



PROJETO DE PESQUISA – PAVIMENTO FLEXIVEL

BELO HORIZONTE
2011



BRÁULIO ABREU CAMPOS
EUSTÁQUIO COSTA SOARES
JOÃO LUIS RIBEIRO SQUILLACE

PROJETO DE PESQUISA – PAVIMENTO FLEXIVEL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Pós Graduação em Patologias das Obras Civas, Pós-Graduação *lato sensu*, do Instituto IDD como requisito parcial para obtenção do Grau de Especialista em Patologia nas Obras Civas.

Orientador: Prof. Msc. Luís Cesar De Luca

BELO HORIZONTE

2011

AGRADECIMENTOS

FOLHA DE APROVAÇÃO

PAVIMENTO FLEXIVEL

Por

BRÁULIO ABREU CAMPOS

EUSTÁQUIO COSTA SOARES

JOÃO LUIS RIBEIRO SQUILLACE

TRABALHO APROVADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA A
OBTENÇÃO DO TÍTULO DE ESPECIALISTA EM PATOLOGIAS NAS
OBRAS CIVIS, DO INSTITUTO IDD, PELA COMISSÃO FORMADA PELOS
PROFESSORES A SEGUIR MENSIONADOS.

Belo Horizonte, 16 de Dezembro de 2011

Prof. Luís Cesar De Luca, Msc.

Prof. Rodrigo Moysés Costa, Dr.

Prof. Otávio Borba Vieira, Esp.

RESUMO

O projeto de pesquisa avalia o estado de conservação do pavimento flexível através das manifestações patológicas, na Avenida Alano Melgaço, entre a Avenida Argentina e Rua Doutor Candido, situada em Pará de Minas/MG. Foram apresentadas as principais causas e os tipos de manifestações patológicas, os principais ensaios laboratoriais e in loco, metodologias de restauração e recuperação. Foram escolhidos aleatoriamente dois trechos (estações) onde foram feitas as inspeções, os levantamentos de dados e preenchidas as fichas de campo mensurando cada tipo de defeito. Com o cálculo do IES (Índice do Estado de Superfície), segundo a norma do DNIT 008/2003 – PRO, e os conceitos quantitativos e qualitativos das condições do pavimento flexível para cada trecho analisado, obteve-se o grau real do estado da superfície do pavimento na Avenida Alano Melgaço. Com base na norma 006/2003 do DNIT-PRO, nos conceitos estudados, nos tipos de intervenção de recuperação e reabilitação do pavimento, visando à segurança e o conforto dos usuários, a solução julgada adequada para este caso é a reconstrução da base e do revestimento do pavimento reciclando o material retirado da capa asfáltica aumento da resistência da base.

Palavras-chave: Pavimento Flexível, Manifestações Patológicas, Avaliação, Recuperação, Reciclagem, Levantamento

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Deterioração do Pavimento e do Programa de Manutenção – AASHTO....	23
Figura 2 – Cargas no Pavimento (Santana, 1993).	29
Figura 3 – Desenho esquemático das camadas dos Pavimentos Flexíveis. Fonte: Senço, W. Manual de Técnicas de Pavimentação. São Paulo: editora Pini, 1997.....	30
Figura 4 – Desenho esquemático das camadas dos Pavimentos Rígidos. Fonte: Souza, M.L. Pavimentação Rodoviária, Rio de Janeiro: LTC Ed. 1980.....	31
Figura 5 – Classificação dos Revestimentos Flexíveis. Fonte: Manual de Pavimentação DNIT, 2006.	32
Figura 6 – Classificação das Bases e Sub-base flexíveis e Semirrígidas. Fonte Manual de Pavimentação DNIT, 2006	35
Figura 7 Ilustração da análise por peneiramento	47
Figura 8 – Graduações típicas de agregados	50
Figura 9 – Variação da serventia com o tráfego ou com o tempo decorrido de utilização da via.....	110
Figura 10 – Período recomendável para a manutenção dos pavimentos	112
Figura 11 – Período recomendável para a manutenção dos pavimentos	112
Figura 12 – Diversas faixas de variação do IRI dependendo do caso e situação (Sayers e Karamihas, 1998).	113
Figura 13 – Perfilômetro da AASHO empregando inicialmente na avaliação de suas pistas experimentais (Carey, Hunckins e Leathers, 1962).	114
Figura 14 – Exemplo de equipamento dipstick e esquema de funcionamento.	115
Figura 15 – Exemplo de equipamento APL francês.	116
Figura 16 – Exemplo de equipamento munido de barra com ultrassom	116
Figura 17 – Exemplos de equipamentos medidores de irregularidade de classe II. ...	117
Figura 18 – Exemplo de equipamento Merlin medidor de irregularidade.....	118
Figura 19 – Treliça metálica para medida dos afundamentos em trilha de roda.....	119
Figura 20 – Exemplo de demarcação de áreas para inventário de defeitos	120
Figura 21 – Representações esquemáticas de curvas de desempenho de um pavimento e etapas de restauração.	125
Figura 22 – Exemplos de extração de corpos de prova e de poços de sondagem em pavimentos em uso.....	127

Figura 23 – Exemplo de equipamentos DCP de avaliação estrutural expedita de subleitos e camadas de solo.....	127
Figura 24 – Equipamento de avaliação expedita do módulo elástico do pavimento (Foto: Abdou, 2005).....	128
Figura 25 - Esquema da viga Benkelman (DNER-ME 24/94) e exemplo de medida em Campo.....	130
Figura 26 – Passos do ensaio com a viga Benkelman.....	131
Figura 27 – Esquema de um defletômetro de impacto.....	132
Figura 28 Exemplo de selagem de trincas	135
Figura 29 - Posicionamento de geotêxtil em pavimento recapeado	138
Figura 30 - Exemplo de execução de geotêxtil em restauração de revestimento asfáltico (Fotos: Gonçalves).....	139
Figura 31 - Exemplo de execução de geogrelha em restauração de revestimento asfáltico (Fotos: Montestruque).....	141
Figura 32 - Posicionamento da camada intermediária de alívio de tensões	142
Figura 33 - Posicionamento de camada de interrupção de trincas.....	142
Figura 34 - Reciclagem com espuma de asfalto (Foto: Morilha Jr.).....	143
Figura 35 – Mapa da cidade de Pará de Minas – MG	144
Figura 36 - Vista panorâmica da Av. Alano Melgaço.....	145
Figura 37 - Vista do trecho em estudo	145
Figura 38 – Estaqueamento do trecho em estudo.....	146
Figura 39 – Demarcação de áreas para inventários de defeitos	147
Figura 40 – Variação da serventia com o tráfego ou tempo decorrido de utilização da via.....	164

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Especificações para cimento asfáltico de petróleo (cap) classificação por penetração (Portaria DNC 5 de 18/02/1993) vigente até julho de 2005.	40
Tabela 2 - Especificações para cimento asfáltico de petróleo (cap) Classificação por viscosidade (Portaria DNC 5 de 18/02/1993) vigente até julho de 2005.....	40
Tabela 3 Nova especificação do cimento asfáltico de petróleo (anp. 2005).	41
Tabela 4 Tipos de rochas comumente usados como fonte de agregado para pavimento no país.	43
Tabela 5 – Dimensões nominais das peneiras segundo o DNER-ME 035/95.	48
Tabela 6 – Níveis de serventia (DNIT, 2003 d).	110
Tabela 7 – Conceitos do índice de Gravidade Global IGG por Faixa de Valores.	121
Tabela 8 – Classificação da textura de um pavimento.	123
Tabela 9 - Quadro de classificação de vias - Município de Belo Horizonte (SUDECAP/96)	150
Tabela 10 - Manifestações patologias – ESTAÇÃO 01	156
Tabela 11 – Manifestações patologias – ESTAÇÃO 11	161
Tabela 12 – Valor do fator de ponderação	162
Tabela 13 - Avaliação Visual nas 15 Estações.....	162
Tabela 14 – IGG - Somatório dos índices de gravidade individual	163
Tabela 15 – Conceitos de degradação do pavimento em função do IGG.....	163
Tabela 16 – Cálculo do VSA – Valor de serventia atual	163
Tabela 17 – Tabela de avaliação funcional e estrutural do Pavimento.....	165
Tabela 18 – Boletim de Sondagem	166
Tabela 19- Quadro Resumo da Sondagem.....	166
Tabela 20 – Resultado do Ensaio Viga Benkelman	167
Tabela 21 - Inventário do Estado de Superfície do Pavimento – DNIT PRO 006/06 e PRO 128/83.....	168

LISTA DE FOTOS

Foto 1 – Baixa Severidade.....	54
Foto 2 – Média Severidade	55
Foto 3 – Alta Severidade	55
Foto 4 – Baixa Severidade.....	57
Foto 5 – Média Severidade	57
Foto 6 – Alta Severidade	58
Foto 7 – Baixa Severidade.....	60
Foto 8 – Média Severidade	60
Foto 9 – Alta Severidade	61
Foto 10 – Baixa Severidade.....	63
Foto 11 – Média Severidade	63
Foto 12 – Alta Severidade	64
Foto 13 – Baixa Severidade.....	65
Foto 14 – Média Severidade	66
Foto 15 – Alta Severidade	66
Foto 16 – Baixa Severidade.....	68
Foto 17 – Média Severidade	68
Foto 18 - Alta Severidade	69
Foto 19 – Trincamento Parabólico	70
Foto 20 – Trincamento Parabólico	71
Foto 21 - Baixa Severidade.....	72
Foto 22 – Média Severidade	73
Foto 23 – Alta Severidade	73
Foto 24 – Baixa Severidade.....	75
Foto 25 – Média Severidade	75
Foto 26 – Alta Severidade	76
Foto 27 – Baixa Severidade.....	77

Foto 28 - Média Severidade.....	78
Foto 29 – Alta Severidade	78
Foto 30 – Baixa Severidade.....	80
Foto 31 – Média Severidade	80
Foto 32 – Alta Severidade	81
Foto 33 – Baixa Severidade.....	82
Foto 34 – Média Severidade	83
Foto 35 – Alta Severidade	83
Foto 36 – Baixa Severidade.....	85
Foto 37 – Média Severidade	85
Foto 38 – Alta Severidade	86
Foto 39 Agregado Polido	87
Foto 40 – Baixa Severidade.....	89
Foto 41 – Baixa Severidade.....	89
Foto 42 – Alta Severidade	90
Foto 43 – Baixa Severidade.....	91
Foto 44– Média Severidade	92
Foto 45 - Alta Severidade	92
Foto 46 – Baixa Severidade.....	94
Foto 47 – Média Severidade	94
Foto 48 – Alta Severidade	95
Foto 49 – Baixa Severidade.....	96
Foto 50 - Média Severidade.....	97
Foto 51 – Alta Severidade	97
Foto 52 – Baixa Severidade.....	99
Foto 53 – Média Severidade	99
Foto 54 – Alta Severidade	100
Foto 55 – Baixa Severidade.....	101
Foto 56 – Média Severidade	102

Foto 57 – Alta Severidade	102
Foto 58 – Baixa Severidade.....	104
Foto 59 – Média Severidade	104
Foto 60 – Alta Severidade	104
Foto 61 – Baixa Severidade.....	106
Foto 62 – Média Severidade	106
Foto 63 – Alta Severidade	107
Foto 64 – Baixa Severidade.....	108
Foto 65 - Média Severidade.....	108
Foto 66 – Alta Severidade	109
Foto 67 – Vista frontal do pavimento asfáltico estação 1 – Lado esquerdo – sentido Bairro/Centro	147
Foto 68 – Método adotado de subdivisão de áreas utilizadas para inventário superficial do pavimento - estações 1 e 11	148
Foto 69 – Vista frontal do pavimento asfáltico estação 11 – Lado Direito – sentido Bairro/Centro	148
Foto 70 – Vista geral das manifestações patologias – ESTAÇÃO 01.....	152

TABELA DE EQUAÇÕES

Equação 1	121
Equação 2	129
Equação 3	161
Equação 4	162

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	22
1.1	PROBLEMA DE PESQUISA	24
1.2	OBJETIVOS	24
1.2.1.	Objetivos Gerais	24
1.2.2.	Objetivos Específicos.....	24
1.3	HIPÓTESE	24
1.4	JUSTIFICATIVAS.....	25
1.4.1.	Tecnológicas.....	25
1.4.2 -	Econômicas	25
1.4.3 -	Sociais	26
1.4.4	Ecológicas	26
1.5	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	27
1.6	APRESENTAÇÕES DO TRABALHO	27
2.	PAVIMENTO FLEXÍVEL	29
2.1	CLASSIFICAÇÃO DOS PAVIMENTOS	30
2.1.1.	Pavimentos Flexíveis	30
2.1.2.	Pavimentos Semi-rígidos	31
2.1.3.	Pavimentos Rígidos	31
2.2	ESTRUTURA DOS PAVIMENTOS FLEXÍVEIS.....	32
2.2.1	Camada de Revestimento.....	32
2.2.1.1	Revestimentos Flexíveis Betuminosos	33
2.2.1.2	Revestimentos Flexíveis por Calçamento	34
2.2.2.	Camada de Base e Sub-base	35
2.2.2.1	Bases e Sub-base Flexíveis e semi-rígidas	36
2.2.2.2	Bases e Sub-bases Granulométricas	36
2.2.2.3	Bases e Sub-bases Estabilizadas (com aditivos).....	37
2.2.3.	Reforço do Subleito	38

2.2.4. Regularização do Subleito (nivelamento).....	38
2.2.5. Leito.....	38
2.3 MATERIAIS QUE COMPÕEM OS PAVIMENTOS FLEXÍVEIS.....	38
2.3.1. Ligantes Asfálticos	38
2.3.2. Agregado	42
2.3.2.1. Quanto a Natureza	42
2.3.2.2. Quanto ao Tamanho.....	45
2.3.2.3 Quanto a Distribuição dos Grãos.....	47
2.4 FATORES QUE AFETAM O DESEMPENHO DO PAVIMENTO.....	50
2.5 PATOLOGIA DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS.....	51
2.5.1 Fissuras	52
2.5.1.1. Causas Prováveis.....	52
2.5.1.2. Mecanismo de Ocorrência.....	52
2.5.1.3. Localização	52
2.5.1.4. Classe	52
2.5.1.5. Níveis de Severidade	53
2.5.2. Trincamento por Fadiga (TF)	53
2.5.2.1. Causas Prováveis.....	53
2.5.2.2. Mecanismo de Ocorrência.....	53
2.5.2.3. Localização	54
2.5.2.4 Classe	54
2.5.2.5. Níveis de Severidade:	54
2.5.2.6. Método de Medição	55
2.5.3. Trincamento Transversal (TT).....	56
2.5.3.1. Causas Prováveis.....	56
2.5.3.2 Mecanismo de Ocorrência.....	56
2.5.3.3. Localização	57
2.5.3.4. Classe	57
2.5.3.5. Nível de Severidade	57

2.5.3.6. Método de Medição	58
2.5.4 Trincamento Longitudinal.....	58
2.5.4.1. Causas Prováveis.....	59
2.5.4.2 Mecanismo de Ocorrência.....	59
2.5.4.3. Localização	59
2.5.4.4. Classe	60
2.5.4.5 Níveis de Severidade	60
2.5.4.6. Método de Medição	61
2.5.5. Trincamento em Blocos	61
2.5.5.1. Causas Prováveis.....	62
2.5.5.2. Mecanismo de Ocorrência.....	62
2.5.5.3. Localização	62
2.5.5.5. Classe	62
2.5.5.6. Níveis de Severidade	63
2.5.5.6. Método de Medição	64
2.5.6 Trincamento por Propagação de Juntas (TJ).	64
2.5.6.1 Causas Prováveis	65
2.5.6.2 Mecanismo de Ocorrência.....	65
2.5.6.3 Localização	65
2.5.6.4 Classes	65
2.5.6.6 Método de Medição	67
2.5.7 Trincamento na Borda (TBd).....	67
2.5.7.1 Causas Prováveis	67
2.5.7.3 Localização	68
2.5.7.4 Classe	68
2.5.7.5 Níveis de Severidade.	68
2.5.7.6 Mecanismos de Medição.....	69
2.5.8 Trincamento Parabólico (TP)	69
2.5.8.1 Causas Prováveis	69

2.5.8.2 Mecanismo de ocorrência.....	70
2.5.8.3 Localização	70
2.5.8.4 Classe	70
2.5.8.5 Níveis de Severidade.	70
2.5.8.6 Mecanismo de Medição.....	71
2.5.9 Remendos/Deterioração de Remendos (Re)	71
2.5.9.1 Causas Prováveis	71
2.5.9.2 Mecanismo de Ocorrência.....	72
2.5.9.3 Localização.	72
2.5.9.4 Classe	72
2.5.9.5 Níveis de Severidade	72
2.5.9.6 Método de Medição	73
2.5.10 Painelas (P)	74
2.5.10.1 Causas Prováveis.....	74
2.5.10.2 Mecanismos de Ocorrência	74
2.5.10.3 Localização	74
2.5.10.4 Classe	74
2.5.10.5 Níveis de Severidade.	75
2.5.10.6 Método de Medição	76
2.5.11 Depressão (Dp).....	76
2.5.11.1 Causas	76
2.5.11.2 Mecanismos de Ocorrência	77
2.5.11.3 Localização	77
2.5.11.4 Classe	77
2.5.11.5 Níveis de Severidade	77
2.5.11.6 Método de Medição	78
2.5.12 Afundamento de Trilha de Roda (ATR)	79
2.5.12.1 Causas Prováveis.....	79
2.5.12.2 Mecanismo de Ocorrência.....	79

2.5.12.3 Localização	79
2.5.12.4 Classe	79
2.5.12.5 Níveis de Severidade	80
2.5.12.6 Método de Medição	81
2.5.13 Corrugação	81
2.5.13.1 Causas Prováveis.....	81
2.5.13.2 Mecanismo de Ocorrência.....	82
2.5.13.3 Localização	82
2.5.13.4 Classe	82
2.5.13.5 Níveis de Severidade	82
2.5.13.6 Método de Medição	83
2.5.14 Deformação Plástica do Revestimento (DPR) - Escorregamento.....	84
2.5.14.1 Causas Prováveis.....	84
2.5.14.2 Mecanismos de Ocorrência	84
2.5.14.3 Localização	84
2.5.14.4 Classe	85
2.5.14.5 Nível de Severidade	85
2.5.14.6 Método de Medição	86
2.5.15 Agregados Polidos (AP).....	86
2.5.15.1 Causas Prováveis.....	86
2.5.15.2 Mecanismo de Ocorrência.....	87
2.5.15.3 Localização	87
2.5.15.4 Classe	87
2.5.15.5 Níveis de Severidade	87
2.5.15.6 Método de Medição	87
2.5.16 Exsudação	88
2.5.16.1 Causas Prováveis.....	88
2.5.16.2 Mecanismo de Ocorrência.....	88
2.5.16.3 Localização	88

2.5.16.4 Classe	88
2.5.16.5 Níveis de Severidade	89
2.5.16.6 Método de Medição	90
2.5.17 Empolamento (Ep)	90
2.5.17.1 Causas Prováveis.....	90
2.5.17.2 Mecanismo de Ocorrência.....	91
2.5.17.3 Localização.	91
2.5.17.4 Classe	91
2.5.17.5 Níveis de Severidade	91
2.5.17.6 Método de Medição	92
2.5.18 Desintegração (Di)	93
2.5.18.1 Causas Prováveis.....	93
2.5.18.2 Mecanismo de Ocorrência.....	93
2.5.18.3 Localização.	93
2.5.18.4 Classe	93
2.5.18.5 Níveis de Severidade	94
2.5.18.6 Método de Medição	95
2.5.19 Intemperismo	95
2.5.19.1 Causas Prováveis.....	95
2.5.19.2 Mecanismo de Ocorrência.....	96
2.5.19.3 Localização	96
2.5.19.4 Classe	96
2.5.19.5 Níveis de Severidade	96
2.5.19.6 Método de Medição	97
2.5.20 Desagregação	98
2.5.20.1 Causas Prováveis.....	98
2.5.20.2 Mecanismo de Ocorrência.....	98
2.5.20.3 Localização	98
2.5.20.4 Classe	98

2.5.20.5 Níveis de Severidade	99
2.5.20.6 Método de Medição	100
2.5.21 Desnível entre a Pista e o Acostamento (DPA).....	100
2.5.21.1 Causas Prováveis.....	100
2.5.21.2 Mecanismo de Ocorrência.....	101
2.5.21.3 Localização	101
2.5.21.4 Classe	101
2.5.21.5 Níveis de Severidade	101
2.5.21.6 Método de Medição	102
2.5.22 Separação entre a Pista e o Acostamento (SPA).....	102
2.5.22.1 Causas Prováveis.....	103
2.5.22.2 Mecanismo de Ocorrência.....	103
2.5.22.3 Localização	103
2.5.22.4 Classe	103
2.5.22.5 Níveis de Severidade	103
2.5.22.6 Método de Medição	105
2.5.23 Bombeamento d água (B).....	105
2.5.23.1 Causas Prováveis.....	105
2.5.23.2 Mecanismo de Ocorrência.....	105
2.5.23.3 Localização	105
2.5.23.4 Classe	105
2.5.23.5 Níveis de Severidade	106
2.5.23.6 Método de Medição	107
2.5.24 Afloramento d água (Af).....	107
2.5.24.1 Causas Prováveis.....	107
2.5.24.2 Mecanismo de Ocorrência.....	107
2.5.24.3 Localização	108
2.5.24.4. Classe	108
2.5.24.5 Níveis de Severidade	108

2.5.24.6 Método de Medição	109
2.6 DIAGNÓSTICOS DE DEFEITOS	109
2.6.1 Serventia	110
2.6.2 Irregularidade Longitudinal.....	112
2.6.3 Avaliação Objetiva de Superfície pela Determinação do IGG	119
2.6.4 Avaliação de aderência em pistas molhadas	121
2.6.5 Avaliação de Ruído Provocado pelo Tráfego	123
2.6.6 Avaliação Estrutural de Pavimentos Asfálticos.....	123
2.6.7 Métodos de Avaliação Estrutural.....	125
2.6.8 Equipamentos de Avaliação Estrutural não destrutiva.....	128
2.6.8.1 Viga Benkelman (VB)	129
2.7 ALTERNATIVAS DE RESTAURAÇÃO.....	133
2.7.1 Técnicas de Restauração de Pavimentos com Problemas Funcionais.....	134
2.7.2 Técnica de Restauração de Pavimentos com Problemas Estruturais.....	136
2.7.3 Considerações sobre o Trincamento por Reflexão.....	137
2.7.3.1 Emprego de Geossintéticos.....	137
2.7.3.2 Camadas Intermediárias de Alívio de Tensões.....	141
2.7.3.3 Camadas de Dissipação de Trincas	141
2.7.3.4 Espessura de Recapeamento Aumentada	141
2.7.3.5 Reciclagem do Revestimento Existente.....	142
2.7.3.6 Emprego de Revestimentos Asfálticos com Ligantes Modificados.....	143
3. ESTUDO DE CASO.....	144
3.1 LOCALIZAÇÃO	144
3.2 PROCEDIMENTOS DE LEVANTAMENTO DE DADOS.....	146
3.2.1 Levantamento dos Dados Visuais	149
3.2.2 Levantamento dos Dados Estruturais e Funcionais	150
3.2.3 – Data da Realização.....	151
4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	152
4.1 Identificação da Frequência dos Defeitos	152

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	169
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	170

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho visa determinar a melhor solução tecnológica para recuperação do pavimento flexível da Av. Alano Melgaço no trecho entre a Av. Argentina e Rua Doutor Candido em Pará de Minas, Minas Gerais.

