superficiais ou rendilhado e escamação (Scalling/map & cracking/crazing)

Encontra-se nos dois métodos (USACE e DNIT) e é caracterizada por fissuras capilares que ocorrem apenas na superfície da placa, tendo profundidade entre 6mm e 13mm, que apresentam a tendência de se interceptarem, formando ângulos de 120°. A escamação caracteriza-se pelo descolamento da camada superficial fissurada, podendo, no entanto, ser proveniente de outros defeitos, tal como o desgaste superficial (DNIT, 2004).

Em geral, a causa mais comum para esse defeito é o excesso de desempenamento, que causa excesso de pasta na superfície, a qual rapidamente fissa, inclusive por retração plástica. Uma consequência rápida disso é o efeito do descolamento ou desagregação superficial, que é outro defeito. A típica carcaça de tartaruga é encontrada quando há sinais de reação álcalis-agregados no concreto, o que geralmente leva anos ou mesmo décadas para ocorrer (BALBO, 2009).

Segundo Chodounsky e Viecili (2007), apesar da má aparência as microfissuras não comprometem a integridade estrutural da placa e não indicam necessariamente o início da deterioração do pavimento. Os fatores que ocasionam essa patologia estão associados às condições de exposição da placa durante e logo após o acabamento (por exemplo, retração plástica excessiva), a operações inadequadas de acabamento, atrasos no início do procedimento de cura do concreto e traços de concreto executados com elevados teores de finos.

Figura A. 32 Microfissuras ou fissuras superficiais (fonte: arquivos pessoais).

Figura A. 33 Microfissuras ou fissuras superficiais (rendilhado). (DNIT, 2004)

2.1.8. Fissuras tipo “D” (Durability Cracking)

Encontra-se apenas no método USACE e esta patologia é caracterizada pelo aparecimento de fissuras de pequena abertura que caminham paralelamente em direção a uma junta, a uma fissura ou ainda ao canto livre da placa. Se a umidade do concreto nas proximidades da junta for alta, uma coloração escura em torno das fissuras tipo “D” será observada (FHWA, 2003).

As fissuras tipo “D” são causadas pela ação do gelo e degelo combinado com a expansão do agregado graúdo, que poderá resultar na ruptura gradativa da placa de concreto (USACE, 1982). Esta patologia não ocorre nos países de clima tropical como o Brasil, talvez por esta razão não seja citada na norma brasileira (DNIT 061 / 2004 – PRO).

Fissuras de durabilidade (Durability cracking) ou fissuras tipo “D” são causadas por fatores ambientais, o mais comum dos quais é o congelamento / descongelamento. Ela geralmente aparece como um padrão de fissuras paralelas a uma junta ou fissura, ou em um canto, aonde a água tende a se acumular. Este tipo de fissura eventualmente leva à desagregação do pavimento, criando potencial de dano por materiais estranhos (DME). Em baixa gravidade, fissuras tipo “D” são evidentes, mas desagregação ainda não ocorreu. À medida que o defeito avança para a gravidade média, o padrão do defeito é evidente através de uma área significativa da placa com um pouco de desagregação e existe potencial DME. Uma alta severidade do defeito fica evidente por uma fissuração em uma área extensa e um significativo potencial DME (MNDOT, 2014).

Figura A. 34 Esquema ilustrativo das Fissuras Tipo “D” (fonte: adaptado do FHWA, 2003).

Figura A. 35 Fissuras Tipo “D” (fonte: FHWA, 2003).

Figura A. 36 Durability cracking (fonte: MNDOT, 2014).

2.2. Quebras localizadas (Punchouts)

Encontra-se nos dois métodos (USACE e DNIT) e são caracterizadas por áreas das placas que se mostram trincadas e partidas em pequenos pedaços, tendo formas variadas, situando-se geralmente entre uma trinca e uma junta ou entre duas trincas próximas entre si (em torno de 1,5m) (DNIT, 2004).

O punchout é caracterizado pela interligação de fissuras transversais e longitudinais com posterior desprendimento do material da superfície de rolamento da placa de concreto (FHWA, 2003).

Figura A. 37 Esquema ilustrativo do Punchout (fonte: HPMS, 2014).

Figura A. 38 Esquema ilustrativo do Punchout (fonte: adaptado do FHWA, 2003).

Figura A. 39 Punchout (fonte: FHWA, 2003).

Figura A. 40 Quebra Localizada (fonte: arquivo pessoal).

As causas do aparecimento do defeito são as seguintes:

- perda de suporte do pavimento (aumento da solicitação de tráfego);
- perda de suporte do subleito devido ao bombeamento de finos;
- traço do concreto e tipo de agregado utilizado;
- espessura da placa de concreto;
- espaçamento das juntas transversais inadequado;
- prática executiva inadequada.

Figura A. 41 Etapas do desenvolvimento do Punchout (fonte: FELIX, 2008).

Figura A. 42 Punchout (fonte: DNIT, 2004).

2.3. Bombeamento (Pumping)

Encontra-se nos dois métodos (USACE e DNIT) e consiste na expulsão de finos plásticos existentes no solo de fundação do pavimento, através das juntas, bordas ou trincas, quando da passagem das cargas solicitantes. Os finos bombeados têm a forma de lama fluida, identificados pela presença de manchas terrosas ao longo das juntas, bordas ou trincas (DER, 2006).

Esse material fino escoar para a superfície através das juntas e principalmente das fissuras, causando a contaminação da sub-base granular (o que reduz bruscamente sua resistência, contribuindo para a degradação da estrutura como um todo) e o subsequente desnivelamento da camada do subleito, que terá como consequência a quebra das placas de concreto nessas regiões (FHWA, 2003).

O fenômeno está relacionado à saturação de camadas inferiores que, por pressão neutra, expulsam a água aprisionada para cima, nas juntas e fissuras. Os motivos pela saturação das camadas inferiores podem ser pela drenagem inadequada, ou pela percolação de água pluvial da superfície para as camadas inferiores do pavimento (BALBO, 2009).

Figura A. 43 Ocorrência do fenômeno do bombeamento na superfície do pavimento de concreto (fonte: FHWA, 2003).

Deve-se evitar a saturação das camadas inferiores por meio de selagem de fissuras e juntas e com a execução de remendos, evitando assim o aparecimento do fenômeno.