Convive-se, em vias urbanas com médio a elevado volume de tráfego comercial (ônibus e caminhões), com diversas dificuldades técnicas na definição de espessuras e materiais a serem empregados durante a elaboração de reforços em misturas asfálticas nos pavimentos. Tais dificuldades muitas vezes resultam em soluções inadequadas de manutenção, existindo vários aspectos que permeiam a questão.

Um dos problemas fundamentais é a não elaboração de um projeto de manutenção detalhado, que permita apontar os problemas existentes de maneira detalhada e encaminhar soluções que estejam adequadas com necessidades estruturais do pavimento. Decisões quanto a “recapeamentos” são muitas vezes tomadas de maneira precipitada buscando respostas imediatistas para os problemas, que podem atender de maneira rápida aos usuários, porém com eficácia discutível.

Tal condição não é incomum em grandes cidades brasileiras, e aparentemente os riscos de decisões assim tomadas são bem conhecidos, na medida em que o poder público emprega expressões como “execução de panos asfálticos” (sic), que de certa maneira parecem buscar menos comprometimento com as próprias decisões técnicas levadas a cabo nos serviços de reforço.

A parte a questão estrutural do pavimento, as raízes dos problemas comumente associam-se à questão da drenagem das vias urbanas. A falta de ações de manutenção dos equipamentos viários é também refletidos em bueiros insuficientes ou entupidos, ausência de dispositivos de drenagem sub-superficial em pavimentos, bocas-de-lobo assoreadas, etc., que contribuem sobremaneira para o agravamento dos problemas estruturais dos pavimentos.

Outras situações corriqueiras são encontradas, como por exemplo, a decisão de não se efetuar reparos profundos e às vezes extensos, devido a questões de natureza operacional que envolve o fluxo do tráfego. Faz-se o serviço de reforço (com ou sem fresagem), quando necessariamente ações localizadas de manutenção corretiva seriam necessárias para, por exemplo, substituir-se uma base em macadame hidráulico já muito contaminada e não apresentando características portantes ou

resilientes adequadas. Isto compromete indubitavelmente o desempenho do reforço aplicado sobre o pavimento.

Quando ocorrem esforços de projeto, ainda assim, esbarra-se em questões mal resolvidas. Uma delas é a quantificação do tráfego, em termos de volumes e cargas típicas por eixos, que se trata de parâmetro altamente misterioso na grande maioria dos casos de projeto de pavimentos urbanos. As vias urbanas principais são geralmente utilizadas por caminhões com cargas desconhecidas, provenientes de rodovias onde não há controle de cargas, o que dificulta a precisão de um número realístico de operações equivalentes.

Quando a manutenção e/ou restauração da via deixa de ser realizada, a intervenção e o custo, provavelmente, serão ainda maiores. Por isso, a necessidade de uma maior preocupação com a preservação do sistema viário nacional. Conforme se observa na Figura 1.

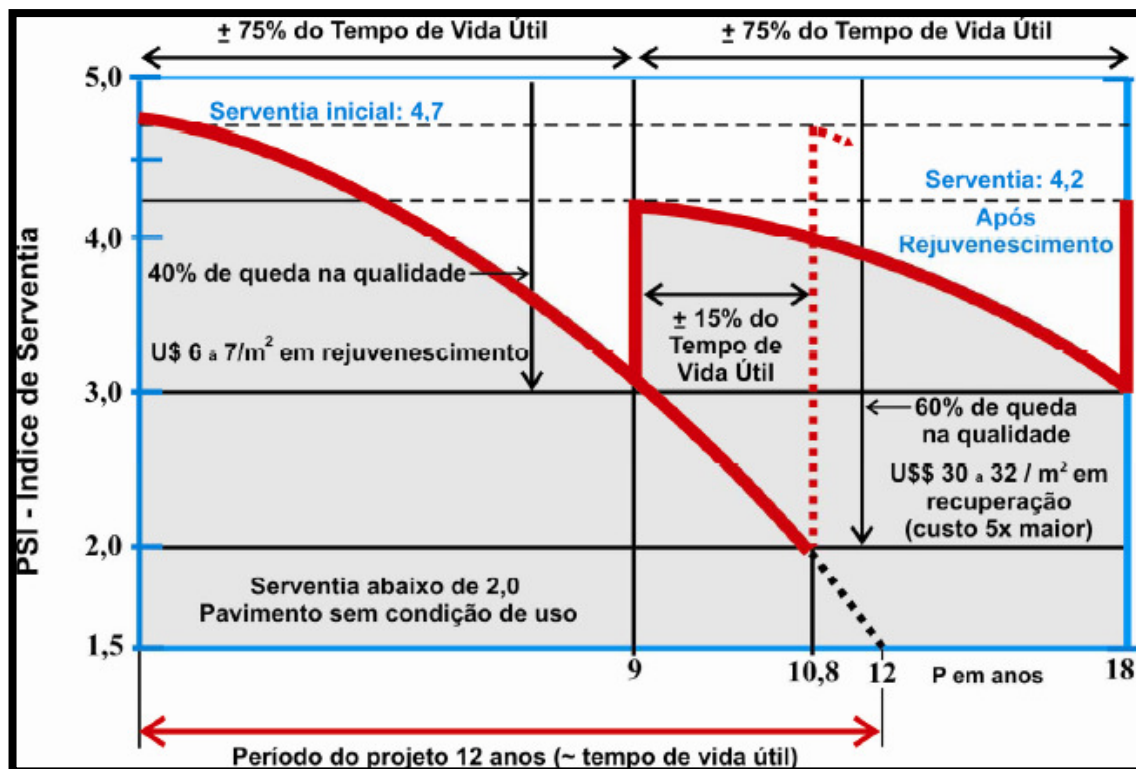


Figura 1 – Deterioração do Pavimento e do Programa de Manutenção – AASHTO.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Qual a melhor solução técnica para recuperação do pavimento flexível da Av. Alano Melgaço no trecho entre a Av. Argentina e Rua Doutor Candido na cidade de Pará de Minas, MG.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1. Objetivos Gerais

Determinar a melhor solução técnica para recuperação do pavimento flexível da Av. Alano Melgaço no trecho entre a Av. Argentina e Rua Doutor Candido na cidade de Para de Minas, MG.

1.2.2. Objetivos Específicos

- (i) Determinar as características geométricas e geotécnicas da estrutura do pavimento existente da pista de rolamento em estudo;
- (ii) Identificar e classificar as manifestações patológicas do pavimento e determinar a origem destas patologias propondo a melhor solução técnica para a recuperação do pavimento;
- (iii) Avaliar as condições funcionais do pavimento da pista de rolamento através dos seguintes levantamentos/determinações: avaliação definitiva do pavimento conforme DNER – Pro 08/94.

1.3 HIPÓTESE

Intervenção para recuperação estrutural do pavimento com incorporação de material reciclado da camada de revestimento asfáltico do pavimento e adição de brita e cimento aplicando-se na camada de base. Posteriormente aplicação de nova camada asfáltica.

1.4 JUSTIFICATIVAS

1.4.1. Tecnológicas

O emprego da tecnologia de pavimentos alternativos em municípios de pequeno e médio porte, praticamente não se generalizou nas últimas décadas pelo fato de muitas das prefeituras não disporem de serviços de engenharia eficientes e das técnicas não convencionais serem pouco difundidas em âmbito nacional. A preferência pelo uso de procedimentos para a escolha de materiais e de dimensionamento de pavimentos baseados em experiências internacionais é grande no Brasil, visto que as escolas de engenharia adotam, em seus cursos, conceitos baseados principalmente em normas de organismos rodoviários norte-americanos. De maneira geral, as prefeituras vêm sempre executando pavimentos de um determinado tipo, com determinada técnica construtiva, demonstrando grande resistência às inovações, principalmente por falta de condições de adaptação tecnológica. Nos municípios de pequeno e médio porte, normalmente, os pavimentos são construídos por pequenas empresas que têm poucas condições de adaptação às inovações tecnológicas em termos de processo construtivo e executam os pavimentos segundo sua experiência. Em centros urbanos maiores, o controle tecnológico das obras é mais eficiente; porém, não se utilizam adequadamente, recursos naturais disponíveis, tais como solos lateríticos para camadas de pavimentos. Este fato pode estar associado à comodidade do uso de materiais pétreos, em função de alguns interesses econômicos.

1.4.2 - Econômicas

O emprego de materiais pétreos é, entretanto, uma solução onerosa para vias urbanas de tráfego muito leve ou leve. Além do mencionado anteriormente, deve-se lembrar de que é sempre mais fácil a justificativa do emprego de materiais cujo desempenho é garantido por normas e recomendações internacionais. Outro fato a ser considerado é o medo de reação contrária, por parte dos usuários e moradores, quando do emprego de outros materiais para a execução de pavimentos, porque eles poderiam ter a falsa impressão que os serviços não serão de boa qualidade. Levando-se em consideração a extensão do território brasileiro, o grande déficit de pavimentos e a pouca disponibilidade de material pétreo em algumas regiões, torna-se imprescindível à utilização de materiais locais. Como soluções alternativas foram

empregadas, durante algumas décadas, bases de solo-cimento que são de elevado custo, para a realidade econômica brasileira. A falta de recursos financeiros associada à necessidade de implantação rápida e em grande escala de rodovias e pavimentos urbanos levou à busca de novas alternativas visando a uma considerável redução nos custos dos pavimentos.

1.4.3 - Sociais

Todo Pavimento viário deve atender ao conforto e a conveniência do público que o utiliza, isto é, um bom pavimento é aquele que é seguro e confortável ao rolamento. A estrutura de um pavimento, para atingir esse objetivo, deve ser projetada e construída de maneira que garanta, economicamente, a qualidade do rolamento. Quando um pavimento deixa de atender satisfatoriamente à segurança e ao conforto ou, quando sua estrutura está de qualquer forma ameaçada, algum tipo de reparo ou reabilitação deve ser empreendido, para que ele volte a ser seguro e de rolamento suave (MID, 1993).

Um ponto crítico na execução de serviços de restauração em vias carregadas é a questão da manutenção das condições operacionais do tráfego. Horários alternativos (noturnos) devem ser examinados e considerados considerando-se dois fatores importantes: segurança dos operadores e trabalhadores na obra e do próprio tráfego; a devida sinalização da obra bem como comunicações públicas sobre os horários e dias de serviço devem ser implementadas pelos envolvidos na questão. (Balbo, 1997).

1.4.4 Ecológicas

São bem conhecidas e evidentes as vantagens da técnica da reciclagem de pavimentos do ponto de vista de proteção do meio ambiente, e ecológica, em virtude de uma menor necessidade de extração de materiais granulares em pedreiras ou seixeiros (atividades extrativas, impacto visual, destruição do ecossistema), uma menor ou nenhuma necessidade de levar materiais existentes degradados à bota foras, um menor custo de energia.

1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

No método exploratório, estudo de caso, o seu desenvolvimento dar-se-á através da verificação “in loco” do estado atual do pavimento flexível – pavimento definitivo, coleta e análise dos dados, visando obter a melhor solução técnica para recuperação do pavimento flexível da Avenida Alano Melgaço no Trecho entre a Av. Argentina e Rua Doutor Candido.

A pesquisa bibliográfica terá como foco a manutenção e as inovações tecnológicas aplicadas em pavimentos flexíveis, e na gestão de manutenção.

Segue abaixo as etapas de pesquisa executadas;

1. Levantamento da Bibliografia;
2. Inspeção visual de campo segundo as normas do DNIT 008/2003 – PRO, Levantamento visual contínuo da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos;
3. Catalogar as inspeções para controle de cada tipo de patologia nas fichas apresentadas na norma DNIT 008/2003 - PRO;
4. Avaliar objetivamente o estado de conservação do pavimento;
5. Propor melhor técnica de recuperação, baseando-se nos ensaios realizados e na bibliografia pesquisada;

1.6 APRESENTAÇÕES DO TRABALHO

O **Primeiro Capítulo** trouxe os aspectos introdutórios do assunto a ser estudado, a formulação do problema, os objetivos gerais e específicos, a hipótese, as justificativas, os procedimentos metodológicos da pesquisa e por fim a apresentação da estrutura do trabalho.

O **Segundo Capítulo** é composto pela revisão bibliográfica especificamente voltada para o assunto, com o as definições de pavimento, dos tipos de pavimento, definição das camadas do pavimento flexível, tipos de revestimento, tipos de manifestações patológicas, principais causas das manifestações patológicas, principais ensaios laboratoriais e realizados in loco e metodologias de restauração e recuperação.

O **Terceiro Capítulo** consta o Estudo de Caso realizado suas principais características, e o método de pesquisa utilizado para coleta de dados.

O **Quarto Capítulo** apresenta e mostra a análise dos resultados obtidos através da pesquisa realizada no capítulo anterior.

O **Quinto Capítulo** mostra as considerações finais do trabalho.

O **Sexto Capítulo** e ultimo trás as referencias bibliográficas utilizadas para realização do trabalho.

2. PAVIMENTO FLEXÍVEL

Entende-se por Pavimento a estrutura construída sobre um terreno de fundação (subleito), a qual deverá resistir à ação das cargas de roda dos veículos e às ações do tempo (variação térmica e higrométrica). O pavimento é composto de várias camadas, com finalidades específicas, as quais podem ser: Camada de Revestimento, de Base, de Sub-base e de Reforço de subleito (Manual de Patologia e Manutenção de Pavimentos, 2008).

Pavimento de uma rodovia é a superestrutura constituída por um sistema de camadas de espessuras finitas, assentes sobre um semi-espaço considerado teoricamente como infinito – a infraestrutura ou terreno de fundação, a qual é designada de subleito (Manual de Pavimentação DNIT, 2006).

Pavimento é uma estrutura construída após a terraplenagem, destinada a resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais oriundos dos veículos, a melhorar as condições de rolamento quanto ao conforto e segurança e a resistir aos esforços horizontais, tornando mais durável a superfície de rolamento (DNER-700-GTTR, 1997).

Pavimento é uma estrutura construída após a terraplanagem por meio de camadas de vários materiais de diferentes características de resistência e deformabilidade. Esta estrutura assim constituída apresenta um elevado grau de complexidade no que se refere ao cálculo das tensões e deformações (SOUZA, 1980).

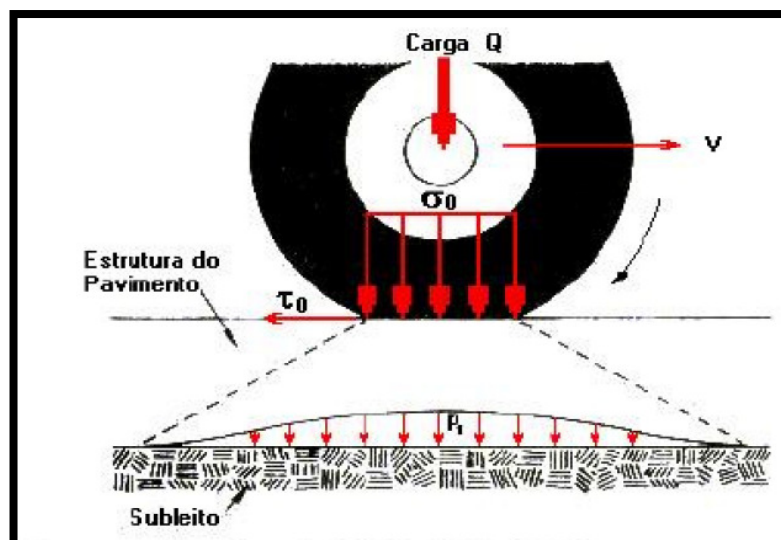


Figura 2 – Cargas no Pavimento (Santana, 1993)

2.1 CLASSIFICAÇÃO DOS PAVIMENTOS

De uma forma geral, os pavimentos são classificados em flexíveis, semi-rígidos e rígidos:

2.1.1. Pavimentos Flexíveis

São aqueles constituídos por camadas que não trabalham à tração. Normalmente são constituídos de revestimento betuminoso delgado sobre camadas puramente granulares. A capacidade de suporte é função das características de distribuição de cargas por um sistema de camadas superpostas, onde as de melhor qualidade encontram-se mais próximas da carga aplicada.

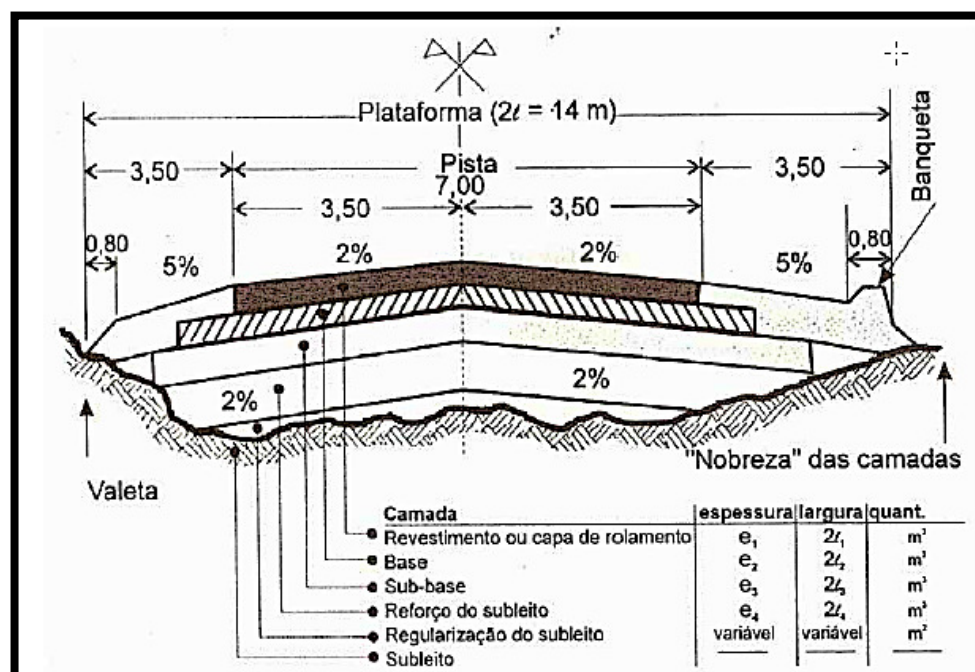


Figura 3 – Desenho esquemático das camadas dos Pavimentos Flexíveis. Fonte: Senço, W. Manual de Técnicas de Pavimentação. São Paulo: editora Pini, 1997.

2.1.2. Pavimentos Semi-rígidos

Quando se tem uma base cimentada sob o revestimento betuminoso, o pavimento é dito semi-rígido. O pavimento reforçado de concreto asfáltico sobre placa de concreto é considerado como pavimento composto.

2.1.3. Pavimentos Rígidos

São constituídos por camadas que trabalham essencialmente à tração. Seu dimensionamento é baseado nas propriedades resistentes de placas de concreto de cimento Portland, as quais são apoiadas em uma camada de transição, a sub-base. A determinação da espessura é conseguida a partir da resistência à tração do concreto e são feitas considerações em relação à fadiga, coeficiente de reação do subleito e cargas aplicadas. São pouco deformáveis com uma vida útil maior. O dimensionamento do pavimento flexível é comandado pela resistência do subleito e do pavimento rígido pela resistência do próprio pavimento.

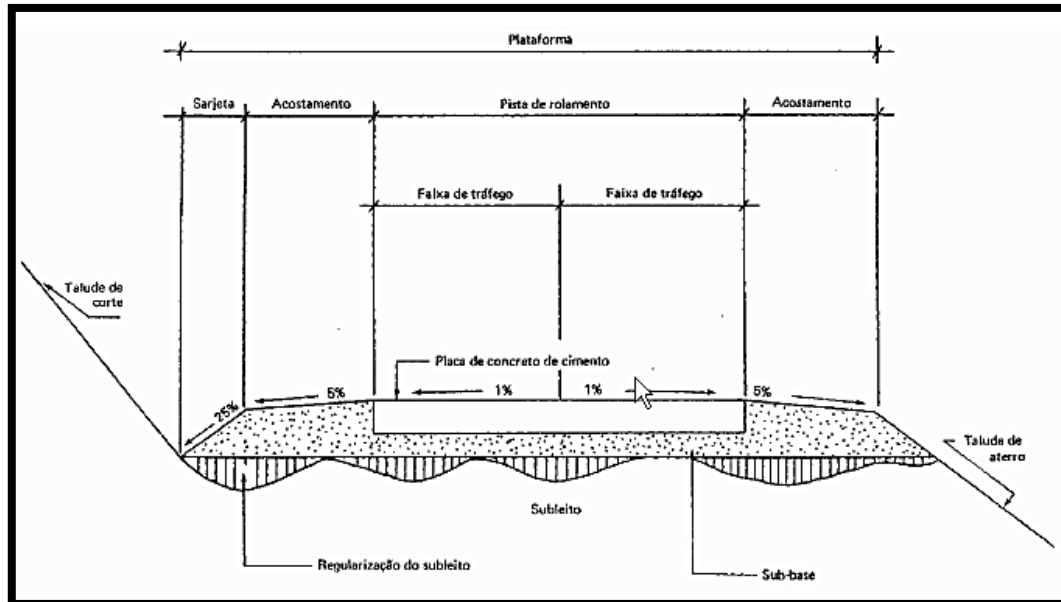


Figura 4 – Desenho esquemático das camadas dos Pavimentos Rígidos. Fonte: Souza, M.L. Pavimentação Rodoviária, Rio de Janeiro: LTC Ed. 1980.

2.2 ESTRUTURA DOS PAVIMENTOS FLEXÍVEIS

2.2.1 Camada de Revestimento

A camada de Revestimento tem por finalidade “impermeabilizar” o pavimento, aumentar a resistência à derrapagem, melhorar o conforto ao rolamento e resistir aos esforços causados pelo tráfego e pelo intemperismo (Manual de Patologia e Manutenção de Pavimentos, Pini 2ª Ed.2008).

Segundo FORTES, R.M. é camada, tanto quanto possível impermeável, que recebe diretamente a ação do rolamento dos veículos e destinada econômica e simultaneamente:

- a melhorar as condições do rolamento quanto à comodidade e segurança;
- a resistir aos esforços horizontais que nele atuam, tornando mais durável a superfície de rolamento.

Deve ser resistente ao desgaste. Também chamada de capa ou camada de desgaste.

Os Revestimentos Flexíveis podem ser agrupados de acordo com o esquema apresentado a seguir:

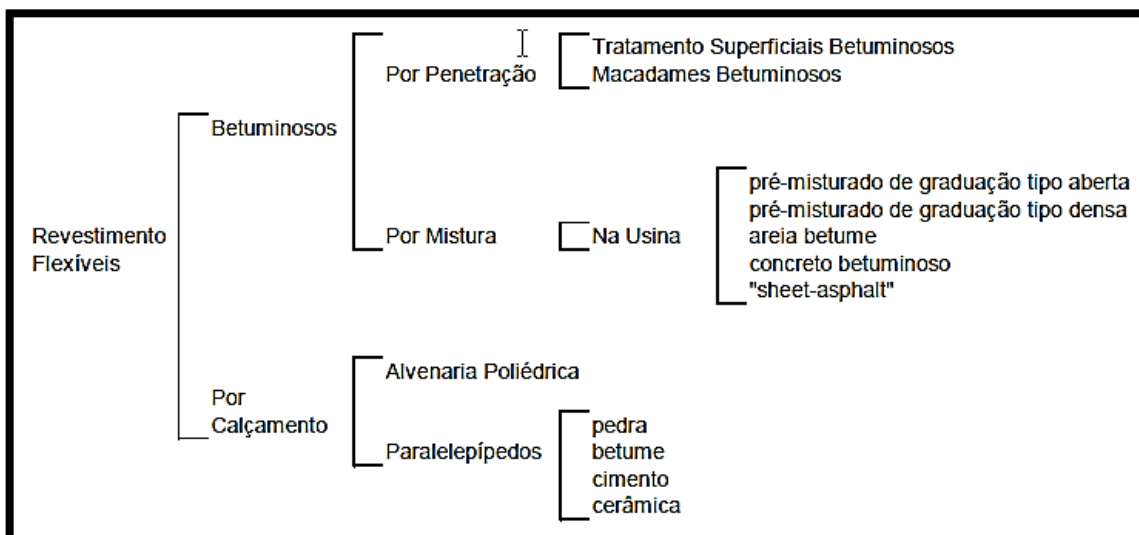


Figura 5 – Classificação dos Revestimentos Flexíveis. Fonte: Manual de Pavimentação DNIT, 2006.

2.2.1.1 Revestimentos Flexíveis Betuminosos

Os Revestimentos Betuminosos são constituídos por associação de agregados e materiais betuminosos esta associação pode ser feita de duas maneiras clássicas: por penetração e por mistura.

a) Revestimento por Penetração

Esta modalidade envolve dois tipos distintos: por penetração invertida e por penetração direta.

b) Revestimento Betuminoso por Penetração Invertida

São revestimentos executados através de uma ou mais aplicações de material betuminoso, seguida de idêntico número de operações de espalhamento e compressão de camadas de agregados com granulométricas apropriadas. Conforme o número de camadas tem-se os intitulados, tratamento superficial simples, duplo ou triplo.

O tratamento simples, executado com o objetivo primordial de impermeabilização ou para modificar a textura de um pavimento existente, é denominado capa selante.

c) Revestimentos Betuminosos por Penetração Direta

São os revestimentos executados através do espalhamento e compactação de camadas de agregado com granulométrica apropriada, sendo cada camada, após compressão, submetida a uma aplicação de material betuminoso e recebendo ainda, a última camada, uma aplicação final de agregado miúdo. Revestimento típico, por “penetração direta”, é o Macadame Betuminoso. O Macadame Betuminoso tem processo construtivo similar ao Tratamento Duplo e comportam espessuras variadas e bem maiores, em função do número de camadas e das faixas granulométricas correspondentes, com frequência ele é usado como camada de base.

d) Revestimentos por Mistura

Nos revestimentos betuminosos por mistura, o agregado é pré-envolvido com material betuminoso, antes da compressão. Quando o pré-envolvimento é feito em usinas fixas, resultam os “Pré-misturados Propriamente Ditos” e, quando feito na própria pista, têm-se os “Pré-misturados na Pista” (Road mixes).

Conforme os seus respectivos processos construtivos, são adotados ainda as seguintes designações:

- Pré-misturado a Frio – Quando os tipos de agregados e de ligantes utilizados permitem que o espalhamento seja feito à temperatura ambiente.

- Pré-misturado a Quente – Quando o ligante e o agregado são misturados e espalhados na pista ainda quente.

Conforme a graduação dos agregados com que são executados, os “Pré-misturados” e os “Road mixes” podem ser de graduação aberta ou densa. Os de graduação densa em geral não requerem capa selante, que é obrigatória nos de graduação aberta.

Quando o agregado natural ou artificial é constituído predominantemente de material passando na peneira n° 10 (abertura 2.0mm), ou seja, de areia, tem-se os “Road mixes” e os “Pré-misturados Areia Betume”.

A designação Concreto Betuminoso Usinado a Quente ou Concreto Asfáltico tem sido reservada para pré-misturados a quente de graduação densa, em que são feitas rigorosas exigências no que diz respeito a equipamentos de construção e índices tecnológicos – como granulometria, teor de betume, estabilidade, vazios, etc.

Do mesmo modo, a designação “Sheet-Asphalt” tem sido usada para os pré-misturados Areia-betume que satisfazem as exigências semelhantes às feitas para concreto betuminoso.

Os pré-misturados e Road-mixes podem ser usados como bases de pavimentos e como revestimento. Neste último caso, desde que atenda a faixa granulométrica adequada.

2.2.1.2 Revestimentos Flexíveis por Calçamento

A utilização deste tipo de pavimento, em rodovias caiu consideravelmente, na medida em que se intensificou a utilização de pavimentos asfálticos e de concreto. Assim é que, de maneira geral, a sua execução se restringe a pátios de estacionamento, vias urbanas e alguns acessos viários.

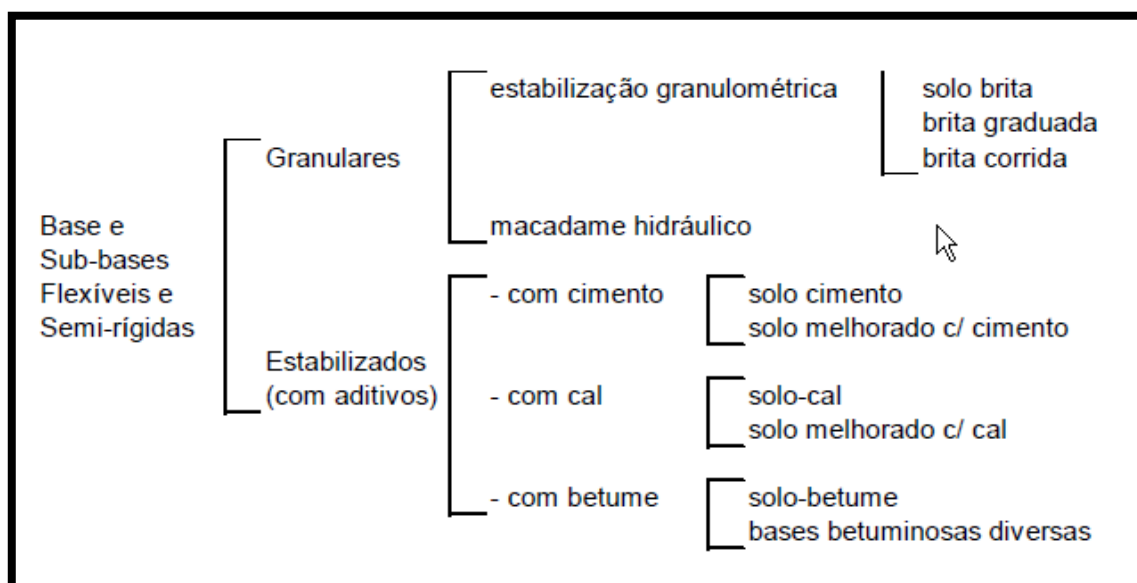


Figura 6 – Classificação das Bases e Sub-base flexíveis e Semi-rígidas. Fonte Manual de Pavimentação DNIT, 2006

a) Alvenaria Poliédrica

Estes revestimentos constituem de camadas de pedras regulares, assentadas e comprimidas sobre colchão de regularização, construído de material granular apropriado.

b) Paralelepípedos

Estes revestimentos são constituídos por blocos regulares, assentes sobre um colchão de regularização construído de material granular apropriado.

2.2.2. Camada de Base e Sub-base

A camada de Base destina-se a resistir e distribuir ao subleito, os esforços oriundos do tráfego e sobre a qual se construirá o revestimento (Patologia de Pavimentos Flexíveis, FORTES, R.M.).

A camada de Base tem por função aliviar a tensão nas camadas inferiores, permitir a drenagem das águas que se infiltram no pavimento (por meio de drenos) e resistir às tensões e deformações atuantes (Manual de Patologia e Manutenção de Pavimentos, Pini, 2ª Ed. 2008).

A camada de Sub-base tem por finalidade reduzir a espessura da Base (a qual é composta de materiais mais nobres), proteger o subleito e, nos casos de pavimentos semi-rígidos, reduzir os A.T.R. após o início da formação das trincas de fadiga. Os

materiais que podem ser empregados como Sub-base é o Cascalho, Solo-cimento, B.G.T.C (no caso de pavimento invertido). (Manual de Patologia e Manutenção de Pavimentos, Pini, 2ª Ed. 2008).

2.2.2.1 Bases e Sub-base Flexíveis e semi-rígidas

As bases e sub-base flexíveis e semi-rígidas podem ser classificadas nos seguintes tipos:

2.2.2.2 Bases e Sub-bases Granulométricas

a) Estabilização Granulométrica

São as camadas constituídas por solos, britas de rochas, de escoras de alto forno, ou ainda, pela mistura destes materiais. Estas camadas, puramente granulares, são sempre flexíveis e são estabilizadas granulometricamente pela compactação de um material ou de mistura de materiais que apresentem uma granulométrica apropriada e índices geotécnicos específicos, fixados em especificações.

Quando esses materiais ocorrem em jazidas, com designações tais como “Cascalhos”, “Saibros”, etc., tem-se o caso de utilização de “materiais naturais” (solo in natura). Muitas vezes estes materiais devem sofrer beneficiamento prévio, como britagem e peneiramento, com vista ao enquadramento nas especificações.

Quando se utiliza uma mistura de material natural e pedra britada têm-se as sub-bases e bases de solo brita.

Quando se utiliza exclusivamente produtos de britagem têm-se as sub-bases e bases de brita graduada ou brita corrida.

b) Macadames Hidráulico e Seco

Consiste de uma camada de brita de graduação aberta de tipo especial (ou brita tipo macadame), que, após compressão, tem os vazios preenchidos pelo material de enchimento, constituído por finos de britagem (pó de Pedra) ou mesmo por solos de granulométrica e plasticidades apropriadas: a penetração do material de enchimento é promovida pelo espalhamento na superfície, seguido de varredura, compressão (sem ou com vibração) e irrigação, no caso do macadame hidráulico. O macadame seco ou macadame a seco, ao dispensar a irrigação, além de simplificar o processo de construção evita o encharcamento, sempre indesejável do subleito.

2.2.2.3 Bases e Sub-bases Estabilizadas (com aditivos)

Estas camadas têm quase todas, processos tecnológicos e construtivos semelhantes às granulares por estabilização granulométrica, diferente apenas em alguns detalhes.

a) Solo-cimento

É uma mistura devidamente compactada de solo, cimento Portland e água; a mistura solo-cimento deve satisfazer a certos requisitos de densidade, durabilidade e resistência, dando como resultado um material duro, cimentado, de acentuada rigidez a flexão. O teor de cimento adotado usualmente é da ordem de 6% a 10%.

b) Solo Melhorado com Cimento

Esta modalidade é obtida mediante a adição de pequenos teores de cimento (2% a 4%), visando primordialmente à modificação do solo no que se refere à sua plasticidade e sensibilidade à água, sem cimentação acentuada, são consideradas flexíveis.

c) Solo-cal

É uma mistura de solo, cal e água e, às vezes, cinza volante, uma pozolana artificial. O teor de cal mais frequente é de 5% a 6%, e o processo de estabilização ocorre:

- por modificação do solo, no que refere à sua plasticidade e sensibilidade a água;
- por carbonatação, que é uma cimentação fraca;
- por pozolanização, que é uma cimentação forte.

Quando, pelo teor de cal usado, pela natureza do solo ou pelo uso de cinza volante, predominam os dois últimos efeitos mencionados, têm-se as misturas solo-cal consideradas semi-rígidas.

d) Solo Melhorado com Cal

É a mistura que se obtém quando há predominância do primeiro dos efeitos citados em 3.3.2.c, e é considerada flexível.

e) Solo-betume

É uma mistura de solo, água e material betuminoso. Trata-se de uma mistura considerada flexível.

2.2.3. Reforço do Subleito

É a camada de espessura constante transversalmente e variável longitudinalmente, de acordo com o dimensionamento do pavimento, fazendo parte integrante deste e que, por circunstâncias técnicas econômicas, será executada sobre o subleito regularizado. Serve para melhorar as qualidades do subleito e regularizar a espessura da sub-base.

2.2.4. Regularização do Subleito (nivelamento)

É a operação destinada a conformar o leito, transversal e longitudinalmente. Poderá ou não existir, dependendo das condições do leito. Compreende cortes ou aterros até 20 cm de espessura.

2.2.5. Leito

É a superfície do subleito (em área) obtida pela terraplanagem ou obra de arte e conformada ao greide e seção transversal.

2.3 MATERIAIS QUE COMPÕEM OS PAVIMENTOS FLEXÍVEIS

2.3.1. Ligantes Asfálticos

O asfalto é um dos mais antigos e versáteis materiais de construção utilizados pelo homem. O Manual de asfalto (IA, 1989 versão em português, 2001) lista mais de 100 das principais aplicações desse material, desde a agricultura até a indústria. O uso em pavimentação é um dos mais importantes entre todos e um dos mais antigos também. Na maioria dos países do mundo, a pavimentação asfáltica é a principal forma de revestimento. No Brasil, cerca de 95% das estradas pavimentadas são de revestimento asfáltico, além de ser também utilizado em grande parte das ruas.

Há várias razões para o uso intensivo do asfalto em pavimentação, sendo as principais: proporciona forte união dos agregados, agindo como um ligante que permite flexibilidade controlável; é impermeabilizante, é durável e resistente à ação da maioria dos ácidos, dos álcalis e dos sais, podendo ser utilizado aquecido ou emulsionado, em amplas combinações de esqueleto mineral, com ou sem aditivos.

As seguintes definições e conceituações são empregadas com referência ao material:

- Betume: comumente é definido como uma mistura de hidrocarbonetos solúvel no bissulfeto de carbono;
- Asfalto: mistura de hidrocarbonetos derivados do petróleo de forma natural ou por destilação, cujo principal componente é o betume, podendo conter ainda outros materiais, como oxigênio, nitrogênio e enxofre, em pequena proporção;
- Alcatrão: é uma designação genérica de um produto que contém hidrocarbonetos, que se obtém da queima ou destilação destrutiva do carvão, madeira etc.

Portanto, o asfalto e o alcatrão são materiais betuminosos porque contêm betume, mas não podem ser confundidos porque suas propriedades são bastante diferentes. O alcatrão praticamente não é mais usado em pavimentação desde que se determinou o seu poder cancerígeno, além do fato de sua pouca homogeneidade e baixa qualidade em termos de ligante para pavimentação, derivada da própria forma de obtenção do mesmo.

O asfalto utilizado em pavimentação é um ligante betuminoso que provém da destilação do petróleo e que tem a propriedade de ser um adesivo termoviscoelástico, impermeável à água e pouco reativo. A baixa reatividade química a muitos agentes não evita que esse material possa sofrer, no entanto, um processo de envelhecimento por oxidação lenta pelo contato com o ar e a água.

No Brasil utiliza-se a denominação CAP para designar esse produto semi-sólido a temperaturas baixas, viscoelástico à temperatura ambiente e líquida a altas temperaturas, e que se enquadra em limites de consistência para determinadas temperaturas estabelecidas em especificações que serão mostradas mais adiante.

A característica de termoviscoelasticidade desse material manifesta-se no comportamento mecânico, sendo suscetível à velocidade, ao tempo e à intensidade de carregamento, e à temperatura de serviço. O comportamento termoviscoelástico é mais comumente assumido do que o termoviscoelástico, com suficiente aproximação do real comportamento do material.