2.4. Falha de Selagem nas Juntas (Joint Seal Damage)

Encontra-se nos dois métodos (USACE e DNIT) e, segundo o procedimento 061 do DNIT (2004), é qualquer avaria no material selante que possibilite o acúmulo de material incompressível na junta ou que permita a infiltração de água. As principais falhas observadas no material selante são:

- rompimento, por tração ou compressão;
- extrusão do material;
- crescimento de vegetação;
- endurecimento (oxidação) do material;
- perda de aderência às placas de concreto;
- quantidade deficiente de selante nas juntas.

Figura A. 44 Falha na selagem (fonte: MNDOT, 2014).

Figura A. 45 Falha na selagem devido à expulsão do material que constitui a junta e subsequente depósito de objetos incompressíveis nesta região.

Esta patologia pode ser evitada a partir de medidas preventivas durante a fase construtiva devem ser tomadas, tais como, execução do corte da junta com profundidade adequada e preenchimento total do volume da junta com material selante.

Segundo Balbo (2009), esse defeito está normalmente associado ao clima, ou seja, aos efeitos de umidade, calor e secagem dos elementos de selagem juntas.

Figura A. 46 Falha na selagem (fonte: DNIT, 2004).

2.5. Esborcinamento das Juntas (Joint spalling)

Encontra-se nos dois métodos (USACE e DNIT) e é caracterizado pela quebra das bordas da placa de concreto (quebra em cunha) nas juntas, com o comprimento máximo de 60 cm, não atingindo toda a espessura da placa (DNIT, 2004).

As causas do aparecimento do defeito são as seguintes:

- erros na profundidade do corte (recomendado de 1/3 a 1/4 da espessura da placa);
- erros no posicionamento do corte;
- tensões elevadas nas juntas;
- falhas no processo construtivo;
- resistência do concreto inadequada na superfície;
- excesso de pasta ou argamassa.

Tensões elevadas nas juntas podem ocorrer devido a diversos motivos como tráfego, presença de materiais rígidos nas juntas e pela ação de gelo e degelo quando há presença de água nas juntas, entre outros.

De acordo com Balbo (2009), o esborcinamento é um defeito ligado à ação do tráfego nas proximidades das juntas, mais comum quando há problemas de serragem ainda verde, causa de pequenas quebras que tendem a progredir com o tempo. Também por excesso de argamassa no local ou pela ausência de agregados resistentes nessas regiões da placa.

Figura A. 47 Esquema ilustrativo do esborcinamento da junta longitudinal (fonte: adaptado do FHWA, 2003).

Figura A. 48 Esborcinamento da junta longitudinal (fonte: arquivos pessoais).

Figura A. 49 Esborcinamento da junta longitudinal (fonte: DNIT, 2004).

Figura A. 50 Esquema ilustrativo do esborcinamento da junta transversal (fonte: adaptado do FHWA, 2003).

Figura A. 51 Esborcinamento da junta transversal.

2.6. Esborcinamento ou quebra de canto (Corner spalling)

Encontra-se nos dois métodos (USACE e DNIT) e este defeito difere da fissura de canto pelo fato de interceptar a junta num determinado ângulo (quebra em cunha), ao passo que a fissura de canto ocorre verticalmente em toda a espessura da placa (DNIT, 2004).

Quebra que aparece no canto da placa, tendo forma de cunha, que ocorre em distância não superior a 60 cm do canto da placa. (DER, 2006)

Quebras em juntas de placas e cantos são causadas por tensão interna excessiva no pavimento. Ocorrem quando essas tensões excedem a resistência ao cisalhamento do concreto. Frequentemente são resultados de expansão térmica durante altas temperaturas, com a expansão das placas, elas se empurram nas juntas. Se as juntas estiverem preenchidas com incompressíveis, como areia, ou se uma placa adjacente tem uma altura diferente, tensões podem ficar muito grandes, causando quebras. Uma forma de reduzir significativamente o aparecimento do defeito é através de uma manutenção consciente do selante das juntas (MNDOT, 2014).

As possíveis causas relacionadas às quebras de canto estão associadas à repetição das cargas combinada com a perda da capacidade de suporte da fundação, ao efeito do empenamento da placa (USACE, 1982), ao dimensionamento inadequado ou à ausência das barras de transferência e a processos inadequados da retirada das fôrmas, com a remoção das barras de transferência.

Figura A. 52 Quebra de canto e falha na selagem da junta devido à expulsão do material com subsequente depósito de objetos incompressíveis nesta região.

Figura A. 53 Quebra de canto (fonte: DNIT, 2004).

Figura A. 54 Quebra de canto (fonte: MNDOT, 2014).

2.7. Alçamento das Placas (Blow-ups)

Encontra-se nos dois métodos (USACE e DNIT) e é definido como o desnivelamento das placas nas juntas ou nas fissuras transversais e eventualmente, na proximidade de canaletas de drenagens ou de intervenções feitas no pavimento (DNIT, 2004).

O alçamento das placas é identificado em campo pela presença de um desnivelamento ascendente da placa na região de uma fissura transversal, de uma junta e, eventualmente, na proximidade de canaletas de drenagem ou de reparos executados no pavimento (USACE, 1982).

Figura A. 55 Alçamento das placas (fonte: FHWA, 2003).

O alçamento (ou esmagamento) é causado por pressão e esmagamento de placa contra placa em juntas muito solicitadas por esforços horizontais, aparece bastante em regiões em que há frenagem de veículos pesados (BALBO, 2009).

Esta patologia pode ser ocasionada pelo acúmulo de partículas rígidas na cavidade das juntas e das fissuras que impedem a expansão da placa em dias muito quentes, ou ainda pela saturação das camadas de sub-base e fundação provavelmente devida à falhas no sistema de drenagem da via (USACE, 1982).

Figura A. 56 Alçamento das placas (fonte: DNIT, 2004).

2.8. Placas Divididas (Divided slab)

Encontra-se nos dois métodos (USACE e DNIT) e esta patologia é identificada em campo pela divisão das placas de concreto em quatro ou mais pedaços (DER, 2006).

A divisão das placas feita por fissuras pode ser causada pela sobrecarga ou pela capacidade de suporte inadequada do pavimento (USACE, 1982).

Esse defeito normalmente está associado ao surgimento prévio de fissuras transversais e longitudinais (BALBO, 2009).

Quando uma placa é dividida por fissuras em quatro ou mais pedaços, a placa é dita como dividida ou destruída. Placas divididas é uma categoria de defeito que indica uma falha estrutural significativa de acordo com a qual a placa perde a capacidade de distribuir cargas para o subleito e uma maior deterioração é esperada. Placas

divididas são divididas em três severidades, com a recomendação de troca de placas para as severidades médias e altas (MNDOT, 2014).