A penúltima especificação brasileira de CAP, vigente de 1992 até julho de 2005, separava, em duas famílias de ligantes, os especificados por penetração e os especificados pela viscosidade absoluta, considerando requisitos para esses parâmetros e para outros ensaios físicos entre os descritos no item anterior. As Tabelas 1 e 2 mostram as especificações que foram vigentes até 2005. Por viscosidade os asfaltos brasileiros eram subdivididos em três grupos: CAP 7, CAP 20

e CAP 40, sendo esses números associados ao início da faixa de viscosidade de cada classe. Por penetração, havia quatro classes de asfalto: CAP 30-45, CAP 50-60, CAP 85-100 e CAP 150-200, sendo esses números associados à faixa de penetração obtida no ensaio.

Características	Unidade	Valores			
		CAP 30-45	CAP 50-60	CAP 85-100	CAP 150-200
Penetração (100g, 5s, 25°C)	0,1mm	30 a 45	50 a 60	85 a 100	150 a 200
Dutilidade a 25°C, mín.	cm	60	60	100	100
Índice de Suscetibilidade Térmica		(-1,5) a (+1)	(-1,5) a (+1)	(-1,5) a (+1)	(-1,5) a (+1)
Ponto de fulgor, mín.	°C	235	235	235	220
Solubilidade em tricloroetileno, mín.	% massa	99,5	99,5	99,5	99,5
Viscosidade Saybolt-Furol, 135°C, mín.	s	110	110	85	70
Efeito do calor e do ar, 163°C por 5h					
Penetração, mín.	%	50	50	47	40
Variação em massa, máx.	%	1,0	1,0	1,0	1,0

Tabela 1 – Especificações para cimento asfáltico de petróleo (cap) classificação por penetração (Portaria DNC 5 de 18/02/1993) vigente até julho de 2005.

Características	Unidade	Valores		
		CAP-7	CAP-20	CAP-40
Viscosidade a 60°C	P	700 a 1.500	2.000 a 3.500	4.000 a 8.000
Viscosidade Saybolt-Furol, 135°C, mín.	s	100	120	170
Viscosidade Saybolt-Furol, 177°C	s	15 a 60	30 a 150	40 a 150
Dutilidade a 25°C, mín.	cm	50	20	10
Índice de Suscetibilidade Térmica		(-1,5) a (+1)	(-1,5) a (+1)	(-1,5) a (+1)
Penetração (100g, 5s, 25°C), mín.	0,1mm	90	50	30
Ponto de fulgor, mín.	°C	220	235	235
Solubilidade em tricloroetileno, mín.	% massa	99,5	99,5	99,5
Densidade (20/4°C), mín.		0,9990	0,9990	0,9990
Efeito do calor e do ar, 163°C por 5h				
Razão de viscosidade, máx.		4,0	4,0	4,0
Variação em massa, máx.	%	1,0	1,0	1,0

Tabela 2 - Especificações para cimento asfáltico de petróleo (cap) Classificação por viscosidade (Portaria DNC 5 de 18/02/1993) vigente até julho de 2005.

Em julho de 2005 foi aprovada pela Agência Nacional de Petróleo, Gás e Energia (ANP) uma nova especificação de CAP para todo o Brasil, em substituição às duas anteriores mostradas. Essa nova especificação baseia-se na penetração e nos ensaios vistos anteriormente e é apresentada na Tabela 3.

Características	Unidade	Limites				Métodos	
		CAP 30-45	CAP 50-70	CAP 85-100	CAP 150-200	ABNT	ASTM
Penetração (100g, 5s, 25°C)	0,1mm	30 a 45	50 a 70	85 a 100	150 a 200	NBR 6576	D 5
Ponto de amolecimento, mín.	°C	52	46	43	37	NBR 6560	D 36
Viscosidade Saybolt-Furol							
a 135°C, mín.	s	192	141	110	80	NBR 14950	E 102
a 150°C, mín.		90	50	43	36		
a 177°C		40 a 150	30 a 150	15 a 60	15 a 60		
Viscosidade Brookfield							
a 135°C, mín. SP 21, 20rpm, mín.	cP	374	274	214	155	NBR 15184	D 4402
a 150°C, mín.		203	112	97	81		
a 177°C, SP 21		76 a 285	57 a 285	28 a 114	28 a 114		
Índice de Suscetibilidade Térmica		(-1,5) a (+0,7)	(-1,5) a (+0,7)	(-1,5) a (+0,7)	(-1,5) a (+0,7)	-	-
Ponto de fulgor, mín.	°C	235	235	235	235	NBR 11341	D 92
Solubilidade em tricloroetileno, mín.	% massa	99,5	99,5	99,5	99,5	NBR 14855	D 2042
Dutidade a 25°C, mín.	cm	60	60	100	100	NBR 6293	D 113
Efeito do calor e do ar a 163°C por 85 minutos							
Variação em massa, máx.	% massa	0,5	0,5	0,5	0,5		D 2872
Dutidade a 25°C, mín.	cm	10	20	50	50	NBR 6293	D 113
Aumento do ponto de amolecimento, máx.	°C	8	8	8	8	NBR 6560	D 36
Penetração retida, mín. (*)	%	60	55	55	50	NBR 6576	D 5

Tabela 3 - Nova especificação do cimento asfáltico de petróleo (ANP. 2005).

2.3.2. Agregado

De acordo com a norma ABNT NBR 9935/2005, que determina a terminologia dos agregados, o termo agregado é definido como material sem forma ou volume definido, geralmente inerte, de dimensões e propriedades adequadas para produção de argamassas e de concreto.

Woods (1960) define agregado como sendo uma mistura de pedregulho, areia, pedra britada, escória ou outros materiais minerais usada em combinação com um ligante para formar um concreto, uma argamassa etc.

2.3.2.1. Quanto a Natureza

Quanto à natureza, os agregados são classificados em: natural, artificial e reciclado.

Natural – Inclui todas as fontes de ocorrência natural e são obtidos por processos convencionais de desmonte, escavação e dragagem em depósitos continentais, marinhos, estuários e rios. São exemplos os pedregulhos, as britas, os seixos, as areias etc. Ou seja, os agregados naturais podem ser empregados em pavimentação na forma e tamanho como se encontram na natureza, ou podem ainda passar por processamentos como a britagem.

Os agregados provenientes de rochas naturais pertencem a um de quatro tipos principais, que são ígneos, sedimentares, metamórficos ou areias e pedregulhos:

- Rochas ígneas são aquelas que se solidificaram de um estado líquido e apresentam composição química, granulação, textura e modos de ocorrência muito variáveis. Alguns tipos são resultantes de esfriamento lento de grandes massas no interior da crosta terrestre, resultando, por exemplo, em granitos e dioritos de granulação grossa. Outros tipos são extrusivos, provenientes de fluxos de lava para a superfície da Terra, resultando em rochas de granulação fina, como os basaltos;
- Rochas sedimentares são tipicamente formadas pelo intemperismo e erosão de rochas preexistentes, e seu resultado transportado pela ação da água, vento ou gelo. São caracterizadas por camadas estratificadas, originadas pelos processos de deposição. Elas podem ser formadas também por precipitação química de minerais dissolvidos em água, como é o caso do calcário;

- Rochas metamórficas ocorrem como resultado de alteração por aquecimento, pressão ou atividade química de rochas ígneas ou sedimentares existentes e compõem um grupo bastante complexo de rochas;
- Areias e pedregulhos são agregados naturais, provenientes das rochas de que são originários e dos processos de transporte sofridos antes da deposição.

Os agregados naturais são compostos por diferentes minerais, com composições variáveis. Mesmo com agregados de mineralogia uniforme, as suas propriedades podem ser alteradas pela oxidação, hidratação, lixiviação ou intemperismo. Entretanto, a mineralogia não pode produzir sozinha uma base para prever o comportamento de um agregado em serviço.

Na Tabela 4 são apresentados os principais tipos de rochas utilizados como agregados.

Denominação Petrológica	Descrição
Andesito	Variedade de diorito vulcânico, de granulação fina
Basalto	Rocha básica de granulação fina, usualmente vulcânica
Conglomerado	Rocha constituída de blocos arredondados ligados por cimento natural
Diorito	Rocha plutônica intermediária, constituída de plagioclásio com hornblenda, augita ou biotita
Gabro	Rocha plutônica básica de granulação grossa, constituída de plagioclásio cálcico e piroxênio, algumas vezes com olivina
Gnaisse	Rocha riscada, produzida por condição metamórfica intensa
Granito	Rocha plutônica ácida, constituída principalmente de feldspatos alcalinos e quartzo
Calcário	Rocha sedimentar, constituída principalmente de carbonato de cálcio
Quartzito	Rocha metamórfica ou sedimentar constituída quase que totalmente por grãos de quartzo
Riolito	Rocha ácida, de granulação fina, usualmente vulcânica
Sienito	Rocha plutônica intermediária, constituída de feldspatos alcalinos com plagioclásios, hornblenda, biotita ou augita
Traquito	Variedade de sienito de granulação fina, usualmente vulcânico

Tabela 4 - Tipos de rochas comumente usados como fonte de agregado para pavimento no país.

As rochas ígneas são também classificadas segundo a quantidade de sílica presente, conforme a Tabela 5. O sentido dos termos ácido e básico não corresponde

ao utilizado na química, mas está relacionado à carga elétrica superficial das partículas do agregado.

Os minerais nas partículas de agregados apresentam seus átomos dispostos em uma rede cristalina, onde os átomos da superfície exercem atração sobre átomos de gases, líquidos ou sólidos que com ela tenham contato, promovendo a adsorção química. Essa adsorção é o principal fator na adesividade entre o agregado e os ligantes asfálticos.

A maioria dos agregados silicosos tais como arenito, quartzo e cascalho tornam-se negativamente carregada na presença de água, enquanto materiais calcários conduzem carga positiva na presença de água.

Muitos agregados contêm ambas as cargas porque são compostos de minerais tais como sílica com carga negativa e também cálcio, magnésio, alumínio ou ferro com carga positiva. Agregados típicos que apresentam essa condição incluem basaltos e calcários silicosos. A dolomita é um exemplo de caso extremo de agregado eletropositivo e o quartzito um exemplo de agregado eletronegativo.

Os agregados de rochas classificadas como ácidas costumam apresentar problemas de adesividade, enquanto os de rochas classificadas como básicas costumam apresentar melhor adesividade ao ligante asfáltico.

Classificação	% Sílica	Quartzo	Exemplo
Ácida	> 65	Presente	Granito, riolito, quartzito
Neutra	52 a 65	Pouco ou inexistente	Sienito, diorito
Básica	45 a 52	Raríssimo	Basalto, gabro
Ultrabásica	< 45	Inexistente, feldspato escasso	Piroxenito

Tabela 5 – Classificação de rochas quanto ao teor de sílica presente (metso minerals, 2005).

Em algumas regiões do país onde existe falta de material rochoso, um dos principais materiais alternativos utilizados na construção rodoviária são as concreções lateríticas, obtidas por peneiramento e, às vezes, complementadas por lavagem. Conforme Guimarães e Motta (2000) denomina-se o meio rodoviário brasileiro de laterita a um solo concrecionado enriquecido com óxidos hidratados de ferro ou alumínio, tendo a caulinita como argilo-mineral predominante, com coloração vermelha, amarela, marrom ou alaranjada. Nogami e Villibor (1995) citam que as lateritas contêm também frequentemente a magnetita, a ilmenita, a hematita e,

sobretudo, o quartzo; e ainda alertam para um dos problemas da laterita que é a grande variação de propriedades, o que dificulta a previsão de comportamento.

Em misturas asfálticas, empregam-se preferencialmente as lateritas lavadas, resultantes do processo de separação dos agregados graúdos desse material, maiores que 4,8mm. O processo de lavagem da laterita é semelhante ao processo de extração de areia dos rios. Em vez de se dragar o fundo do rio, draga-se um tanque onde a laterita bruta é previamente depositada por caminhões basculantes. Após ser depositada, a laterita sofre uma pré-lavagem com mangueiras de pressão e o material é em seguida dragado do fundo do tanque através de tubos, sendo conduzido a um peneirador, onde a granulométrica desejada é obtida.

Artificial – São resíduos de processos industriais, tais como a escória de alto-forno e de aciaria, ou fabricados especificamente com o objetivo de alto desempenho, como a argila calcinada (Cabral, 2005) e a argila expandida. O tipo de agregado artificial atualmente mais utilizado em pavimentação são os vários tipos de escórias, subprodutos da indústria do aço. Elas podem apresentar problemas de expansibilidade e heterogeneidade, requerendo tratamento adequado para utilização, porém podem apresentar alta resistência ao atrito.

Reciclado – Nessa categoria estão os provenientes de reuso de materiais diversos. A reciclagem de revestimentos asfálticos existentes vem crescendo significativamente em importância e em alguns países já é a fonte principal de agregados. A possibilidade de utilização de agregados reciclados vem crescendo em interesse por restrições ambientais na exploração de agregados naturais e pelo desenvolvimento de técnicas de reciclagem que possibilitam a produção de materiais reciclados dentro de determinadas especificações existentes para utilização. Destaca-se também a utilização crescente de resíduo de construção civil em locais com ausência de agregados pétreos ou mesmo em áreas urbanas que possuam pedreiras, como forma de reduzir os problemas ambientais de disposição destes resíduos (Fernandes, 2004).

2.3.2.2. Quanto ao Tamanho

Os agregados são classificados quanto ao tamanho, para uso em misturas asfálticas, em graúdo, miúdo e material de enchimento ou fíler (DNIT 031/2006 – ES):

- Graúdo – é o material com dimensões maiores do que 2,0mm, ou seja, retido na peneira nº 10. São as britas, cascalhos, seixos etc.;

- Miúdo – é o material com dimensões maiores que 0,075 mm e menores que 2,0mm. É o material que é retido na peneira de n° 200, mas que passa na de abertura n° 10. São as areias, o pó de pedra etc.;
- Material de enchimento (fíler) – é o material onde pelo menos 65% das partículas são menores que 0,075 mm, correspondente à peneira de n° 200, e.g., cal hidratada, cimento Portland etc.

O tamanho máximo do agregado em misturas asfálticas para revestimentos pode afetar essas misturas de várias formas. Pode tornar instáveis misturas asfálticas com agregados de tamanho máximo excessivamente pequeno e prejudicar a trabalhabilidade e/ou provocar segregação em misturas asfálticas com agregados de tamanho máximo excessivamente grande. A norma ASTM C 125 define o tamanho máximo do agregado em uma de duas formas:

- Tamanho máximo – é a menor abertura de malha de peneira através da qual passam 100% das partículas da amostra de agregado. Na metodologia SHRP-Superpave o tamanho máximo do agregado é definido como a abertura de malha imediatamente maior do que a correspondente ao tamanho nominal máximo;
- Tamanho nominal máximo – é a maior abertura de malha de peneira que retém alguma partícula de agregado, mas não mais de 10% em peso. Na metodologia SHRP-Superpave o tamanho nominal máximo é definido como a abertura de malha de peneira imediatamente maior do que a da primeira peneira a reter mais de 10% do material.

O material passante na peneira de n° 200 vem sendo designado como pó (dust em inglês) (Motta e Leite, 2000) para distingui-lo da definição do DNIT de fíler. Essa distinção está relacionada à possível incorporação de parcela dos finos no ligante em uma mistura asfáltica.

Quando a porcentagem de pó aumenta, reduzem-se os vazios do esqueleto mineral e aumenta-se a trabalhabilidade da mistura asfáltica até certo ponto. Acima de um determinado teor, o pó começa a prejudicar a trabalhabilidade bem como a estabilidade do esqueleto mineral, diminuindo os contatos entre as partículas grossas, alterando também a capacidade de compactação da mistura.

Se a maior parte do pó tiver partículas maiores que 0,040 mm, elas vão atuar como preenchedoras dos vazios do esqueleto mineral. As partículas menores do que

0,020 mm atuarão no ligante asfáltico, incorporando-se a este e compondo um filme de ligante, denominado mastique, que envolverá as partículas maiores de agregado.

2.3.2.3 Quanto a Distribuição dos Grãos

A distribuição granulométrica dos agregados é uma de suas principais características e efetivamente influi no comportamento dos revestimentos asfálticos. Em misturas asfálticas a distribuição granulométrica do agregado influencia quase todas as propriedades importantes incluindo rigidez, estabilidade, durabilidade, permeabilidade, trabalhabilidade, resistência à fadiga e à deformação permanente, resistência ao dano por umidade induzida etc.

A distribuição granulométrica dos agregados é determinada usualmente por meio de uma análise por peneiramento. Nessa análise uma amostra seca de agregado é fracionada através de uma série de peneiras com aberturas de malha progressivamente menores, conforme ilustrado na Figura 7. Uma vez que a massa da fração de partículas retida em cada peneira é determinada e comparada com a massa total da amostra, a distribuição é expressa como porcentagem em massa em cada tamanho de malha de peneira.

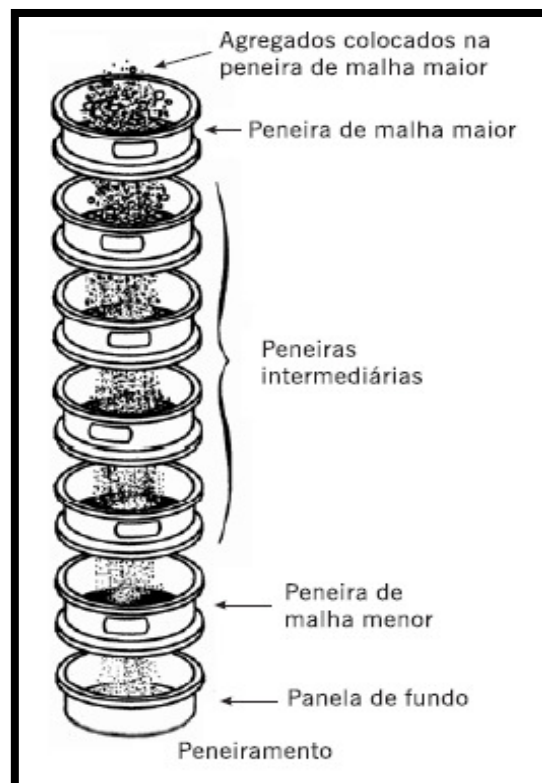


Figura 7 - Ilustração da análise por peneiramento

Dão da Peneira		Abertura da Peneira	
Padrão	Número	Milímetros	Polegadas
75,0mm		75,0	3,0
50,0mm		50,0	2,0
37,5mm		37,5	1,5
25,0mm		25,0	1,0
19,0mm		19,0	0,75
9,5mm		9,5	0,375
4,75mm	4	4,75	0,187
2,36mm	8	2,36	0,0937
2,00mm	10	2,00	0,0789
1,18mm	16	1,18	0,0469
600µm	30	0,600	0,0234
425µm	40	0,425	0,0168
300µm	50	0,300	0,0117
150µm	100	0,150	0,0059
75µm	200	0,075	0,0029

Tabela 5 – Dimensões nominais das peneiras segundo o DNER-ME 035/95.

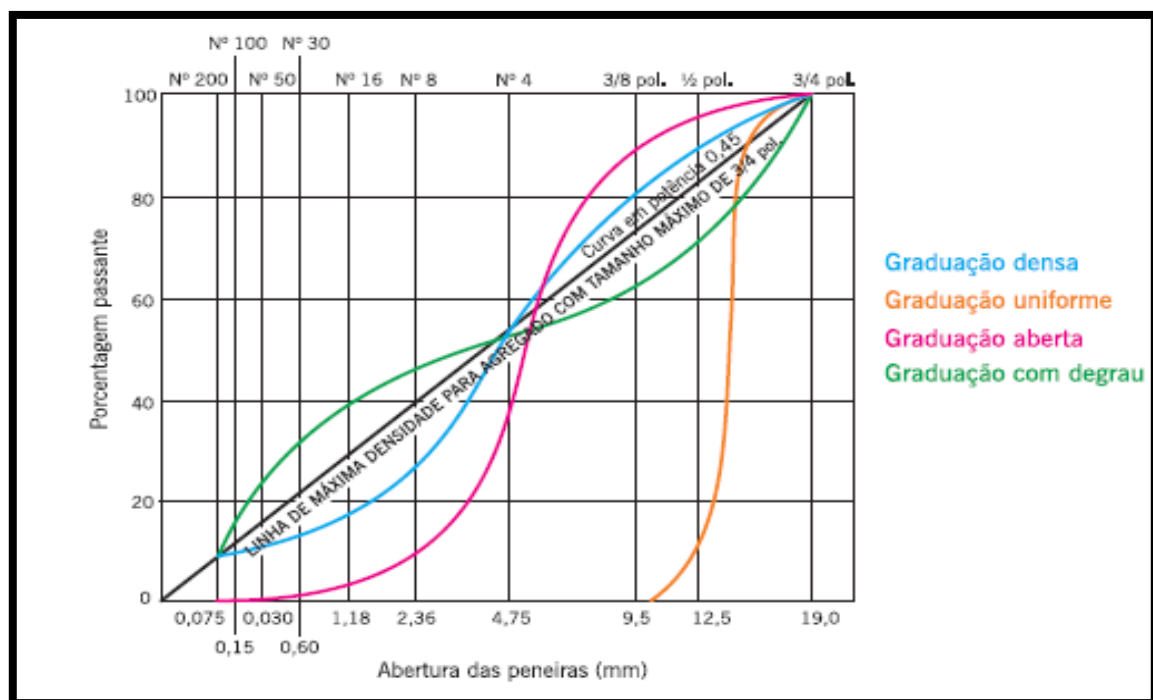
De acordo com a norma DNER-ME 035/95 os tamanhos de peneiras a serem usadas na análise granulométrica são os mostrados na Tabela 4. Porém, nem todos os tamanhos são necessariamente usados em cada especificação. Ressalta-se que, embora a referida norma não cite a peneira de abertura 12,5mm, esta é muito utilizada nos projetos de misturas asfálticas.

A norma DNER-ME 083/98 descreve o procedimento de análise por peneiramento. Os resultados são expressos na forma de tabelas ou gráficos como indicado na Figura 8.0(a). A metodologia SHRP-Superpave utiliza outra forma de apresentar a distribuição granulométrica na qual a porcentagem de agregados passante em certa malha de peneira está no eixo y e o tamanho da malha elevado a uma potência n (normalmente $n=0,45$) como unidade no eixo x – Figura 8.0(b). Nesse caso, a distribuição granulométrica com densidade máxima aparece como uma linha reta iniciando-se em zero e se desenvolvendo até o tamanho máximo.

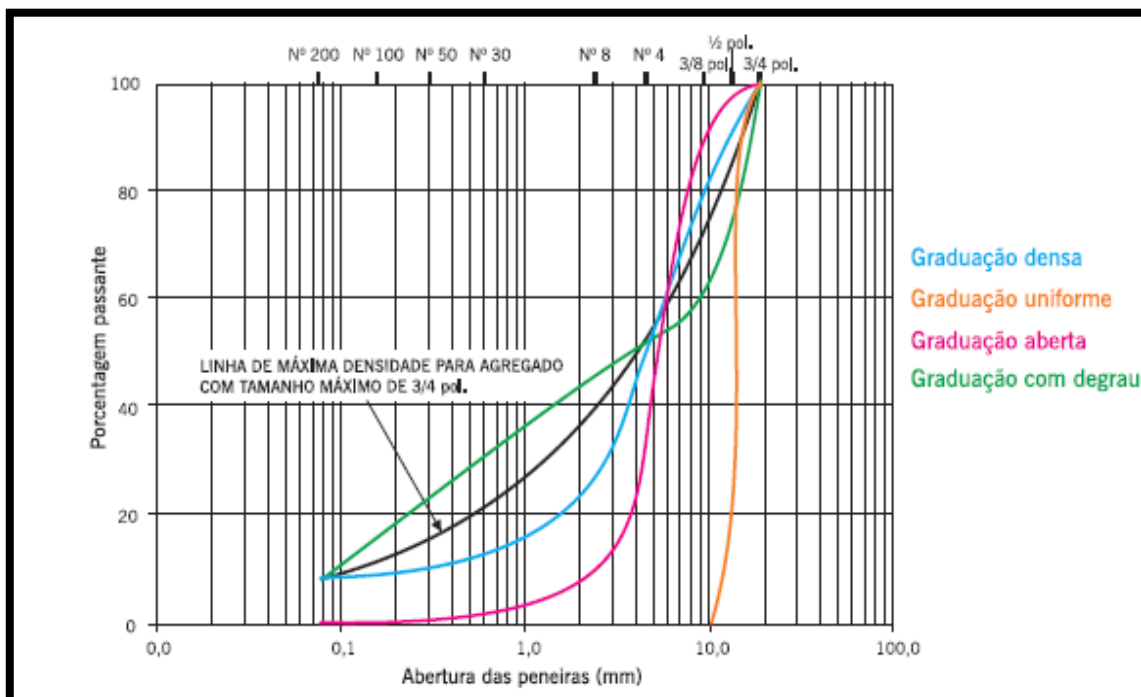
Uma vez que a distribuição granulométrica dos agregados é uma de suas mais importantes características físicas, a subdivisão da graduação em algumas classes auxilia na distinção de tipos de misturas asfálticas. A seguir são denominadas as mais importantes graduações, ilustradas na Figura 8.0:

- Agregado de graduação densa ou bem-graduada é aquele que apresenta distribuição granulométrica contínua, próxima à de densidade máxima;

- Agregado de graduação aberta é aquele que apresenta distribuição granulométrica contínua, mas com insuficiência de material fino (menor que 0,075 mm) para preencher os vazios entre as partículas maiores, resultando em maior volume de vazios. Nas frações de menor tamanho a curva granulométrica é abatida e próxima de zero;
- Agregado de graduação uniforme é aquele que apresenta a maioria de suas partículas com tamanhos em uma faixa bastante estreita. A curva granulométrica é bastante íngreme;
- Agregado com graduação com degrau ou descontínua é aquele que apresenta pequena porcentagem de agregados com tamanhos intermediários, formando um patamar na curva granulométrica correspondente às frações intermediárias. São agregados que devem ser adequadamente trabalhados quando em misturas asfálticas, pois são muito sensíveis à segregação.



(a) – REPRESENTAÇÃO CONVENCIONAL DE CURVAS GRANULOMÉTRICAS



(b) REPRESENTAÇÃO DE CURVAS GRANULOMÉTRICAS PELO SHRP-SUPERPAVE.

Figura 8 – Graduações típicas de agregados

Em função de seu preparo, algumas frações de agregados obtidos por britagem recebem denominações específicas, regionais, na prática da pavimentação, tais como: brita corrida, pedrisco, granilha etc.

2.4 FATORES QUE AFETAM O DESEMPENHO DO PAVIMENTO

Muitos fatores afetam o desempenho a ser oferecido por um determinado pavimento, dentre estes se destacam: o número e a magnitude das cargas do tráfego, as propriedades dos materiais componentes das camadas e a sua heterogeneidade ao longo da via, a natureza do solo de subleito, a frequência e as práticas de manutenção aplicadas ao longo do tempo, as condições de drenagem e aspectos ambientais. Diversos indicadores podem ser utilizados para se quantificar o desempenho de um pavimento, variando desde aqueles que caracterizam a sua condição funcional até aqueles que consistem simplesmente do registro de defeitos de superfície ou das deformações plásticas. O desempenho estrutural pode ser avaliado através da variação do módulo de elasticidade efetivo de uma ou mais camadas com o tráfego acumulado. Os principais mecanismos de deterioração dos pavimentos flexíveis são:

- Formação e crescimento de trincas nas camadas asfálticas do revestimento, decorrentes da fadiga provocada pela repetição das cargas do tráfego;
- Geração de afundamentos em trilha de roda ou de ondulações na superfície em decorrência do acúmulo de deformações plásticas em todas as camadas, sob a repetição das cargas do tráfego;
- Se a camada de base é de drenagem lenta, a formação de trincas no revestimento dá acesso a águas pluviais, que se acumulam no topo da base. Com a passagem de uma carga de roda, gera-se um excesso de pressões neutras na água retida, levando ao bombeamento de finos da base para a superfície (erosão) e a solicitações dinâmicas elevadas sob a camada de revestimento, acelerando a sua deterioração. Se a água atingir e se acumular no topo do subleito, não sendo este drenante, aumenta a geração de deformações plásticas nessa camada e a sua intrusão na base granular;
- Envelhecimento do ligante betuminoso por oxidação, que fragiliza a mistura asfáltica e facilita seu trincamento e o arrancamento de agregados. A velocidade com que a oxidação do asfalto se processa depende das condições de temperatura, umidade e insolação. As oscilações térmicas, por sua vez, levam à formação de trincas superficiais, cujo potencial de geração é aumentado pela oxidação dos primeiros 25 mm do topo da camada asfáltica;
- Desgaste com exposição de agregados e perda da macrotextura da superfície do pavimento, em decorrência da abrasão provocada pelos veículos, acelerado pelo intemperismo (oxidação do asfalto), levando à queda do coeficiente de atrito. Este problema é especialmente grave nos revestimentos em Tratamento Superficial.

2.5 PATOLOGIA DE PAVIMENTOS FLEXIVEIS

As principais manifestações de ruína deste tipo de pavimentos são as fendas e deformações relacionadas com as características estruturais e superficiais e as degradações relacionadas com as características superficiais.

As degradações estruturais traduzem-se pelo aparecimento à superfície do pavimento de fendas e trilhas de rodas, permitindo a acumulação de água e sua posterior penetração para as camadas inferiores. A evolução destas degradações conduz à perda das características superficiais, e consequente diminuição das

condições de segurança, conforto e economia. O inverso também é verdadeiro, ou seja, a evolução das degradações superficiais também pode conduzir à perda das características superficiais. Os pavimentos flexíveis estão sujeitos a uma série de degradações, cujas principais se descrevem a seguir:

2.5.1 Fissuras

Fissuras são fendas capilares existentes no revestimento asfáltico, somente perceptíveis à vista desarmada, de uma distância inferior a 1,5 metros.

Quaisquer fendas isoladas, posicionadas longitudinal, transversal ou, obliquamente ao eixo da rodovia, quer sejam retilíneas ou curvilíneas, cuja extensão seja inferior a 30 cm e, que correspondam a um estágio inicial ou incipiente de fendilhamento, é considerado Fissuras.

2.5.1.1. Causas Prováveis

As fissuras podem ser causadas por má dosagem do asfalto, por excesso de finos no revestimento, por compactação em momento inadequado (por exemplo, base não estável ou mistura ainda muito quente) ou, por compactação excessiva.

2.5.1.2. Mecanismo de Ocorrência

São diversos os mecanismos de ocorrência das Fissuras, os quais variam de acordo com a respectiva causa.

2.5.1.3. Localização

As Fissuras podem ocorrer em qualquer região do pavimento.

2.5.1.4. Classe

Não é definida nenhuma classe para as Fissuras.

2.5.1.5. Níveis de Severidade

Considerando-se que as Fissuras são defeitos incipientes que ainda não causam problemas ao pavimento, nem funcionais, nem estruturais, nenhum nível de severidade é definido para esse defeito.

2.5.2. Trincamento por Fadiga (TF)

O Trincamento por Fadiga é um conjunto de trincas, causadas por diminuição gradual da resistência da superfície do revestimento asfáltico, sob-repetida ação das cargas de tráfego. Inicialmente, ocorrem trincas capilares paralelas, na direção do eixo da rodovia. Nas severidades média e alta, estão interconectadas formando uma malha, composta de peças de orientações variadas, com ângulos agudos e muitos lados. Normalmente, o maior lado dessas peças mede menos que 30 cm.

2.5.2.1. Causas Prováveis

O Trincamento por Fadiga pode ser causado por:

- Colapso do revestimento asfáltico devido à repetida ação das cargas do tráfego;
- Sub-dimensionamento ou má qualidade da estrutura ou de uma das camadas do pavimento;
- Solo com baixa capacidade de suporte;
- Envelhecimento (fim da vida do pavimento);
- Asfalto duro e quebradiço (extraordinariamente).

2.5.2.2. Mecanismo de Ocorrência

As trincas por fadiga aparecem primeiro, na superfície inferior da capa asfáltica, onde as forças de tração e os esforços são maiores sob a carga de roda. Essas fendas se propagam para a superfície, inicialmente como uma ou mais trincas longitudinais paralelas. As trincas se conectam, depois de repetida ação de cargas do tráfego, formando peças que lembram a pele de jacaré. O Trincamento por Fadiga, no seu estágio final de evolução, dá origem ao defeito denominado Panela.

As condições ambientais (temperatura e umidade) podem acelerar o início e a propagação do trincamento. A água superficial penetra pelas fendas, enfraquecendo as camadas inferiores e o solo. Se a drenagem lateral for insuficiente, o Trincamento por Fadiga aparecerá primeiro na trilha de roda externa.

2.5.2.3. Localização

O Trincamento por Fadiga ocorre quase que exclusivamente em áreas sujeitas à carga repetida de tráfego (principalmente nas trilhas de rodas); geralmente, o Trincamento por Fadiga não ocorre sobre uma área inteira do pavimento, a não ser que a totalidade dessa área esteja sujeita à carga de tráfego. Se a área não está sujeita a carregamento, o trincamento é classificado como trincamento em bloco (que não é um defeito associado à carga). O Trincamento por Fadiga não ocorre em recapeamentos asfálticos, sobre lajes de concreto.

2.5.2.4 Classe

O Trincamento por Fadiga é classificado como defeito estrutural.

2.5.2.5. Níveis de Severidade:



- a. Baixo:** O Trincamento por Fadiga, de baixo nível de severidade (Foto 1), apresenta trincas capilares (abertura menor ou igual a 1 mm), sem erosão nas bordas, desconectadas ou com poucas conexões, paralelas ao eixo da estrada. Inicialmente pode haver uma única trinca, na trilha de roda.

Foto 1 – Baixa Severidade



Foto 2 – Média Severidade

- b. Médio:** No Trincamento por Fadiga, de médio nível de severidade (Foto 2), já aparecem peças formadas por trincas, sem erosão nas bordas ou com pouca erosão. As trincas podem ser seladas.



Foto 3 – Alta Severidade

- c. Alto:** No Trincamento por Fadiga, de alto nível de severidade (Foto 3), as trincas apresentam erosão maior nas bordas; algumas peças estão soltas, balançando com o tráfego. Pode existir bombeamento.

2.5.2.6. Método de Medição

As Trincas por Fadiga são medidas em metros quadrados de área se superfície. A área trincada deve sempre ser obtida por intermédio do retângulo a ela circunscrito, com um lado paralelo ao eixo da rodovia.

Muitas vezes, a maior dificuldade encontrada é que mais de um nível de severidade coexistem dentro de uma área de defeitos. Nesse caso, se esses níveis podem ser facilmente distinguidos, as trincas devem ser medidas e registradas separadamente. Se há dificuldade na separação entre os diferentes níveis de

severidade, a área total deve ser classificada e registrada no maior nível de gravidade presente.

2.5.3. Trincamento Transversal (TT)

O trincamento Transversal é um conjunto de trincas perpendiculares à linha central do pavimento.

2.5.3.1. Causas Prováveis

O Trincamento Transversal pode ser causado:

- Contração da capa asfáltica, devido a baixas temperaturas ou endurecimento do asfalto;
- Propagação de trincas abaixo do revestimento da estrada, incluindo trincas (não juntas) em placas de concreto de cimento Portland.

O Trincamento Transversal não abrange trincas associadas às cargas.

2.5.3.2 Mecanismo de Ocorrência

No caso de contração da capa asfáltica, as baixas temperaturas causam altas solicitações de tração na superfície do pavimento. As trincas começam a existir na face superior dessa camada, onde a temperatura está mais fria, e se propagam no sentido da face inferior desse revestimento.

Nos revestimentos asfálticos construídos sobre placas de concreto de cimento Portland, as trincas aparecem, inicialmente, na superfície inferior do revestimento, devido aos movimentos da placa rígida trincada subjacente, e se propagam no sentido da superfície.

A carga e a umidade aceleram a deterioração do Trincamento Transversal.

2.5.3.3. Localização

O Trincamento Transversal ocorre ao longo de qualquer porção da superfície do pavimento.

2.5.3.4. Classe

O Trincamento Transversal é classificado como defeito funcional e estrutural. Grandes trincamentos transversais causam muita irregularidade (dano funcional) e enfraquecem o revestimento do pavimento (defeito estrutural).

2.5.3.5. Nível de Severidade



Foto 4 – Baixa Severidade

Em qualquer caso, não deve ocorrer significativo impacto quando o veículo cruza a trinca.



Foto 5 – Média Severidade

a. Baixo: O Trincamento Transversal, de baixo nível de severidade (Foto 4), apresenta:

- Trincas seladas, com qualquer abertura e material selante em condições satisfatórias para prevenir substancialmente a infiltração de água;
- Trincas não seladas, com pouca ou nenhuma erosão e abertura média inferior a 6 mm.

b. Médio: O Trincamento Transversal, de médio nível de severidade (Foto 5), apresenta:

- Trincas moderadamente erodidas, com qualquer abertura quer estejam seladas, ou não;
- Trincas seladas e não erodidas (ou com pouca erosão), mas com o selante em más condições, permitindo que a água se infiltre livremente;

- Trincas não selada e não erodidas (ou com pouca erosão) e com abertura das fendas maior que 6 mm;
- Trincamento aleatório de baixa severidade próximo da trinca;
- Trincas com pouca ou nenhuma erosão.

As trincas transversais, de médio nível de severidade, causam significativo impacto, quando o veículo as atravessa.



Foto 6 – Alta Severidade

c. Alto: O trincamento Transversal, de alto nível de severidade (Foto 6), apresenta:

- Trincas severamente erodidas;
- Trincamento aleatório de média ou alta severidade, próximo da trinca.

As trincas transversais, de alto nível de severidade, causam severo impacto, quando o veículo as atravessa.

2.5.3.6. Método de Medição

O Trincamento Transversal é medido em metros lineares. O comprimento e a severidade de cada trinca devem ser identificados e registrados. Se o nível de severidade das trincas é variável, a extensão de cada porção do trincamento, de mesma gravidade, deve ser medido e registrado separadamente.

Os níveis de severidade são determinados dirigindo-se o veículo sobre a seção do pavimento, no limite de velocidade estabelecido.

2.5.4 Trincamento Longitudinal

O Trincamento Longitudinal é um conjunto de trincas paralelas à linha central do pavimento.

2.5.4.1. Causas Prováveis

O Trincamento Longitudinal pode ser causado por:

- Má execução da junta longitudinal de separação entre duas faixas de tráfego;
- Recalque diferencial, no caso de alargamento do pavimento;
- Contração da capa asfáltica, devido a baixas temperaturas ou endurecimento do asfalto;
- Propagação de trincas abaixo do revestimento da estrada, incluindo trincas (não juntas) em placas de concreto de cimento Portland.

Não são trincas associadas às cargas.

2.5.4.2 Mecanismo de Ocorrência

Quando ocorre alargamento de pista, o Trincamento Longitudinal se desenvolve em função da velocidade do recalque diferencial.

No caso de contração da capa asfáltica, as baixas temperaturas causam altas solicitações de tração na superfície do pavimento. As trincas começam a existir na face superior dessa camada, onde a temperatura está mais fria, e se propagam no sentido da face inferior desse revestimento.

Nos revestimentos asfálticos construídos sobre placas de concreto de cimento Portland, as trincas aparecem, inicialmente, na superfície inferior desses revestimentos, devido aos movimentos de placa rígida trincada subjacente, e se propagam no sentido da superfície.

A carga e a umidade aceleram a deterioração do Trincamento Longitudinal.

2.5.4.3. Localização

O Trincamento Longitudinal ocorre ao longo de qualquer área da superfície do pavimento.

2.5.4.4. Classe

O Trincamento Longitudinal é classificado como defeito funcional e estrutural. Grandes trincamentos longitudinais aumentam a irregularidade (dano funcional) e enfraquecem o revestimento do pavimento (defeito estrutural).

2.5.4.5 Níveis de Severidade



Foto 7 – Baixa Severidade

a. Baixo: O Trincamento Longitudinal, de baixo nível de severidade (Foto 7), apresenta:

- Trincas isoladas, com qualquer abertura, com material selante em condições satisfatórias para prevenir substancialmente a infiltração de água;
- Trincas não seladas, com pouca ou nenhuma erosão, e abertura média inferior a 6 mm;

Em qualquer caso, não deve ocorrer significativo impacto quando o veículo cruza a trinca.



Foto 8 – Média Severidade

b. Médio: O Trincamento Longitudinal é considerado de médio nível de severidade (Foto 8), quando:

- As trincas são moderadamente erodidas, com qualquer abertura, quer estejam seladas, quer não;
- As trincas são seladas e não estão erodidas (ou apresentam pouca erosão), mas com o selante em más condições, permitindo que a água e infiltre livremente.

- As trincas não são seladas e não estão erodidas (ou apresentam pouca erosão), e possuem abertura das fendas maior que 6mm;
- Apresentam trincamento aleatório de baixa severidade próximo da trinca;
- Apresenta trincas com pouca ou nenhuma erosão e não ocorre significativo impacto, quando o veículo as atravessa.



Foto 9 – Alta Severidade

c. Alto: O Trincamento Longitudinal, de alto nível de severidade (Foto 9), apresenta:

- Trincas severamente erodidas;
- Apresenta trincamento aleatório de média ou alta severidade, próximo da trinca;
- Apresenta trincas que causam severo impacto quando o veículo as atravessa.

2.5.4.6. Método de Medição

O Trincamento Longitudinal é medido em metros lineares. O comprimento e a severidade de cada trinca devem ser identificados, medidos e registrados. Se o nível de severidade das trincas for variável, a extensão de cada porção do trincamento, de mesma gravidade, deve ser medido e registrado separadamente. Os níveis de severidade são determinados dirigindo-se o veículo sobre a seção do pavimento, no limite de velocidade estabelecido.