Figura A. 57 Placas Divididas (fonte: USACE, 1982).

Figura A. 58 Placas Divididas (fonte: DNIT, 2004).

2.9. Placas Bailarinas

Encontra-se apenas no método do DNIT e é caracterizado por uma placa cuja movimentação vertical é visível sob a ação do tráfego, principalmente na região das juntas (DNIT, 2004).

Figura A. 59 Placa Bailarina (fonte: DNIT, 2004).

2.10. Assentamento

Caracteriza-se pelo afundamento do pavimento, originando ondulação superficial de grande extensão, podendo ocasionar permanência da integridade do pavimento (DER, 2006).

Defeito pode ter origem em perda de suporte, a um recalque diferencial ou a um agravamento das condições de fissuras transversais e longitudinais, ao longo do tempo.

Figura A. 60 Assentamento (fonte: DNIT, 2004).

2.11. Buracos

São reentrâncias côncavas observadas na superfície da placa, provocadas pela perda de concreto no local, apresentando área e profundidade bem definidas (DNIT, 2004).

Defeito resultante da evolução de outros defeitos, como a desagregação de fissuras em feixes ou mesmo partição do concreto em pequenas peças. O concreto vai sofrendo recalque juntamente com a base e o subleito, ou mesmo vai sendo arrancado por ação dos veículos (BALBO, 2009).

Figura A. 61 Buracos (fonte: DNIT, 2004).

ANEXO B

DESCRIÇÃO DETALHADA DOS MÓDULOS PROCESSADOS PELO *PAVEMENT SCANNER*

Os módulos processados pelo software da LCMS que acompanha o equipamento *Pavement Scanner* são 18 ao total e possibilitam diferentes tipos de especificações e a obtenção de diversos tipos de informação, de acordo com a necessidade do estudo. Os detalhes de cada módulo encontram-se a seguir.

1. Trincamento

O módulo de detecção de trincas é, certamente, o módulo de processamento mais importante. Para qualquer seção de rodovia, a biblioteca irá imprimir a lista de fissuras com sua gravidade associada (largura). A detecção de fissuras é realizada a partir da imagem Range (3D), para o qual um limiar de profundidade é aplicado de forma a identificar potenciais trincas.

O parâmetro de limite de profundidade é determinado automaticamente pela biblioteca utilizando a informação local da textura da superfície da rodovia. É realizado um processamento posterior para a remoção de trincas individuais, que são tipicamente causadas por asperezas nas superfícies de estrada, não sendo, portanto um defeito do pavimento.

O passo final do processamento de detecção de fissuras é juntar as trincas restantes, a fim de formar segmentos contínuos. Estes segmentos finais são a lista de trincas salva na cadeia XML.

```

- <CrackInformation>
  <DataFormat>1.3</DataFormat>
  - <Unit>
    <X>millimeter</X>
    <Y>millimeter</Y>
    <Width>millimeter</Width>
    <Depth>millimeter</Depth>
    <Length>meter</Length>
  </Unit>
  - <CrackList>
    + <Crack>
    + <Crack>
    + <Crack>
    + <Crack>
    + <Crack>
    + <Crack>
    - <Crack>
      <CrackID>6</CrackID>
      <Length>1.33</Length>
      - <Node>
        <X>2355.0</X>
        <Y>6924.2</Y>
        <Width>2.9</Width>
        <Depth>4.0</Depth>
      </Node>
      - <Node>
        <X>2330.0</X>
        <Y>6925.7</Y>
        <Width>2.9</Width>
        <Depth>4.7</Depth>
      </Node>
      - <Node>
        <X>2304.7</X>
        <Y>6928.6</Y>
        <Width>3.8</Width>
        <Depth>5.1</Depth>
      </Node>

```

Figura B 1 Exemplo de resultado do trincamento em XML (fonte: arquivo pessoal).

2. Afundamento plástico (trilha de roda)

O módulo de processamento de afundamento plástico permite ao usuário recuperar informações de afundamento: profundidade de trilha de roda, largura do afundamento, a seção transversal, a porcentagem de deformação, etc., para uma seção da rodovia, em diferentes locais, a cada 1 m.

O afundamento plástico pode ser calculado a partir de:

- A norma ASTM E 1703: “Método de Teste Padrão para Medição da profundidade de trilha de roda de superfícies de pavimentos usando régua”;
- O método de arame esticado;
- O método brasileiro (treliça de 1,20m);
- O método de linha de régua em movimento;
- O cálculo Profundidade do afundamento em cinco pontos (AASHTO R48-10).

Não importando qual método seja escolhido, sempre serão calculados dois afundamentos: um na trilha de roda esquerda e outro na direita. O intervalo entre cada medida pode ser configurado pelo usuário.

```
- <RutInformation>
  <DataFormat>2.1</DataFormat>
  - <Unit>
    <Position>meter</Position>
    <Depth>millimeter</Depth>
    <Width>millimeter</Width>
    <CrossSection>square millimeter</CrossSection>
  </Unit>
  - <RutMeasurement>
    <Position>30.000</Position>
    <ProfileIndex>44</ProfileIndex>
    <LaneSide>Left</LaneSide>
    <Depth>1.52</Depth>
    <Width>707.35</Width>
    <CrossSection>560.69</CrossSection>
    <Type>6</Type>
    <PercentDeformation>0.0019</PercentDeformation>
  </RutMeasurement>
  - <RutMeasurement>
    <Position>30.000</Position>
    <ProfileIndex>44</ProfileIndex>
    <LaneSide>Right</LaneSide>
    <Depth>1.29</Depth>
    <Width>587.72</Width>
    <CrossSection>393.54</CrossSection>
    <Type>6</Type>
    <PercentDeformation>0.0019</PercentDeformation>
  </RutMeasurement>
  + <RutMeasurement>
  + <RutMeasurement>
  + <RutMeasurement>
  + <RutMeasurement>
```

Figura B 2 Exemplo de resultado do afundamento plástico em XML (fonte: arquivo pessoal).

3. Macrotextura

O módulo de processamento da macrotextura mede a textura da superfície do pavimento em cada uma das cinco bandas AASHTO: a faixa central, as duas bandas do trilho de roda e as duas bandas de fora.

Figura B 3 Exemplo das cinco bandas da AASHTO (fonte: LCMS Manual, 2016).