2.5.5. Trincamento em Blocos

O Trincamento em Blocos é um conjunto de trincas que divide a superfície do asfalto em peças retangulares de aproximadamente 0,1 m² (lados com aproximadamente 30 cm) a 10 m² (lados com aproximadamente 3m) de área. O trincamento da superfície em grandes blocos, normalmente, é classificado como trincamento longitudinal e transversal.

2.5.5.1. Causas Prováveis

O Trincamento em Blocos é causado, principalmente, pela contração da capa asfáltica, em função da alternância diária entre altas e baixas temperaturas; a ocorrência, geralmente, indica que o asfalto endureceu significativamente. Baixas resistências à tração, na mistura asfáltica, aceleram no início do Trincamento em Blocos. Não é um defeito associado à carga, embora esta possa aumentar sua severidade.

2.5.5.2. Mecanismo de Ocorrência

A contração da capa asfáltica provoca o trincamento do revestimento, na direção da sua menor dimensão de superfície (largura). A alternância diária entre altas e baixas temperaturas causa, portanto, trincamentos transversais no revestimento asfáltico. O asfalto endurece e novas trincas transversais são formadas. Quando a distância entre as trincas transversais é quase a mesma que a largura da faixa, o pavimento pode, então, trincar na sua direção longitudinal, ocasião em que trincas adjacentes transversais são conectadas, formando blocos. O processo prossegue enquanto o asfalto continuar a endurecer.

2.5.5.3. Localização

O Trincamento em Blocos ocorre, normalmente, sobre uma grande parte da área do pavimento.

2.5.5.5. Classe

O Trincamento em Blocos é classificado como defeito funcional e estrutural. Grandes trincamentos em blocos causam muita irregularidade (dano funcional) e reduzem a integridade estrutural.

2.5.5.6. Níveis de Severidade



Foto 10 – Baixa Severidade

a. **Baixo:** O Trincamento em blocos, de baixa severidade (Foto 10), apresenta;

- Trincas não seladas e não erodidas ou com pouca erosão, cuja largura média é, no máximo, de 6 mm;
- Trincas seladas cujo selantes estão em condições satisfatórias para prevenir a infiltração de umidade.



Foto 11 – Média Severidade

b. **Médio:** O Trincamento em Blocos, de média severidade (Foto 11), apresenta:

- Trincas seladas ou não seladas, moderadamente erodidas;
- Trincas são seladas e não erodidas ou com pouca erosão, mas cuja largura média é maior que 6 mm;
- Trincas seladas, não erodidas ou com pouca erosão, mas que apresentam o selante em condições insatisfatória.



- c. **Alto:** O Trincamento em Blocos, de alta severidade (Foto 12), apresenta trincas severamente erodidas.

Foto 12 – Alta Severidade

2.5.5.6. Método de Medição

O Trincamento em Blocos é medido em metros quadrados de área de superfície trincada. A área trincada deve ser medida por intermédio do retângulo a ela circunscrito, com um lado paralelo ao eixo da rodovia.

Em uma seção do pavimento, o Trincamento em Blocos geralmente ocorre com um só nível de severidade, mas se ocorrerem distintos níveis, eles devem ser medidos e registrados separadamente.

2.5.6 Trincamento por Propagação de Juntas (TJ).

O trincamento por Propagação de juntas é o conjunto das trincas longitudinais e transversais que aparecem sobre juntas de lajes de concreto de cimento Portland.

Podem ser incluídos neste tipo de defeito todos os casos em que o revestimento asfáltico foi construído sobre peças rígidas contendo juntas como, por exemplo, revestimentos asfálticos sobre paralelepípedos ou sobre blocos articulados de concreto de cimento Portland.

2.5.6.1 Causas Prováveis

O Trincamento por Propagação de Juntas é causado por movimentos na placa rígida, abaixo da superfície do revestimento. Geralmente não é iniciado por ação da carga de tráfego.

2.5.6.2 Mecanismo de Ocorrência

O trincamento por Propagação de Juntas tem início na superfície inferior da camada de revestimento asfáltico, propagando-se, em seguida, no sentido da superfície.

2.5.6.3 Localização

As trincas por propagação de juntas ocorrem sobre juntas longitudinais e transversais das lajes de concreto de cimento Portland (ou outras peças rígidas), subjacentes à camada de revestimento asfáltico.

2.5.6.4 Classes

O Trincamento por Propagação de Juntas é classificado como defeito funcional e estrutural.

2.5.6.5 Nível de Severidade



Foto 13 – Baixa Severidade

a. Baixo: O trincamento por Propagação de Juntas, de baixo nível de severidade (foto 13), apresenta:

- Trincas, seladas ou não seladas, com pouca ou nenhuma erosão e que não causam significativo impacto, ao serem cruzadas pelo veículo;
- Trincas não seladas com abertura média de no máximo 6 mm;
- Trincas seladas com qualquer abertura e com material selante em condições satisfatória para prevenir substancialmente a infiltração de



Foto 14 – Média Severidade

b. Médio: O trincamento por Propagação de Juntas, de médio nível de severidade (foto 14), apresenta:

- Trincas, seladas ou não seladas, com qualquer abertura, moderadamente erodidas;
- Trincas não erodidas ou com pouca erosão, seladas, mas com material selante em más condições, permitindo que a água se infiltre livremente;

- Trincas não seladas, não erodidas ou com pouca erosão e com abertura média maior que 6 mm;
- Trincamento aleatório, de baixa severidade, próximo à trinca ou na junção de trincas que se interceptam;
- Trincas que causam significativo impacto no veículo.



Foto 15 – Alta Severidade

c. Alto: O Trincamento por Propagação de juntas, de alto nível de severidade (foto 15), apresenta:

- Trincas severamente erodidas;
- Trincamento aleatório, de nível de severidade médio ou alto, próximo das trincas ou nos cantos de trincas que se interceptam;
- Trincas que causam grande impacto no veículo.

2.5.6.6 Método de Medição

O Trincamento por Propagação de Juntas é medido em metros lineares. O comprimento e o nível de severidade de cada trinca devem ser identificados, medidos e registrados. Se o nível de severidade das trincas é variável, a extensão de cada porção do trincamento, de mesma gravidade, deve ser medido e registrado separadamente.

Os níveis de severidade são determinados dirigindo-se o veículo sobre a seção do pavimento, a velocidade estabelecida.

2.5.7 Trincamento na Borda (TBd)

O Trincamento na borda é uma ruptura, normalmente situada ao longo de uma faixa de 30 a 60 cm de borda do pavimento ou da junção onde o pavimento sofreu alargamento. Caracteriza-se por uma trinca retilínea ou por uma área trincada que ocorre próximo da junção entre a pista e o acostamento. O trincamento na borda pode ser acompanhado por desintegração ou desagregação ao longo da borda.

2.5.7.1 Causas Prováveis

O Trincamento na Borda pode ser causado por:

- Construção defeituosa do acostamento ou alargamento;
- Diferença de rigidez entre os materiais constituintes do alargamento e do pavimento antigo;
- Isolação insuficiente da separação;
- Compactação insuficiente;
- Ação erosiva da água, devido à drenagem deficiente;
- Largura insuficiente da pista.

2.5.7.2 Mecanismos de ocorrência

O início das trincas começa com a degradação da borda, quando a parte sã do pavimento está separada do prolongamento por uma região com características ruins, o trincamento é acompanhado de desordens secundárias como Afundamentos, Trincamentos por Fadiga, Panelas, etc..

2.5.7.3 Localização

O Trincamento na Borda ocorre ao longo de uma faixa de aproximadamente 30 a 60 cm da borda do pavimento ou da junção onde o pavimento sofreu alargamento.

2.5.7.4 Classe

O Trincamento na Borda é classificado como defeito estrutural e funcional.

2.5.7.5 Níveis de Severidade.



Foto 16 – Baixa Severidade

- a. **Baixo:** O Trincamento na Borda, de baixo nível de severidade (foto 16), apresenta a região trincada sem quebra ou desordens de natureza diversa;



Foto 17 – Média Severidade

- b. **Médio:** O Trincamento na Borda, de médio nível de severidade (foto 17), apresenta a região trincada com alguma quebra ou desordens de nível de severidade médio;



Foto 18 - Alta Severidade

- c. **Alto:** O Trincamento na Borda, de alto nível de severidade (foto 18), apresenta a região deteriorada com muitas quebras ou desordens de nível de severidade alto.

2.5.7.6 Mecanismos de Medição

O Trincamento na Borda é medido em metros quadrados de área de superfície. A área trincada deve sempre ser obtida por intermédio do retângulo a ela circunscrito, com um lado paralelo ao eixo da rodovia. Cada nível de severidade deve ser medido e registrado separadamente.

2.5.8 Trincamento Parabólico (TP)

O Trincamento Parabólico caracteriza-se pela formação de trincas em forma de meia lua ou quarto crescente, geralmente, com ambas as pontas indicando a direção do tráfego.

2.5.8.1 Causas Prováveis

O trincamento Parabólico é causado por:

- Baixa resistência da mistura asfáltica;
- Mal vínculo entre a superfície de rolamento e a camada subjacente da estrutura do pavimento.

2.5.8.2 Mecanismo de ocorrência.

No Trincamento Parabólico, partes do revestimento asfáltico se movem lateralmente em relação ao resto do revestimento, em consequência de forças laterais cisalhantes, causadas pelas cargas de tráfego devido especialmente, à frenagem ou à rolagem das rodas dos veículos.

2.5.8.3 Localização

O Trincamento Parabólico pode ocorrer ao longo de qualquer porção da superfície do pavimento, mas geralmente se apresenta nas trilhas de roda.

2.5.8.4 Classe

O Trincamento Parabólico é classificado como defeito funcional.

2.5.8.5 Níveis de Severidade.

Não é definido nenhum grau de severidade para o Trincamento Parabólico (foto 19). É suficiente indicar que a falha existe.



Foto 19 – Trincamento Parabólico

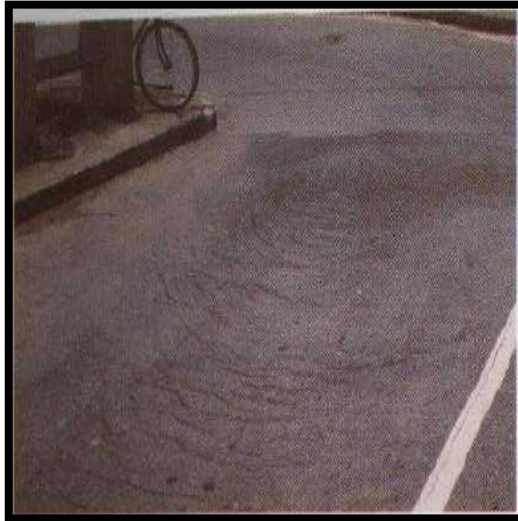


Foto 20 – Trincamento Parabólico

2.5.8.6 Mecanismo de Medição

O Trincamento Parabólico é medido em metros quadrados de área de superfície, dentro da unidade de inspeção. A área trincada deve sempre ser obtida por intermédio do retângulo a ela circunscrito, com um lado paralelo ao eixo da rodovia.

2.5.9 Remendos/Deterioração de Remendos (Re)

Remendo é uma porção do revestimento onde o material original removido e outro material, similar ou diferente, foi recolocado em seu lugar. A deterioração de remendos é o conjunto dos danos existentes numa área de remendos.

Os Remendos são executados de acordo com a técnica apropriada; o simples preenchimento de Panela é, usualmente, chamado de “Tapa Buraco”.

2.5.9.1 Causas Prováveis

Os Remendos e a Deterioração dos Remendos podem ser causados por:

- Carga de tráfego;
- Emprego de materiais de má qualidade;
- Ação do meio ambiente;
- Má construção.

2.5.9.2 Mecanismo de Ocorrência

A Deterioração dos Remendos ocorre por diversos mecanismos independentes dos problemas que lhes deram origem.

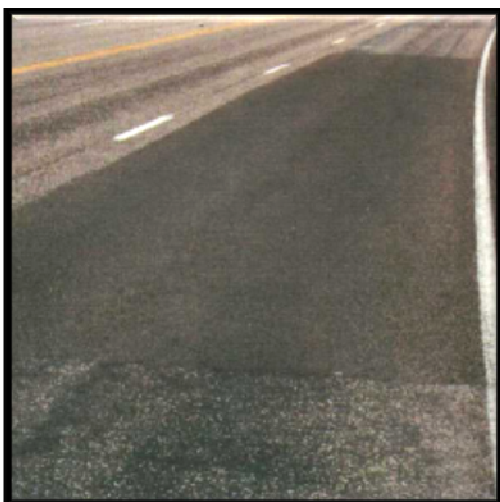
2.5.9.3 Localização.

Os Remendos se localizam em áreas isoladas do pavimento onde o revestimento atingiu alto grau de deterioração: pode existir em qualquer porção do pavimento. A Deterioração de Remendos em áreas de Remendo.

2.5.9.4 Classe

Os Remendos e a Deterioração de Remendos podem ser classificados como defeitos funcionais e estruturais.

2.5.9.5 Níveis de Severidade



- a. **Baixo:** Um remendo, de baixo nível de severidade (foto 21) apresenta-se em muito boa ou excelente condição, com desempenho satisfatório;

Foto 21 - Baixa Severidade



Foto 22 – Média Severidade

- b. Médio:** Um Remendo deteriorado, de médio nível de severidade (foto 22), apresenta-se algo deteriorado, contendo qualquer tipo de defeito, com baixo ou médio nível de severidade;



Foto 23 – Alta Severidade

- c. Alto:** Um Remendo deteriorado é considerado de alto nível de severidade (foto 23), quando se encontra muito deteriorado necessitando ser refeito. Neste caso, apresenta algum tipo de defeito com alto nível de severidade.

2.5.9.6 Método de Medição

Os Remendos e a Deterioração dos Remendos são medidos em metros quadrados de área. A área deteriorada deve, sempre, ser medida por intermédio do retângulo a ela circunscrito, com um lado paralelo ao eixo da rodovia. Cada nível de severidade deve ser medido e registrado separadamente.

2.5.10 Painéis (P)

Painéis são cavidades de tamanhos variados, no revestimento do pavimento.

2.5.10.1 Causas Prováveis

As Painéis podem ser causadas por danos no revestimento do pavimento, devido a:

- Trincas de fadiga;
- Desintegração localizada na superfície do pavimento;
- Ciclos gelo-degelo, acompanhados da presença de umidade.

Tanto a formação quanto a progressão das painéis, motivadas por qualquer dessas causas, são aceleradas pela ação do tráfego.

2.5.10.2 Mecanismos de Ocorrência

As painéis ocorrem pela fragmentação do revestimento em pequenas peças, devido às trincas de fadiga ou, à Desintegração localizada da mistura. Essas peças são removidas pelo tráfego, que força o material interno para fora do buraco, aumentando a profundidade das Painéis.

Noutro mecanismo de ocorrência, a água se acumula sob a superfície do pavimento e congela devido às baixas temperaturas, causando um levantamento localizado. Durante o degelo, o gelo derrete-se causando amolecimento do material da base, que irá quebrar-se sob a carga do tráfego.

2.5.10.3 Localização

As Painéis podem ocorrer em qualquer porção do revestimento principalmente nas trilhas de roda.

2.5.10.4 Classe

As Painéis são consideradas defeitos funcionais

2.5.10.5 Níveis de Severidade.



Foto 24 – Baixa Severidade

- a. **Baixo:** As Panelas, de baixo nível de severidade (foto 24), apresentam profundidades menores que 2,5 cm e cobrem menos que 0,28 m² de área (cerca de 60 cm de diâmetro).



Foto 25 – Média Severidade

- b. **Médio:** As Panelas, de médio nível de severidade (foto 25), apresentam:
- Profundidades menores que 2,5 cm e cobrem mais que 0,28 m de área;
 - Profundidades compreendidas entre 2,5cm e 5,0 cm e cobrem menos que 0,28 m² de área;
 - Apresentam profundidade maior que 5,0 cm e cobrem menos que 0,10 m² de área (cerca de 40 cm de diâmetro).



Foto 26 – Alta Severidade

c. **Alto:** As Panelas, de alto nível de severidade (foto 26), apresentam:

- Profundidades entre 2,5 cm e 5,0 cm e cobrem mais que 0,28m² de área;
- Mais que 5,0 cm de profundidade e cobrem mais que 0,10 m² de área.

2.5.10.6 Método de Medição

As Panelas são medidas por profundidade e por área de superfície, em metros quadrados. A área deteriorada deve ser obtida por intermédio do retângulo circunscrito, com um lado paralelo ao eixo da rodovia. Cada nível de severidade deve ser medido e registrado separadamente.

2.5.11 Depressão (Dp)

Depressão é uma concavidade no pavimento, isto é, uma porção localizada do revestimento, situada em nível pouco mais baixo que o nível médio da superfície que a rodeia. As leves depressões somente são perceptíveis após uma chuva, com o aparecimento de poças d água.

2.5.11.1 Causas

As Depressões são criadas por defeitos de construção ou, são causadas por recalque do terreno de fundação ou de aterro.

2.5.11.2 Mecanismos de Ocorrência

Quando a causa é o recalque do terreno a Depressão é dependente do tempo de recalque do solo de fundação. Quando a causa é função de desigualdades superficiais em camada subjacente, a Depressão aparece, imediatamente, durante a construção.

2.5.11.3 Localização

A Depressão pode ocorrer em qualquer porção da superfície pavimentada.

2.5.11.4 Classe

A Depressão é classificada como defeito funcional, pois prejudica o rolamento (aumenta a irregularidade do pavimento). Se as Depressões forem profundas o suficiente, podem causar hidroplanagem, quando cheias d água.

2.5.11.5 Níveis de Severidade

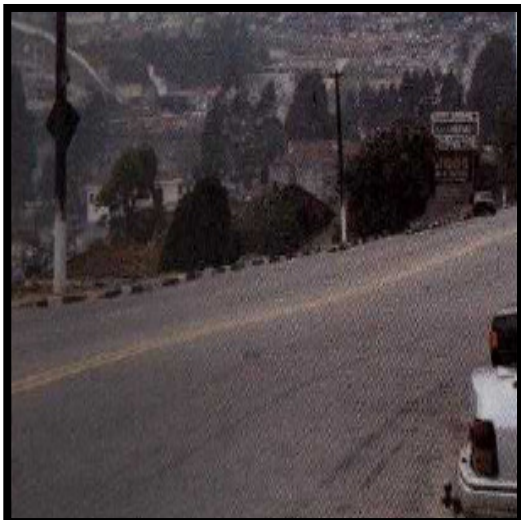


Foto 27 – Baixa Severidade

- a. **Baixo:** A Depressão, de baixo nível de severidade (foto 27), causa alguma agitação no veículo, mas não cria desconforto;



Foto 28 - Média Severidade

- b. Médio:** A Depressão de médio nível de severidade (foto 28) causa agitação significativa no veículo e cria algum desconforto;



Foto 29 – Alta Severidade

- c. Alto:** A Depressão, de alto nível de severidade (foto 29), causa excessiva agitação no veículo e cria substancial desconforto, risco à segurança ou dano no veículo, requerendo redução na velocidade.

2.5.11.6 Método de Medição

A Depressão é medida em metros quadrados, em cada unidade de inspeção. A área deteriorada deve sempre ser obtida por intermédio do retângulo a ela circunscrito, com um lado paralelo ao eixo da rodovia.

Cada Depressão é classificada de acordo com seu nível de severidade. Cada nível de severidade deve ser medido e registrado separadamente.

Os níveis de severidade são determinados dirigindo-se o veículo sobre a seção do pavimento, à velocidade estabelecida.

2.5.12 Afundamento de Trilha de Roda (ATR)

O Afundamento de Trilha de Roda é uma depressão nas trilhas de roda: pode ocorrer elevação ao longo das bordas da depressão. Nos casos incipientes, esse tipo de defeito somente é percebido após as chuvas, quando o sulco fica cheio d água.

2.5.12.1 Causas Prováveis

O Afundamento de Trilha de Roda aparece quando ocorre:

- Compactação inadequada durante a construção;
- Mistura asfáltica ruim;
- Enfraquecimento dos materiais abaixo do pavimento devido à infiltração d água.

2.5.12.2 Mecanismo de Ocorrência

O Afundamento de Trilha de Roda aparece quando ocorre:

- Consolidação, compactação ou movimento lateral das camadas abaixo do revestimento do pavimento, devido às cargas de tráfego;
- Compactação do revestimento asfáltico, devido às cargas de tráfego;
- Fluidez plástica do material asfáltico do revestimento, em função da estação quente.

2.5.12.3 Localização

O Afundamento de Trilha de Roda ocorre nas trilhas de roda.

2.5.12.4 Classe

O Afundamento de Trilha de Roda é classificado como defeito funcional. Se o Afundamento de Trilha de Roda for severo ele é, também, classificado como defeito estrutural.