O algoritmo é baseado em um "método de mancha de areia digital" que calcula o teor de vazios (ar) entre uma superfície 3D digital e própria superfície da estrada. A saída é um valor Médio de Profundidade de Textura (MPD – Mean Profile Depth) que é semelhante ao método de mancha de areia manual do descrito na norma ASTM E 965 (96): “Método Padrão de Teste para Medição da profundidade de macrotextura em pavimentos usando técnica volumétrica”.

```

- <MacroTextureInformation>
  <DataFormat>2.2</DataFormat>
  - <Unit>
    <Position>meter</Position>
    <Length>meter</Length>
    <BandLimitPositions>meter</BandLimitPositions>
    <MTD>millimeter</MTD>
    <MPD>millimeter</MPD>
    <RMS>millimeter</RMS>
  </Unit>
  - <Bands>
    <NbBands>5</NbBands>
    <BandLimitPositions>0.000000 0.780000 1.530000 2.530000 3.280000 4.061000 </BandLimitPositions>
  </Bands>
  <NbMacroTextureMeasurements>1</NbMacroTextureMeasurements>
  - <MacroTextureMeasurement>
    <Position>571.225342</Position>
    <Length>8.040969</Length>
    - <BandReport>
      <BandIndex>1</BandIndex>
      <MTD>1.036801</MTD>
    </BandReport>
    - <BandReport>
      <BandIndex>2</BandIndex>
      <MTD>1.231614</MTD>
    </BandReport>
    - <BandReport>
      <BandIndex>3</BandIndex>
      <MTD>1.386960</MTD>
    </BandReport>
    - <BandReport>
      <BandIndex>4</BandIndex>
      <MTD>1.539250</MTD>
    </BandReport>
    - <BandReport>
      <BandIndex>5</BandIndex>
      <MTD>1.195565</MTD>
    </BandReport>
  </MacroTextureMeasurement>
</MacroTextureInformation>

```

Figura B 4 Exemplo de resultado de macrotextura em XML (fonte: arquivo pessoal).

4. Marcação de faixa

O módulo de marcação de pista detecta e retorna as posições das marcas de faixa da esquerda e da direita na rodovia. Deve-se notar que outros módulos de processamento utilizam esta informação de marcação. Por exemplo, são utilizados pelo módulo de afundamento plástico de modo que as trilhas de roda estejam dentro da largura da faixa. Da mesma forma, o módulo de detecção de fissuras detecta trincas apenas dentro das duas marcações de pista. Além disso, as posições de marcação de pista são necessárias para determinar as posições das bandas AASHTO utilizados para as medições de macrotextura.

```

- <LaneMarkInformation>
  <DataFormat>1.3</DataFormat>
  - <Unit>
    <Position>millimeter</Position>
    <Length>meter</Length>
  </Unit>
  - <LaneMark>
    <LaneSide>Left</LaneSide>
    <Position>0.000</Position>
    <Length>0.000</Length>
    <Type>0</Type>
  </LaneMark>
  - <LaneMark>
    <LaneSide>Right</LaneSide>
    <Position>3344.000</Position>
    <Length>2.240</Length>
    <Type>1</Type>
  </LaneMark>
</LaneMarkInformation>

```

Figura B 5 Exemplo de resultado de marcação de pista em XML (fonte: arquivo pessoal).

5. Panelas (ou buracos)

Este módulo de processamento detecta os buracos na superfície da rodovia. As características da panela (profundidade máxima, profundidade média, diâmetros maiores e menores, severidade, caixa delimitadora e perímetro) são salvos no arquivo XML.

Deve-se notar que todas as áreas em que um buraco é detectado são excluídas dos resultados para detecção de fissuras, o que torna impossível detectar trincas no interior de um buraco.

A gravidade da panela é determinada de acordo com os critérios definidos pela FHWA (Federal Highway Administration) no “Manual de Identificação de defeitos para programas de pavimentos de alto desempenho” publicado em 2003.

O processamento permite apenas a mudança no parâmetro da largura mínima para ser modificado pelo usuário.

```
- <PotholesInformation>
  <DataFormat>2.1</DataFormat>
  - <Unit>
    <Area>square meter</Area>
    <MaximumDepth>millimeter</MaximumDepth>
    <AverageDepth>millimeter</AverageDepth>
    <MajorDiameter>millimeter</MajorDiameter>
    <MinorDiameter>millimeter</MinorDiameter>
    <BoundingBox>millimeter</BoundingBox>
    <Perimeter>millimeter</Perimeter>
  </Unit>
  - <Pothole>
    <PotholeID>0</PotholeID>
    <MaximumDepth>25.3</MaximumDepth>
    <AverageDepth>11.1</AverageDepth>
    <Area>0.073</Area>
    <Severity>Moderate</Severity>
    <MajorDiameter>643.4</MajorDiameter>
    <MinorDiameter>173.4</MinorDiameter>
    - <BoundingBox>
      <MinX>1030.0</MinX>
      <MaxX>1400.0</MaxX>
      <MinY>225.7</MinY>
      <MaxY>737.6</MaxY>
    </BoundingBox>
    + <Perimeter>
  </Pothole>
```

Figura B 6 Exemplo de resultado de painéis em XML (fonte: arquivo pessoal).

6. Degraus e meio-fio

O módulo detecta e retorna a posição e altura do degrau (ou seja, a borda do degrau, ou o ombro do degrau) na rodovia (se disponível). Esta informação pode ser explorada por outros módulos de processamento.

Os locais dos degraus e meios-fios são utilizados para reposicionar a largura da faixa de rodagem transversal da rodovia, comparando com as posições das marcações de pista.

O módulo pode detectar os locais dos degraus e meios-fios em ambos os lados da pista. A posição e a altura dos degraus e meios-fios encontrados na seção de pista serão escritas no arquivo de resultado XML.

O usuário pode escolher onde colocar a primeira medição e definir o valor do intervalo entre as medições sucessivas. O intervalo no qual as medidas podem ser realizadas variam a cada 10 cm, 1 m, ou 10 m.

```
- <DropoffInformation>
  <DataFormat>1.0</DataFormat>
  - <Unit>
    <PositionX>meter</PositionX>
    <PositionY>meter</PositionY>
    <Height>millimeter</Height>
    <Perimeter>millimeter</Perimeter>
  </Unit>
  - <Measurements>
    - <DropoffData>
      <PositionX>3.7</PositionX>
      <PositionY>0.000</PositionY>
      <Height>20.000</Height>
    </DropoffData>
    - <DropoffData>
      <PositionX>3.7</PositionX>
      <PositionY>10.000</PositionY>
      <Height>18.000</Height>
    </DropoffData>
  </Measurements>
  - <Perimeter>
    - <Node>
      <X>3700.0</X>
      <Y>919.3</Y>
    </Node>
    - <Node>
      <X>3710.0</X>
      <Y>687.0</Y>
    </Node>
  </Perimeter>
</DropoffInformation>
- <CurbInformation>
  <DataFormat>1.0</DataFormat>
  - <Unit>
    <PositionX>meter</PositionX>
    <PositionY>meter</PositionY>
    <Height>millimeter</Height>
    <Perimeter>millimeter</Perimeter>
  </Unit>
  <Measurements> </Measurements>
</CurbInformation>
```

Figura B 7 Exemplo de resultado de degrau/meio-fio em XML (fonte: arquivo pessoal).