2.5.12.5 Níveis de Severidade

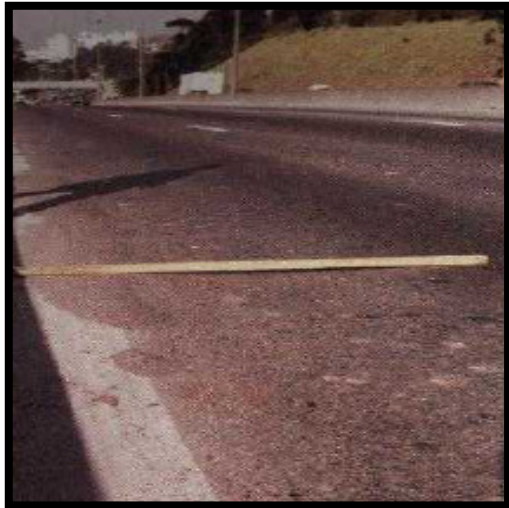


Foto 30 – Baixa Severidade

- a. Baixo:** O Afundamento de Trilha de Roda, de baixo nível de severidade (foto 30), apresenta profundidade média do sulco compreendida entre 6 mm e 12 mm;



Foto 31 – Média Severidade

- b. Médio:** O Afundamento de Trilha de Roda, de médio do sulco compreendida entre 12 mm e 25 mm (foto 31);



Foto 32 – Alta Severidade

- c. **Alto:** O Afundamento de Trilha de Roda, de alto nível de severidade (foto 32), apresenta profundidade média do sulco maior que 25 mm.

2.5.12.6 Método de Medição

O Afundamento de Trilha de Roda é medido em metros quadrados de área de superfície. A área deteriorada deve sempre ser obtida por intermédio do retângulo a ela circunscrito, com um lado paralelo ao eixo da rodovia.

A severidade do Afundamento de Trilha de Roda é determinada pela profundidade média do sulco. A profundidade média do sulco é determinada colocando-se uma barra reta de 1,2 m sobre as bordas, atravessando o sulco e medindo-se a depressão máxima: a depressão média é, então, calculada obtendo-se a média de medições feitas a cada 6m, ao longo do comprimento do sulco. Cada nível de severidade deve ser medido e registrado separadamente.

2.5.13 Corrugação

A Corrugação é um movimento plástico do revestimento asfáltico, caracterizado por ondulações transversais ao longo da superfície.

2.5.13.1 Causas Prováveis

A Corrugação pode ser causada por:

- Falta de estabilidade da mistura asfáltica, na estação quente;
- Excessiva umidade no solo do subleito;

- Contaminação da mistura asfáltica;
- Falta de aeração das misturas líquidas de asfalto.

2.5.13.2 Mecanismo de Ocorrência

A Corrugação ocorre como resultado da ação de cisalhamento, provocada pela carga de tráfego no revestimento do pavimento, ou entre o revestimento e o material de base.

2.5.13.3 Localização

A Corrugação ocorre, normalmente, nas regiões onde os veículos aceleram, como nas arrancadas, ou desaceleram, como nas frenagens. Pode ocorrer em qualquer porção da superfície do revestimento, mas é mais propiciada nas proximidades da trilha de roda.

2.5.13.4 Classe

A Corrugação é classificada como um defeito funcional (causa alta irregularidade no pavimento).

2.5.13.5 Níveis de Severidade

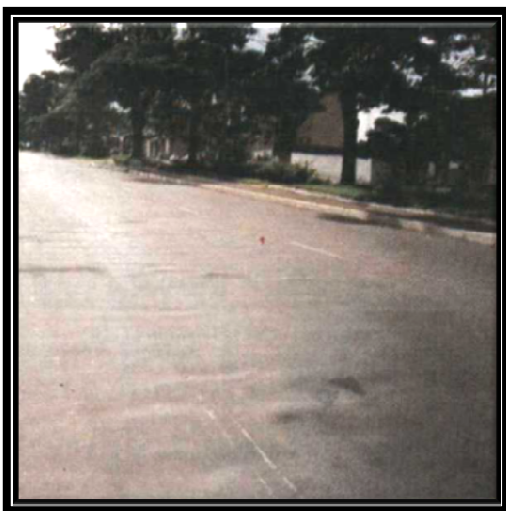


Foto 33 – Baixa Severidade

- a. **Baixo:** As Corrugações, de baixo nível de severidade (foto 33), causam alguma vibração no veículo, mas não criam desconforto.



Foto 34 – Média Severidade

- b. Médio:** As Corrugações, de nível de severidade (foto 34), causam vibrações significativas no veículo e criam algum desconforto.



Foto 35 – Alta Severidade

- c. Alto:** As Corrugações, de alto nível de severidade (foto 35), causam excessiva vibração no veículo, criam desconforto substancial e acarretam riscos de segurança ou de dano no veículo, requerendo redução da velocidade.

2.5.13.6 Método de Medição

A Corrugação é medida em metros quadrados de área de superfície. A área deteriorada deve sempre ser obtida por intermédio do retângulo a ela circunscrito, com um lado paralelo ao eixo da rodovia.

Os níveis de severidade são determinados dirigindo-se o veículo sobre a seção do pavimento, à velocidade estabelecida.

2.5.14 Deformação Plástica do Revestimento (DPR) - Escorregamento

A Deformação Plástica do Revestimento é um movimento horizontal localizado da capa na direção do tráfego, motivado pela pressão dos veículos contra o pavimento, que produz uma onda curta e abrupta na superfície do pavimento.

As deformações plásticas do revestimento, em remendos, devem ser consideradas como deformações de remendo.

2.5.14.1 Causas Prováveis

A Deformação Plástica do Revestimento pode ser causada por:

- Mistura pouco estável, com fluência elevada, especialmente em altas temperaturas;
- Má ligação entre o revestimento e a camada subjacente;
- Parada e saída de veículos nas interseções;
- Pressão exercida por um pavimento de concreto de cimento Portland na região de transição com o pavimento betuminoso;
- Compactação deficiente dos pré-misturados asfálticos.

2.5.14.2 Mecanismos de Ocorrência

A Deformação Plástica do Revestimento ocorre, exclusivamente, em pavimentos com misturas asfálticas de fluência elevada, como resultado da ação deformante provocada pelo deslocamento da carga de tráfego especialmente, quando a velocidade do veículo é diferente da velocidade periférica da roda (deslizamento da roda).

2.5.14.3 Localização

A Deformação Plástica do Revestimento pode ser localizada em:

- Regiões de aceleração, de desaceleração e de viragem dos veículos;
- Regiões onde o pavimento betuminoso encontra um pavimento de concreto de cimento Portland.

2.5.14.4 Classe

A Deformação Plástica do Revestimento é classificada como um defeito funcional (causa alta irregularidade no pavimento).

2.5.14.5 Nível de Severidade



Foto 36 – Baixa Severidade

- a. Baixo:** A Deformação Plástica do Revestimento, de baixo nível de severidade (foto 36), causa alguma vibração no veículo e cria algum desconforto.



Foto 37 – Média Severidade

- b. Médio:** A Deformação Plástica do revestimento, de médio nível de severidade (foto 37), causa vibrações significativas no veículo e cria algum desconforto.



Foto 38 – Alta Severidade

- c. Alto:** A Deformação Plástica do Revestimento, de alto nível de severidade (foto 38), causa excessiva vibração no veículo, cria desconforto substancial e acarreta riscos de segurança ou de dano no veículo, requerendo redução de velocidade.

2.5.14.6 Método de Medição

A Deformação Plástica do Revestimento é medida em metros quadrados de área de superfície. A área deteriorada deve sempre ser obtida por intermédio do retângulo a ela circunscrito, com um lado paralelo ao eixo da rodovia.

Os níveis de severidade são determinados dirigindo-se o veículo sobre a seção do pavimento, à velocidade estabelecida.

2.5.15 Agregados Polidos (AP).

Agregados Polidos são defeitos do revestimento caracterizados pela inexistência de (ou, muito pouca) porção de agregado projetando-se acima da superfície do pavimento. Neste caso, não há aspereza ou partículas angulares dos agregados para proporcionar boa resistência à derrapagem. Os Agregados Polidos somente são considerados como defeito do pavimento, quando o grau de polimento for significativo na redução da resistência à derrapagem. Sua existência pode ser detectada por observação visual ou correndo-se os dedos sobre a superfície do pavimento.

2.5.15.1 Causas Prováveis

Os Agregados Polidos são causados pela ação de repetidas passagens dos veículos.

2.5.15.2 Mecanismo de Ocorrência

A ação do tráfego provoca o desgaste dos agregados.

2.5.15.3 Localização

Os Agregados Polidos podem ocorrer ao longo de toda a superfície do pavimento, principalmente nas Trilhas de Roda.

2.5.15.4 Classe

Os Agregados Polidos são classificados como defeito funcional.

2.5.15.5 Níveis de Severidade

Não está definido nenhum nível de severidade para os Agregados Polidos (foto 39).



Foto 39 Agregado Polido

2.5.15.6 Método de Medição

Os Agregados Polidos são medidos em metros quadrados de área de superfície. A área deteriorada deve ser obtida por intermédio do retângulo a ela circunscrito, com um lado paralelo ao eixo da rodovia.

2.5.16 Exsudação

A Exsudação é um filme de material betuminoso que aparece na superfície do pavimento, criando um brilho vítreo. Esse filme betuminoso torna a superfície refletiva e bastante pegajosa. A Exsudação é irreversível e o asfalto se acumulando na superfície.

2.5.16.1 Causas Prováveis

A Exsudação é causada pela excessiva quantidade de ligante e pelo baixo conteúdo de vazios na mistura asfáltica.

2.5.16.2 Mecanismo de Ocorrência

A Exsudação ocorre durante a estação quente, quando o ligante asfáltico da mistura se expande preenchendo os vazios e, a seguir, flui para a superfície. As temperaturas elevadas obrigam o ligante asfáltico a se expandir preenchendo primeiro os vazios e, em seguida, fluindo para a superfície. O tráfego pode causar um aumento na densidade (menores vazios) ao longo da trilha de roda, com aumento da exsudação.

2.5.16.3 Localização

A Exsudação pode ocorrer em qualquer porção da superfície do pavimento, sendo mais severa nas trilhas de roda.

2.5.16.4 Classe

A Exsudação é classificada como um defeito funcional.

2.5.16.5 Níveis de Severidade



Foto 40 – Baixa Severidade

- a. Baixo:** A Exsudação, de baixo nível de severidade (foto 40), apresenta alguma coloração visível na superfície do pavimento;



Foto 41 – Baixa Severidade

- b. Médio:** a Exsudação, de médio nível de severidade (foto 41), mostra claramente a existência de excesso de asfalto livre na superfície do pavimento;



Foto 42 – Alta Severidade

- c. **Alto:** A Exsudação, de alto nível de severidade (foto 42), apresenta a superfície do revestimento pegajosa, com aparência molhada e mostra claramente marcas de pneus.

A Exsudação somente deve ser considerada como defeito quando e extensiva o suficiente, para causar redução na resistência à derrapagem.

2.5.16.6 Método de Medição

A Exsudação é medida em metros quadrados de área de superfície. A área deteriorada deve sempre ser obtida por intermédio do retângulo a ela circunscrito, com um lado paralelo ao eixo da rodovia.

2.5.17 Empolamento (Ep)

O empolamento é caracterizado por um inchaço na superfície do pavimento, que pode ocorrer nitidamente sobre uma pequena área ou como uma onda longa e gradual. O empolamento pode ser acompanhado de trincamento da superfície.

2.5.17.1 Causas Prováveis

O Empolamento pode ser causado por:

- Ação do frio;
- Inchamento do solo do subleito, no caso de solos expansivos;
- Expansão da camada subjacente de concreto de cimento Portland;
- Raízes de árvores.

2.5.17.2 Mecanismo de Ocorrência

O Empolamento ocorre gradualmente, nos casos de inchamento do solo, ou de elevação da superfície de concreto asfáltico; ou, durante uma noite, quando a água acumulada nas camadas subjacentes congela, devido às baixas temperaturas.

2.5.17.3 Localização.

O Empolamento pode ocorrer ao longo de qualquer porção da superfície do pavimento.

2.5.17.4 Classe

O Empolamento é classificado como defeito funcional e estrutural.

2.5.17.5 Níveis de Severidade



Foto 43 – Baixa Severidade

- a. **Baixo:** O Empolamento, de baixo nível de severidade (foto 43), causa algum solavanco no veículo, mas não cria desconforto;



Foto 44– Média Severidade

- b. Médio:** O Empolamento, de médio nível de severidade (foto 44), causa solavanco significativo no veículo e cria algum desconforto;



Foto 45 - Alta Severidade

- c. Alto:** O Empolamento, de alto nível de severidade (foto 45), causa excessivo solavanco no veículo e cria substancial desconforto, risco de segurança ou, dano ao veículo, requerendo redução da velocidade.

2.5.17.6 Método de Medição

O Empolamento é medido em metros quadrados de área de superfície. A área deteriorada deve sempre ser obtida por intermédio do retângulo a ela circunscrito, com um lado paralelo ao eixo da rodovia.

Os níveis de severidade são determinados dirigindo-se o veículo sobre a seção do pavimento, à velocidade estabelecida.

2.5.18 Desintegração (Di)

A Desintegração é a corrosão do revestimento do pavimento, caracterizada pelo desalojamento progressivo de partículas do agregado. A Desintegração, geralmente, indica que o ligante endureceu significativamente.

2.5.18.1 Causas Prováveis

A Desintegração pode ser causada por:

- Tensão de cisalhamento horizontal, conseqüentemente do tráfego;
- Massa asfáltica muito dura e quebradiça;
- Presença de água no pavimento através dos vazios intercomunicados, sob alta pressão hidrostática motivada pelo tráfego.

2.5.18.2 Mecanismo de Ocorrência

Na Desintegração, devido à quebra e à perda do ligante, as partículas do material ficam soltas e atuam como material granular desvinculado.

2.5.18.3 Localização.

A Desintegração pode ocorrer ao longo, ou imediatamente abaixo, da superfície do pavimento.

2.5.18.4 Classe

A Desintegração é classificada como defeito funcional e estrutural.

2.5.18.5 Níveis de Severidade



Foto 46 – Baixa Severidade

- a. Baixo:** Na Desintegração de baixo nível de severidade (foto 46), os agregados e o ligante começam a se soltar, sem progressão significativa da corrosão;



Foto 47 – Média Severidade

- b. Médio:** Na Desintegração de médio nível de severidade (foto 47), os agregados e o ligante se soltam e a textura da superfície do pavimento está moderadamente irregular e esburacada;

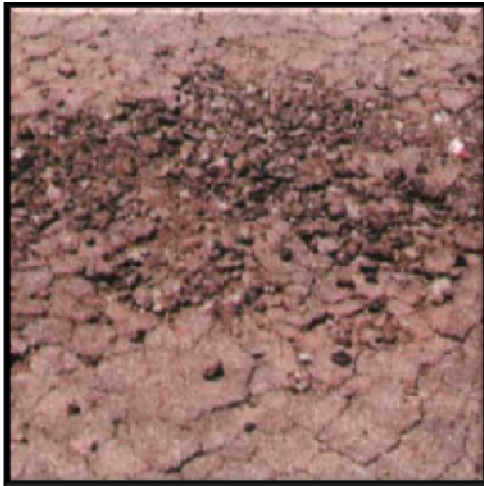


Foto 48 – Alta Severidade

- c. **Alto:** Na Desintegração de alto nível de severidade (foto 48), os agregados se soltam e a textura da superfície do pavimento está severamente irregular e esburacada.

2.5.18.6 Método de Medição

A Desintegração é medida em metros quadrados de área de superfície. A área deteriorada deve sempre ser obtida por intermédio do retângulo circunscrito, com um lado paralelo ao eixo da rodovia.

2.5.19 Intemperismo

O Intemperismo é a corrosão do revestimento do pavimento causado pela perda do ligante asfáltico.

2.5.19.1 Causas Prováveis

O Intemperismo pode ser causado por:

- Solicitações tangenciais muito importantes, (curvas, etc.);
- Emissões dos motores dos veículos (ação de hidrocarbonetos como solvente do asfalto), por período de tempo prolongado;
- Condições defeituosas de execução;
- Compactação insuficiente.

2.5.19.2 Mecanismo de Ocorrência

No Intemperismo devido à perda do ligante, as partículas da mistura ficam soltas e atuam como material granulado desvinculado.

2.5.19.3 Localização

O Intemperismo pode ocorrer ao longo, ou imediatamente abaixo, da superfície do pavimento.

2.5.19.4 Classe

O Intemperismo é classificado como defeito funcional e estrutural.

2.5.19.5 Níveis de Severidade



Foto 49 – Baixa Severidade

- a. **Baixo:** No Intemperismo de baixo nível de severidade (foto 49), os agregados e o ligante começam a se soltar, sem progresso significativo de corrosão;



Foto 50 - Média Severidade

- b. Médio:** No Intemperismo de médio nível de severidade (foto 50), os agregados e o ligante se soltaram e a textura da superfície do pavimento está moderadamente irregular e esburacada;

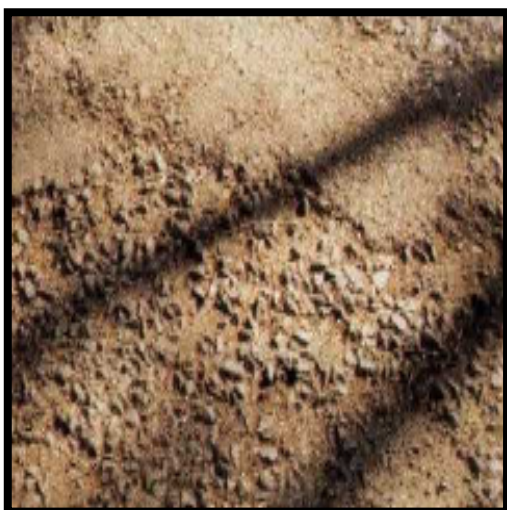


Foto 51 – Alta Severidade

- c. Alto:** No Intemperismo de alto nível de severidade (foto 51), os agregados e soltaram e a textura da superfície do pavimento esta severamente irregular e esburacada.

2.5.19.6 Método de Medição

O Intemperismo é medido em metros quadrados de área de superfície. A área deteriorada deve ser obtida por intermédio do retângulo a ele circunscrito com um lado paralelo ao eixo da rodovia.

2.5.20 Desagregação

A desagregação é caracterizada pela corrosão do revestimento do pavimento em virtude da perda de adesão asfalto-agregado, isto é, pela não colagem do cimento asfáltico ao agregado.

2.5.20.1 Causas Prováveis

A Desagregação é motivada por:

- Quebra ou inexistência do vínculo entre agregado e o cimento asfáltico, devido à presença de poeira ou de agregado sujo;
- Execução da obra em condições meteorológicas desfavoráveis;
- Permanência de água na superfície do pavimento o que provoca a remoção do asfalto pela água e pelo vapor d água.

2.5.20.2 Mecanismo de Ocorrência

Na Desagregação, devido à perda do vínculo asfalto-agregado, as partículas de agregados se soltam e atuam como material granulado desvinculado.

2.5.20.3 Localização

A Desagregação pode ocorrer ao longo, ou imediatamente abaixo, da superfície do pavimento.

2.5.20.4 Classe

A Desagregação é classificada como defeito funcional e estrutural.

2.5.20.5 Níveis de Severidade



Foto 52 – Baixa Severidade

- a. **Baixo:** Na Desagregação de baixo nível de severidade (foto 52), os agregados e o ligante começam a se soltar, sem progressão significativa da corrosão;



Foto 53 – Média Severidade

- b. **Médio:** Na desagregação de médio nível de severidade (foto 53), os agregados e o ligante se soltaram e a textura da superfície do pavimento está moderadamente irregular e esburacada;

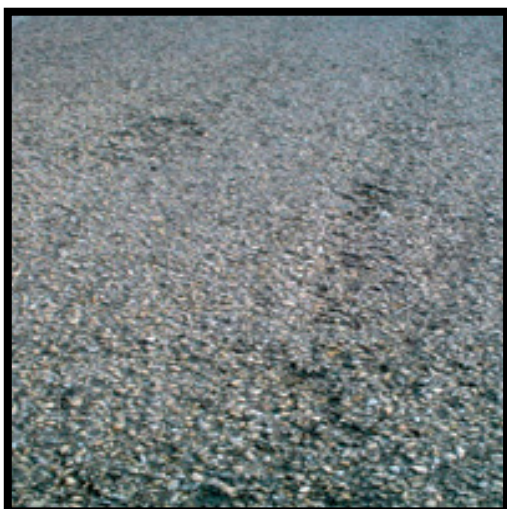


Foto 54 – Alta Severidade

- c. **Alto:** Na Desagregação de alto nível de severidade (foto 54), os agregados se soltaram e a textura da superfície do pavimento esta severamente irregular e esburacada.