7. Juntas para pavimentos de concreto

Este módulo de processamento detecta juntas longitudinais e transversais em pavimentos de concreto. A posição, o comprimento, perímetros e o valor do degrau cada junta transversal são salvos no arquivo XML.

Para as juntas longitudinais, apenas a posição e o comprimento são calculados e salvos no arquivo XML.

Deve-se notar que as áreas em que há uma junta são excluídas dos resultados de detecção de fissuras, o que torna impossível detectar fissuras dentro das juntas.

Três parâmetros podem ser configurados:

- o intervalo transversal (parâmetro A);
- a pegada (parâmetro B);
- a média das larguras das janelas (parâmetro C).

Figura B 8 Exemplo dos 3 parâmetros referentes ao módulo de juntas (fonte: LCMS Manual, 2016).

```

    <BoundingBox>millimeter</BoundingBox>
  </Unit>
  <AutoDetectPavementEnable>0</AutoDetectPavementEnable>
  <AutoPeakDetectionThresholdEnable>1</AutoPeakDetectionThresholdEnable>
  <PeakDetectionThresholdLeft>-1.0</PeakDetectionThresholdLeft>
  <PeakDetectionThresholdRight>-1.0</PeakDetectionThresholdRight>
  <PavementType>Grooved Concrete - Transversal</PavementType>
</PavementTypeInfoInformation>
<ConcreteJointInformation>
  <DataFormat>1.1</DataFormat>
  - <Unit>
    <X1>millimeter</X1>
    <Y1>millimeter</Y1>
    <X2>millimeter</X2>
    <Y2>millimeter</Y2>
    <Length>millimeter</Length>
    <FaultMeasurement>millimeter</FaultMeasurement>
    <TransverseEvalPositions>millimeter</TransverseEvalPositions>
    <SamplingRegion>millimeter</SamplingRegion>
  </Unit>
  - <JointList>
    + <Joint>
      - <Joint>
        <X1>2031.0</X1>
        <Y1>3132.3</Y1>
        <X2>4061.0</X2>
        <Y2>3438.5</Y2>
        <Length>2053.0</Length>
        <NbTransverseFaultEvalPositions>8</NbTransverseFaultEvalPositions>
        <FaultMeasurements>-10000.0 -10000.0 -10000.0 -10000.0 -0.0 -1.4 1.5 -0.9</FaultMeasurements>
        <FaultMeasurementPositionsX>250.000 750.000 1250.000 1750.000 2250.000 2750.000 3250.000
          3750.000</FaultMeasurementPositionsX>
        <FaultMeasurementPositionsY>-1.000 -1.000 -1.000 -1.000 3165.316 3240.752 3316.188
          3391.624</FaultMeasurementPositionsY>
        + <SamplingRegions>
          <MedianPercentRng>96.4</MedianPercentRng>
          <MedianPercentInt>67.5</MedianPercentInt>
          <MedianRngWidth>5.1</MedianRngWidth>
        </SamplingRegions>
      </Joint>
    </JointList>
  - <VerticalJointList>
    - <Joint>
      <X1>3528.3</X1>
      <Y1>0.0</Y1>
      <X2>3545.3</X2>
      <Y2>8048.1</Y2>
      <Length>8048.1</Length>
      <MedianPercentRng>99.3</MedianPercentRng>
      <MedianPercentInt>94.2</MedianPercentInt>
      <MedianRngWidth>5.9</MedianRngWidth>
    </Joint>
  </VerticalJointList>
</ConcreteJointInformation>

```

Figura B 9 Exemplo de resultado de juntas em XML (fonte: arquivo pessoal).

8. Desgaste (módulo opcional)

De acordo com acordo com os critérios definidos pela FHWA (Federal Highway Administration) no “Manual de Identificação de defeitos para programas de pavimentos de alto desempenho” publicado em 2003. O Desgaste é definido como o "desgaste da superfície do pavimento causado por desalojamento de partículas de agregados e perda de ligante asfáltico”. Varia de perda de finos até perda de agregados maiores tendo por fim uma superfície muito áspera e com alguns pequenos buracos demonstrando perda de agregados.

Step-by-step Algorithm:

- For each road section, a 3D curve fitting algorithm is applied to fit a 3D smooth surface over the textured pavement surface.
- The road section is then divided into 250mm x 250mm squares.
- For each square, the "Air Void Content" (AVC) volume is measured between the 3D smooth surface and the 3D pavement surface.
- Ravelling spots (loss of stone) are identified from the LCMS range images.
- Air Void Content is re-measured, this time without considering the ravelling spots. This value gives the Road Porosity Index (RPI).

$$\text{Ravelling Index} = \text{AVC} - \text{RPI}$$

Figura B 10 Algoritmo de cálculo de desgaste (fonte: LCMS Manual, 2016).


```

- <RavelingInformation>
  <DataFormat>1.1</DataFormat>
  - <Unit>
    <AVC>cm3_m2</AVC>
    <RPI>cm3_m2</RPI>
    <RI>cm3_m2</RI>
    <RI_Area>mm2</RI_Area>
    <RavelingIndicator>cm3_m2</RavelingIndicator>
    <AffectedPercentage>none</AffectedPercentage>
  - <ZoneReportListUnit>
    <ZoneWidth>mm</ZoneWidth>
    <ZoneHeight>mm</ZoneHeight>
  </Unit>
  <RavelingIndicator>519.3588</RavelingIndicator>
  <AffectedPercentage>0.9750</AffectedPercentage>
  - <ZoneReportList>
    <ZoneWidth>250</ZoneWidth>
    <ZoneHeight>250</ZoneHeight>
    - <ZoneReport>
      <X>714.0</X>
      <Y>0.0</Y>
      <AVC>2237.036</AVC>
      <RPI>1797.757</RPI>
      <RI>439.279</RI>
      <RI_Area>10940.000</RI_Area>
    </ZoneReport>
    - <ZoneReport>
      <X>964.0</X>
      <Y>0.0</Y>
      <AVC>2072.741</AVC>
      <RPI>1776.057</RPI>
      <RI>296.684</RI>
      <RI_Area>8310.000</RI_Area>
    </ZoneReport>
    - <ZoneReport>
      <X>1214.0</X>
      <Y>0.0</Y>
      <AVC>2405.292</AVC>
      <RPI>1823.565</RPI>
      <RI>581.727</RI>
      <RI_Area>15670.000</RI_Area>
    </ZoneReport>
  </ZoneReportList>
</RavelingInformation>

```

Figura B 11 Exemplo de resultado de desgaste em XML (fonte: arquivo pessoal).

9. Rugosidade

O módulo de rugosidade pode ser utilizado de duas formas diferentes:

- Computar e salvar os perfis longitudinais da estrada;
- Calcular o índice de rugosidade Internacional (IRI) a partir dos perfis longitudinais medidos.

Consequentemente, os usuários têm duas opções: eles podem recuperar os dados dos perfis longitudinais e, em seguida, calcular o índice de rugosidade (que pode ser diferente do IRI, por exemplo) utilizando qualquer software ou método, ou podem calcular os valores IRI para os perfis longitudinais utilizando o programa.

O programa calcula dois (normalmente um para cada trilho de roda) perfis longitudinais da rodovia usando os pontos de dados 3D e as acelerações verticais

armazenados nos arquivos FIS de um levantamento. Os dados de aceleração só serão obtidos se o sistema estiver equipado com os módulos IMU opcionais.

```
- <RoughnessInformation>
  <DataFormat>4.0</DataFormat>
  - <Unit>
    <IRI>m/km</IRI>
    <PositionX>mm</PositionX>
    <LongitudinalInterval>m</LongitudinalInterval>
    <LongitudinalPositionY>m</LongitudinalPositionY>
  </Unit>
  <LongitudinalInterval>2.000</LongitudinalInterval>
  - <RoughnessMeasurements>
    <BelowSpeed>no</BelowSpeed>
    - <Roughness>
      <PositionX>1144.5</PositionX>
      <NbrValues>5</NbrValues>
      <IRI>1.20 1.82 0.61 1.06 0.61 </IRI>
      <LongitudinalPositionY>300.000 302.000 304.000 306.000 308.000 </LongitudinalPositionY>
    </Roughness>
    - <Roughness>
      <PositionX>2894.5</PositionX>
      <NbrValues>5</NbrValues>
      <IRI>0.54 0.59 0.73 1.06 1.42 </IRI>
      <LongitudinalPositionY>300.000 302.000 304.000 306.000 308.000 </LongitudinalPositionY>
    </Roughness>
    - <Roughness>
      <PositionX>2019.5</PositionX>
      <NbrValues>5</NbrValues>
      <HRI>0.77 0.83 0.55 0.90 0.88 </HRI>
      <LongitudinalPositionY>300.000 302.000 304.000 306.000 308.000 </LongitudinalPositionY>
    </Roughness>
  </RoughnessMeasurements>
</RoughnessInformation>
```

Figura B 12 Exemplo de resultado de rugosidade em XML (fonte: arquivo pessoal).

O resultado pode também ser exibido no formato CSV - “Comma Separated Values” (Valores separados por vírgula), que facilmente podem ser utilizados pelo Excel, como no exemplo abaixo.

Number of below speed sections			
0			
Section:	Begin (m)	End (m)	
Overall:	3.38	m/km	
Begin (m)	End (m)	Speed (km)	IRI (m/km)
0	10	51.8	2.88
10	20	51.7	3.42
20	30	51.5	2.01
30	40	51.1	1.39
40	50	51.3	1.64
50	60	51.7	9.34
60	70	51.3	2.89
70	80	51.5	1.78
80	90	51.8	6.65
90	100	52.1	1.7

Figura B 13 Exemplo de resultado de rugosidade em XLSX (fonte: arquivo pessoal).

10. Declividade longitudinal e transversal da via

Este módulo de processamento mede a declividade longitudinal, a declividade transversal e o raio de curvatura da estrada. Os dados obtidos no processamento incluem a declividade longitudinal, a declividade transversal, o raio de curvatura da estrada e o posicionamento destes longitudinalmente na rodovia em um arquivo XML.

O processo simula a colocação um nível com 2,7 metros de comprimento e 5 centímetros de largura, podendo os dois valores serem modificados pelo usuário. Para utilização desta informação é necessário o sistema estar equipado com os módulos IMU opcionais.

```

- <SlopeCrossSlopeInformation>
  <DataFormat>1.0</DataFormat>
  - <Unit>
    <Slope>degree</Slope>
    <CrossSlope>degree</CrossSlope>
    <SurveyPosition>meter</SurveyPosition>
    <Curvature>meter</Curvature>
  </Unit>
  - <SlopeMeasurement>
    <Slope>0.87</Slope>
    <Valid>1</Valid>
    <InsufficientOverlapWarning>0</InsufficientOverlapWarning>
    <SurveyPosition>240.000</SurveyPosition>
  </SlopeMeasurement>
  - <CrossSlopeMeasurement>
    <NbrMeasurements>1</NbrMeasurements>
    <CrossSlope>3.53</CrossSlope>
    <Valid>1</Valid>
    <SurveyPosition>240.000</SurveyPosition>
  </CrossSlopeMeasurement>
  - <CurvatureMeasurement>
    <Curvature>99.4</Curvature>
    <SurveyPosition>240.000</SurveyPosition>
  </CurvatureMeasurement>
</SlopeCrossSlopeInformation>

```

Figura B 14 Exemplo de resultado de declividade em XML (fonte: arquivo pessoal).

11. Cálculo de água presa no perfil transversal

A profundidade de água presa é a quantidade de água que se acumula sobre um perfil transversal. A água normalmente acumula-se nos trilhos de rodas. A causa para retenção de água nos perfis transversais é geralmente uma mistura entre uma grande deformação plástica e uma declividade transversal pequena. Para os perfis transversais o gradiente de drenagem é muito baixo para evacuar a água da rodovia.

O aprisionamento de água é calculado com base na prática padrão para determinar parâmetros da deformação permanente e declividade transversal de perfis transversais. (Padrão AASHTO PP 69-10).

Os módulos de afundamento plástico e de declividade são necessários para calcular as o aprisionamento de água. O cálculo de retenção de água é ativado automaticamente quando estes dois módulos estão habilitados.

```

- <WaterTrapInformation>
  <DataFormat>1.0</DataFormat>
  - <Unit>
    <Position>meter</Position>
    <Depth>millimeter</Depth>
    <Width>millimeter</Width>
  </Unit>
  + <WaterTrapMeasurement>
  - <WaterTrapMeasurement>
    <Position>792.000</Position>
    <ProfileIndex>456</ProfileIndex>
    + <WaterTrap>
    - <WaterTrap>
      <WaterDepth>6.82</WaterDepth>
      <WaterWidth>159.47</WaterWidth>
      - <StraightEdgeCoords>
        - <Point1>
          <X>878.44 </X>
          <Z>9.80 </Z>
        </Point1>
        - <Point2>
          <X>718.96 </X>
          <Z>9.80 </Z>
        </Point2>
      </StraightEdgeCoords>
      - <MidLineCoords>
        - <Point1>
          <X>816.32 </X>
          <Z>16.62 </Z>
        </Point1>
        - <Point2>
          <X>816.32 </X>
          <Z>9.80 </Z>
        </Point2>
      </MidLineCoords>
    </WaterTrap>
    </WaterTrapMeasurement>
  + <WaterTrapMeasurement>
  + <WaterTrapMeasurement>
  + <WaterTrapMeasurement>
  + <WaterTrapMeasurement>
  + <WaterTrapMeasurement>
  + <WaterTrapMeasurement>
  + <WaterTrapMeasurement>
  - <WaterTrapMeasurement>
    <Position>800.000</Position>
    <ProfileIndex>2056</ProfileIndex>
  </WaterTrapMeasurement>
</WaterTrapInformation>

```

Figura B 15 Exemplo de resultado de retenção de água em XML (fonte: arquivo pessoal).

12. Escorregamento de material

O cálculo do escorregamento do material faz parte do módulo de processamento de afundamento plástico. O escorregamento ocorre quando o material é deslocado formando uma protuberância ou levanta-se ao lado de uma área deprimida.

A detecção do evento é feita nas duas trilhas de rodas, o mesmo local utilizado para o cálculo do afundamento plástico.

Figura B 16 Exemplo de escorregamento (fonte: LCMS Manual, 2016).

```
- <ShovingInformation>
  <DataFormat>1.0</DataFormat>
  - <Unit>
    <Position>meter</Position>
    <Depth>millimeter</Depth>
    <Height>millimeter</Height>
    <Width>millimeter</Width>
  </Unit>
  - <ShovingMeasurement>
    <Position>1622.500</Position>
    <LaneSide>Left</LaneSide>
    <ShoveHeight>5.12</ShoveHeight>
    <ShoveWidth>890.10</ShoveWidth>
    <RutDepth>7.24</RutDepth>
    <RutWidth>322.87</RutWidth>
  </ShovingMeasurement>
</ShovingInformation>
```

Figura B 17 Exemplo de resultado de escorregamento em XML (fonte: arquivo pessoal).

13. Detecção de perda de agregados

Perda de agregados é definida como a falta de pequenos agregados na superfície do pavimento. Esta normalmente relacionada com superfícies muito quebradiças (envelhecimento do material) que lentamente perde agregados na superfície do pavimento ou agregados que não são compatíveis com o material betuminoso da superfície.

O processamento detecta cada agregado faltante a partir das imagens RANGE e salvam suas características (área, caixa delimitadora e perímetro) no arquivo XML. O usuário pode utilizar o arquivo XML para fazer uma análise por seção de rodovia, media a área afetada e outras possibilidades.

```
- <PickOutInformation>
  <DataFormat>1.0</DataFormat>
  - <Unit>
    <Area>cm squared</Area>
    <BoundingBox>mm</BoundingBox>
    <Perimeter>mm</Perimeter>
  </Unit>
  - <PickOut>
    <Area>0.82</Area>
    - <BoundingBox>
      <MinX>1900.0</MinX>
      <MaxX>1912.0</MaxX>
      <MinY>43.2</MinY>
      <MaxY>52.7</MaxY>
    </BoundingBox>
    + <Perimeter>
    </PickOut>
  - <PickOut>
    <Area>3.96</Area>
    - <BoundingBox>
      <MinX>890.0</MinX>
      <MaxX>914.0</MaxX>
      <MinY>11.4</MinY>
      <MaxY>36.4</MaxY>
    </BoundingBox>
    - <Perimeter>
      - <Node>
        <X>906.0</X>
        <Y>11.4</Y>
      </Node>
      - <Node>
        <X>910.0</X>
        <Y>12.2</Y>
      </Node>
      - <Node>
        <X>914.0</X>
        <Y>13.1</Y>
      </Node>
      - <Node>
        <X>914.0</X>
        <Y>18.3</Y>
      </Node>
      - <Node>
        <X>914.0</X>
        <Y>23.4</Y>
      </Node>
    </Perimeter>
  </PickOut>
</PickOutInformation>
```

Figura B 18 Exemplo de resultado de perda de agregados em XML (fonte: arquivo pessoal).

14.Exsudação

A exsudação é descrita como o excesso de ligante asfáltico na superfície do pavimento, que ocorre muitas vezes nas trilhas de rodas.

O processamento é feito a partir da divisão da seção em regiões menores com comprimento e largura definidas pelo usuário. É realizada uma comparação entre as texturas das trilhas de rodas com a região central da faixa (bandas #2 e #4 em relação a banda # 3 da AASHTO) e a diferença obtida define a ocorrência de exsudação a partir de um limite estabelecido pelo usuário.

```
<BleedingInformation>
  <DataFormat>1.0</DataFormat>
  <Unit>
    <BleedingPercent>%</BleedingPercent>
    <BBox>mm</BBox>
  </Unit>
  <Measurements>
    <BleedingData>
      <BleedingPercent>
        <Left>23.1</Left>
        <Right>30.8</Right>
      </BleedingPercent>
    </BleedingData>
  </Measurements>
  <BleedingBbox>
    <LeftWheelPath>
      <BBox>
        <Left>659.0</Left><Right>1409.0</Right><Bottom>1929.6</Bottom><Top>2413.4</Top>
      </BBox>
      <BBox>
        <Left>659.0</Left><Right>1409.0</Right><Bottom>2413.4</Bottom><Top>2897.1</Top>
      </BBox>
      <BBox>
        <Left>659.0</Left><Right>1409.0</Right><Bottom>2897.1</Bottom><Top>3380.9</Top>
      </BBox>
    </LeftWheelPath>
    <RightWheelPath>
      <BBox>
        <Left>2409.0</Left><Right>3159.0</Right><Bottom>4348.4</Bottom><Top>4832.2</Top>
      </BBox>
      <BBox>
        <Left>2409.0</Left><Right>3159.0</Right><Bottom>4832.2</Bottom><Top>5316.0</Top>
      </BBox>
      <BBox>
        <Left>2409.0</Left><Right>3159.0</Right><Bottom>5316.0</Bottom><Top>5799.8</Top>
      </BBox>
      <BBox>
        <Left>2409.0</Left><Right>3159.0</Right><Bottom>5799.8</Bottom><Top>6003.2</Top>
      </BBox>
    </RightWheelPath>
  </BleedingBbox>
</BleedingInformation>
```

Figura B 19 Exemplo de resultado de exsudação em XML (fonte: arquivo pessoal).

15. Coordenadas GPS

Coordenadas GPS e a data do levantamento são salvos em todos os módulos no arquivo tipo XML.

```
- <GPSInformation>
  - <GPSCoordinate>
    <Longitude>-79.642062</Longitude>
    <Latitude>43.691837</Latitude>
    <Altitude>170.866000</Altitude>
    <Time>05:17:39:00</Time>
    <Date>01-5-2013</Date>
    <NbrOfSatellites>9</NbrOfSatellites>
    <SignalQuality>2</SignalQuality>
  </GPSCoordinate>
</GPSInformation>
```

Figura B 20 Exemplo de resultado de coordenadas GPS em XML (fonte: arquivo pessoal).

16. Marcação de contorno (marcação de pista)

O módulo de marcação do contorno é utilizado para determinar o limite de quaisquer marcas na superfície da rodovia (faixas de sinalização, setas, etc.). Este módulo está sempre ativado no processamento dos dados. Ele não tem efeito sobre os resultados de saída, a menos que o usuário decida excluir as trincas que são detectadas ao longo das marcações da superfície da rodovia. O perímetro de cada contorno identificado é salvo no arquivo tipo XML.

Figura B 21 Exemplo de marcação de contorno, da esquerda para a direita: imagem RANGE, marcação com trincamento e marcação com trincamento removido (fonte: LCMS Manual, 2016).

```

- <MarkingContourInformation>
  <DataFormat>2.0</DataFormat>
  - <Unit>
    <Area>square_meter</Area>
    <Perimeter>millimeter</Perimeter>
  </Unit>
  - <MarkingContour>
    <MarkingID>0</MarkingID>
    - <BoundingBox>
      <MinX>4.0</MinX>
      <MaxX>2004.0</MaxX>
      <MinY>0.0</MinY>
      <MaxY>3487.8</MaxY>
    </BoundingBox>
    <Area>0.767</Area>
    <AvgIntensity>177</AvgIntensity>
    - <Perimeter>
      - <Node>
        <X>214.0</X>
        <Y>4.5</Y>
      </Node>
      - <Node>
        <X>224.0</X>
        <Y>8.9</Y>
      </Node>
      - <Node>
        <X>224.0</X>
        <Y>17.9</Y>
      </Node>
      - <Node>
        <X>234.0</X>
        <Y>22.3</Y>
      </Node>
      - <Node>
        <X>244.0</X>
        <Y>26.8</Y>
      </Node>
      - <Node>
        <X>244.0</X>
        <Y>35.7</Y>
      </Node>
    </Perimeter>
  </MarkingContour>
</MarkingContourInformation>

```

Figura B 22 Exemplo de resultado de marcação de contorno em XML (fonte: arquivo pessoal).

17. Trincas seladas

O módulo de detecção de trincas seladas tem um algoritmo que assume que a superfície da trinca selada é mais suave do que o resto do pavimento. Portanto, a detecção é realizada tanto pela imagem RANGE (3D) e pela imagem de intensidade (2D) a partir do qual as informações de suavidade (semelhante à textura) e bordas (contraste nas imagens de intensidade) são extraídas. Depois disso, as operações de filtragem e morfológicas são realizadas a fim de se obter as regiões com maiores

possibilidades de apresentarem trincas seladas. Em seguida, estes candidatos são validados com as informações de suavidade para obter os resultados finais. As trincas seladas são exibidas sobre as imagens de resultado como uma mancha vermelha, também é possível visualizar uma representação em esqueleto das diferentes bolhas.

Este módulo de processamento tem algumas características importantes:

- Uma trinca selada com algum tipo de dano será identificada como um trincamento padrão;
- a detecção de trincas seladas não funciona muito bem em pavimentos molhados;
- defeitos como derrapagens, trilhas de óleo e juntas podem atrapalhar na detecção de trincas seladas.

Figura B 23 Exemplo de trincas seladas (fonte: LCMS Manual, 2016).

```

- <SealedCrackInformation>
  <DataFormat>3.0</DataFormat>
  - <Unit>
    <Perimeter>millimeter</Perimeter>
    <Area>square_meter</Area>
  </Unit>
  - <SealedCrackPerimeters>
    - <SealedCrack>
      <SealedCrackID>0</SealedCrackID>
      - <BoundingBox>
        <MinX>2730.0</MinX>
        <MaxX>2900.0</MaxX>
        <MinY>5.0</MinY>
        <MaxY>2745.0</MaxY>
      </BoundingBox>
      <SmoothnessInside>1.552</SmoothnessInside>
      <SmoothnessOutside>2.091</SmoothnessOutside>
      <AvgIntensity>41</AvgIntensity>
      <Area>0.223</Area>
      + <Perimeter>
    </SealedCrack>
    + <SealedCrack>
    + <SealedCrack>
  </SealedCrackPerimeters>
- <SealedCrackSkeletonList>
  + <SkeletonComponent>
  - <SkeletonComponent>
    <ID>1</ID>
    - <Node>
      <X>3360.0</X>
      <Y>126.3</Y>
    </Node>
    - <Node>
      <X>3380.0</X>
      <Y>126.3</Y>
    </Node>
  </SkeletonComponent>
</SealedCrackSkeletonList>

```

Figura B 24 Exemplo de resultado de trincas seladas em XML (fonte: arquivo pessoal).

18. Parâmetros de renderização

Os parâmetros de renderização permitem ao usuário especificar como os resultados de detecção (fissuras, marcas de pista, etc.) serão exibidos sobre as imagens de resultado (cores das linhas, espessura das linhas, etc.). As cores são expressas como valores RGB (Vermelho, Verde, Azul). Seu formato no arquivo de parâmetro deve ser o seguinte: R, G, B em que R, G e B são valores inteiros entre 0-255.