2.5.20.6 Método de Medição

A Desagregação é medida em metros quadrados de área de superfície. A área deteriorada deve sempre ser obtida por intermédio do retângulo a ela circunscrito, com um lado paralelo ao eixo da rodovia.

2.5.21 Desnível entre a Pista e o Acostamento (DPA).

O Desnível entre a Pista e o Acostamento é caracterizado pela diferença, em elevação, entre a pista e o acostamento. Normalmente o acostamento está mais baixo que a pista.

2.5.21.1 Causas Prováveis

O Desnível entre a Pista e o Acostamento pode ser causado por:

- Recalque diferenciado ou Bombeamento do material sob o acostamento;
- Elevação do acostamento devido à ação do frio ou inchamento do solo;
- Perda de material de acostamento não estabilizado, em consequência do lançamento ou deslocamento de ar devido à passagem de caminhões;
- Defeito de construção.

2.5.21.2 Mecanismo de Ocorrência.

O desnível entre a Pista e o Acostamento, geralmente, não é um defeito iniciado pela carga. O acostamento vai ficando mais baixo, na medida da progressão da consolidação ou do bombeamento do material subjacente.

A elevação do acostamento em relação à pista aumenta sob a ação do frio ou do inchamento do solo.

2.5.21.3 Localização

O Desnível entre a Pista e o Acostamento ocorre na área de contato pista-acostamento.

2.5.21.4 Classe

O Desnível entre a Pista e o Acostamento é classificado como defeito funcional.

2.5.21.5 Níveis de Severidade



- a. Baixo:** O desnível entre a Pista e o Acostamento é considerado como sendo de baixo nível de severidade (foto 55), quando a diferença média em elevação entre a pista de tráfego e o acostamento está compreendida entre 6 mm e 12 mm;

Foto 55 – Baixa Severidade



Foto 56 – Média Severidade

- b. Médio:** O Desnível entre a Pista e o Acostamento é considerado como sendo de médio nível de severidade (foto 56), quando a diferença média em elevação entre a pista de tráfego e o acostamento esta compreendida entre 12 mm e 25 mm;



Foto 57 – Alta Severidade

- c. Alto:** O Desnível entre a Pista e o Acostamento é considerado como sendo de alto nível de severidade (foto 57), quando a diferença média em elevação entre a pista de tráfego e o acostamento é maior que 25 mm.

2.5.21.6 Método de Medição

Para cada unidade de inspeção, o desnível é medido em milímetros, a cada 30 metros ao longo da junção. O nível de severidade é determinado pela diferença média em elevação, calculada a partir dos dados obtidos.

2.5.22 Separação entre a Pista e o Acostamento (SPA).

A Separação entre a Pista e o Acostamento é um alargamento da junta entre a pista e o acostamento. Essa separação não é considerada como um defeito se a junta

era muito fechada ou selada, não permitindo a entrada da água ou, não há junta, devido à largura total pavimentada. É incluída neste defeito, a separação entre a pista e a sarjeta.

2.5.22.1 Causas Prováveis

A Separação entre a Pista e o Acostamento pode ser causada por:

- Ação de cisalhamento do acostamento;
- Movimento na borda do aterro devido ao declive (instabilidade de declive);
- Contratação do material do acostamento ou, por deslocamentos térmicos.

2.5.22.2 Mecanismo de Ocorrência

A Separação entre a Pista e o Acostamento ocorre em consequência de movimentos do acostamento em relação à pista.

2.5.22.3 Localização

A Separação entre a Pista e o Acostamento ocorre na junção entre o acostamento e o pavimento.

2.5.22.4 Classe

A Separação entre a Pista e o Acostamento é classificado como defeito funcional.

2.5.22.5 Níveis de Severidade

Se a junta estiver bem selada, prevenindo penetração de umidades, não é definido nenhum nível de severidade. Se existir meio fio, o nível de severidade pode ser classificado de acordo com a largura da junta entre a superfície do asfalto e o meio fio. O nível de severidade é determinado pela abertura da junta.

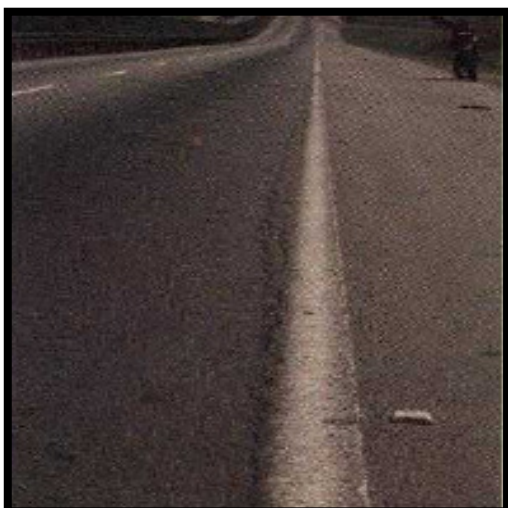


Foto 58 – Baixa Severidade

- a. **Baixo:** A Separação entre a Pista e o Acostamento, de baixo nível de severidade (foto 58), apresenta a abertura de junta compreendida entre 1 mm e 3 mm;

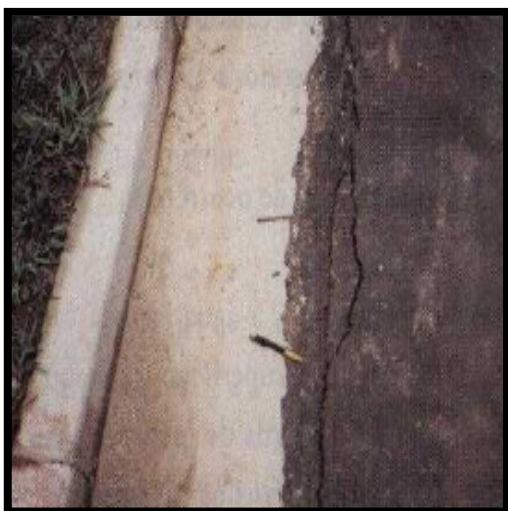


Foto 59 – Média Severidade

- b. **Médio:** A Separação entre a Pista e o Acostamento, de médio nível de severidade (foto 59), apresenta abertura da junta compreendidas entre 3 mm e 10 mm.



Foto 60 – Alta Severidade

- c. **Alto:** A Separação entre a Pista e o Acostamento, de alto nível de severidade (foto 60), apresenta a abertura da junta maior que 10 mm ou, o acostamento não é pavimentado.

2.5.22.6 Método de Medição

A Separação entre a Pista e o Acostamento é medida em cada unidade de inspeção, em milímetros a cada 15 m de intervalo, ao longo da junta. A principal separação é usada para determinar o nível de severidade.

2.5.23 Bombeamento d água (B).

O Bombeamento é a ejeção de água e materiais finos sob pressão, através das trincas, devido à carga de tráfego. O Bombeamento é evidenciado pela existência de manchas na superfície do pavimento, ou pela acumulação de material fino na superfície junto das trincas.

2.5.23.1 Causas Prováveis

O Bombeamento é causado pela existência de vazios sob a superfície do pavimento, submetidos à alta pressão de água.

2.5.23.2 Mecanismo de Ocorrência

No Bombeamento, a água ejetada carrega material fino de dentro do pavimento para a superfície, resultando numa deterioração progressiva do material e na perda de suporte do pavimento. O Bombeamento pode ser observado quando uma pesada carga de roda passa sobre o pavimento.

2.5.23.3 Localização

O Bombeamento é visível próximo às trincas ou às juntas de construção.

2.5.23.4 Classe

O Bombeamento é classificado como um defeito funcional e estrutural.

2.5.23.5 Níveis de Severidade



Foto 61 – Baixa Severidade

- a. Baixo:** O Bombeamento, de baixo nível de severidade (foto 61), apresenta nenhuma ou pequena quantidade de finos visíveis na superfície do pavimento;



Foto 62 – Média Severidade

- b. Médio:** O Bombeamento, de médio nível de severidade (foto 62), apresenta algum material bombeado e pode ser observado próximo às trincas, na superfície do pavimento;



Foto 63 – Alta Severidade

- c. **Alto:** O Bombeamento, de nível de severidade (foto 63), apresenta significativa quantidade de material bombeado na superfície do pavimento, próximo às trincas.

2.5.23.6 Método de Medição

O Bombeamento não são medidos, mas contados.

2.5.24 Afloramento d água (Af).

O Afloramento d água é o vazamento lento d água pelas trincas, no revestimento do pavimento.

2.5.24.1 Causas Prováveis

O Afloramento d água é causado pela existência de vazios sob a superfície do pavimento, submetidos à alta pressão de água.

2.5.24.2 Mecanismo de Ocorrência

No Afloramento, a água do interior é submetida à alta pressão o que faz com que ela migre, lentamente para a superfície.

2.5.24.3 Localização

O Afloramento d água ocorre próximo às trincas ou juntas de construção

2.5.24.4. Classe

O Afloramento d água é classificado como um defeito funcional e estrutural.

2.5.24.5 Níveis de Severidade



Foto 64 – Baixa Severidade

- a. Baixo:** O Afloramento d água, de baixo nível de severidade (foto 64), apresenta pequena quantidade de água visível na superfície do pavimento, com pouca ou nenhuma perda de finos;



Foto 65 - Média Severidade

- b. Médio:** O Afloramento d água de médio nível de severidade (foto 65), apresenta pequena quantidade de água na superfície do pavimento com alguma perda de material fino;



Foto 66 – Alta Severidade

- c. **Alto:** O Afloramento d água, de alto nível de severidade (foto 66), apresenta significativa quantidade de água visível na superfície do pavimento, com perda substancial de material fino.

2.5.24.6 Método de Medição

Os Afastamentos não são medidos, mas contados.

2.6 DIAGNÓSTICOS DE DEFEITOS

O objetivo principal da pavimentação é garantir a trafegabilidade em qualquer época do ano e condições climáticas, e proporcionar aos usuários conforto ao rolamento e segurança.

O desempenho adequado do conjunto de camadas e do subleito relaciona-se à capacidade de suporte e à durabilidade compatível com o padrão da obra e o tipo de tráfego.

Do ponto de vista do usuário, o estado da superfície do pavimento é o mais importante, pois os defeitos ou irregularidades nessa superfície são percebidos uma vez que afetam seu conforto. Quando o conforto é prejudicado, significa que o veículo também sofre mais intensamente as consequências desses defeitos.

2.6.1 Serventia

A avaliação funcional de um pavimento relaciona-se à apreciação da superfície dos pavimentos e como este estado influencia no conforto ao rolamento. O primeiro método estabelecido de forma sistemática para a avaliação funcional foi o da serventia de um dado trecho de pavimento, concebida por Carey e Irick (1960) para as pistas experimentais da AASHO (American Association of State Highway Officials, hoje AASHTO, American Association of State Highway and Transportation Officials). O valor de serventia atual é uma atribuição numérica compreendida em uma escala de 0 a 5, dada pela média de notas de avaliadores para o conforto ao rolamento de um veículo trafegando em um determinado trecho, em um dado momento da vida do pavimento. Esta escala compreende cinco níveis de serventia, conforme expresso na Tabela 6, sendo também adotada no país pelo DNIT 009/2003-PRO (DNIT, 2003 d).

Padrão de conforto ao rolamento	Avaliação (faixa de notas)
Excelente	4 a 5
Bom	3 a 4
Regular	2 a 3
Ruim	1 a 2
Péssimo	0 a 1

Tabela 6 – Níveis de serventia (DNIT, 2003 d).

O VSA do pavimento diminui com o passar do tempo por dois fatores principais: o tráfego e as intempéries. A forma da curva de serventia com tempo decorrido de utilização da via é mostrado esquematicamente na Figura 9.

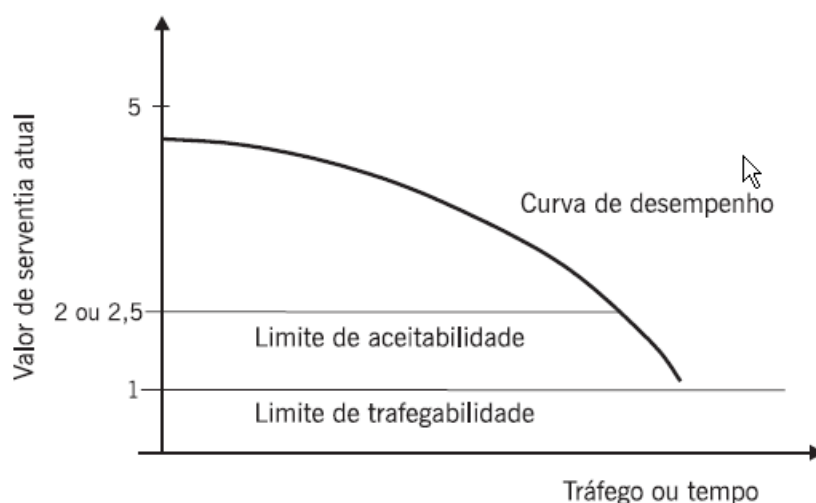


Figura 9 – Variação da serventia com o tráfego ou com o tempo decorrido de utilização da via.

Na Figura 9 estão indicados dois limites: de aceitabilidade e de trafegabilidade. Para os usuários, há um limite de aceitabilidade das condições de rolamento do pavimento, abaixo do qual o nível de conforto passa a ser inaceitável; este limite depende da categoria da rodovia e do tráfego. O guia de dimensionamento de pavimentos norte-americano da AASHTO (1993) introduziu pioneiramente já na sua primeira versão da década de 1960, além do critério de resistência, também o critério de serventia para o cálculo das estruturas de pavimento. Esse método atribui como limite da aceitabilidade a nota 2,5 para vias de alto volume de tráfego e 2,0 para as demais. Na prática, sempre que o valor de serventia atual atinge este patamar, uma intervenção de manutenção corretiva deve ser realizada de modo a repor o índice a um valor superior – Figura 10. No período em que o pavimento apresenta VSA acima deste valor, deve-se realizar manutenção preventiva periódica de modo há prolongar o tempo em que o mesmo permanece em condição aceitável quanto ao rolamento. Caso não haja manutenção ou esta seja inadequada, o pavimento pode atingir o limite de trafegabilidade, situação na qual se torna necessária sua reconstrução. Este limite depende dos padrões estabelecidos, estando geralmente próximo ao valor de serventia atual de 1,0 – Figura 9.

Após manutenção corretiva, o valor de serventia eleva-se novamente podendo atingir valores menores, iguais ou maiores à serventia inicial do pavimento. Esta situação é representada na Figura 11 pelas letras A, B e C. Este novo valor depende do tipo de revestimento asfáltico, da espessura projetada e da qualidade executiva. Após a restauração do pavimento, a serventia volta a diminuir dependendo da estrutura original, do grau de deterioração em que se encontrava, e do tipo e espessura da camada de manutenção. Essas diferenças podem ser observadas no exemplo da restauração do tipo A, onde se destacam três diferentes curvas de serventia, denominadas pelos algarismos 1, 2 e 3.

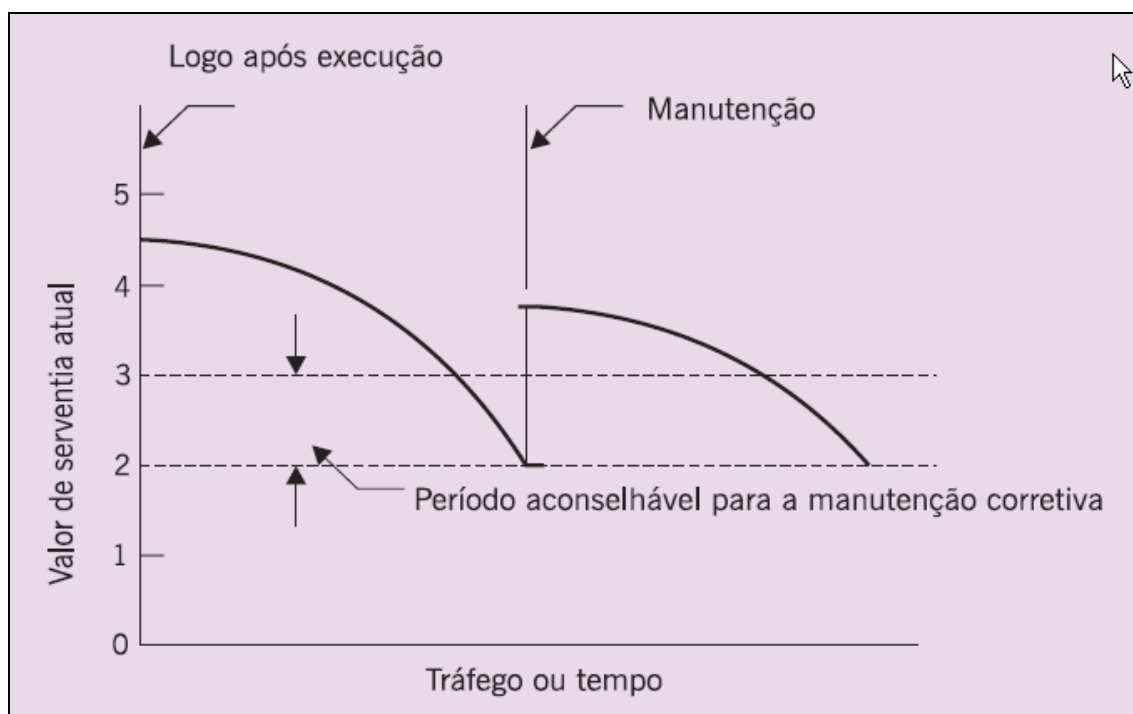


Figura 10 – Período recomendável para a manutenção dos pavimentos

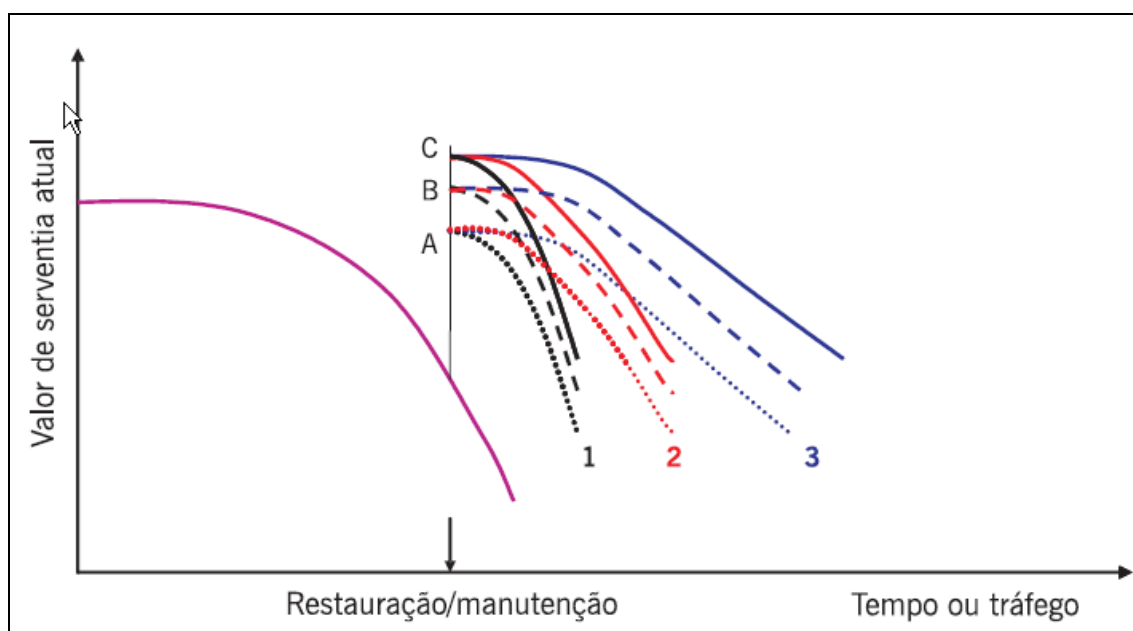


Figura 11 – Período recomendável para a manutenção dos pavimentos

2.6.2 Irregularidade Longitudinal

A irregularidade longitudinal é o somatório dos desvios da superfície de um pavimento em relação a um plano de referência ideal de projeto geométrico que afeta

a dinâmica do veículo, o efeito dinâmico das cargas, a qualidade ao rolamento e a drenagem superficial da via. Existe um índice internacional para a medida da irregularidade, designado de IRI – international roughness index (Índice de Irregularidade Internacional) que é um índice estatístico, expresso em m/km, que quantifica os desvios da superfície do pavimento em relação à de projeto. A Figura 12 mostra as faixas de variação do IRI em diversas situações (Sayers e Karamihas, 1998).

A irregularidade longitudinal é medida ao longo de uma linha imaginária, paralela ao eixo da estrada e, em geral, coincidente com as regiões de trilhas de roda, podendo em alguns casos haver o interesse de melhor detalhar o perfil, levantando-o em diversas linhas paralelas imaginárias. A linha de levantamento longitudinal possui uma largura variável de alguns milímetros a centímetros e depende do tipo de equipamento empregado.

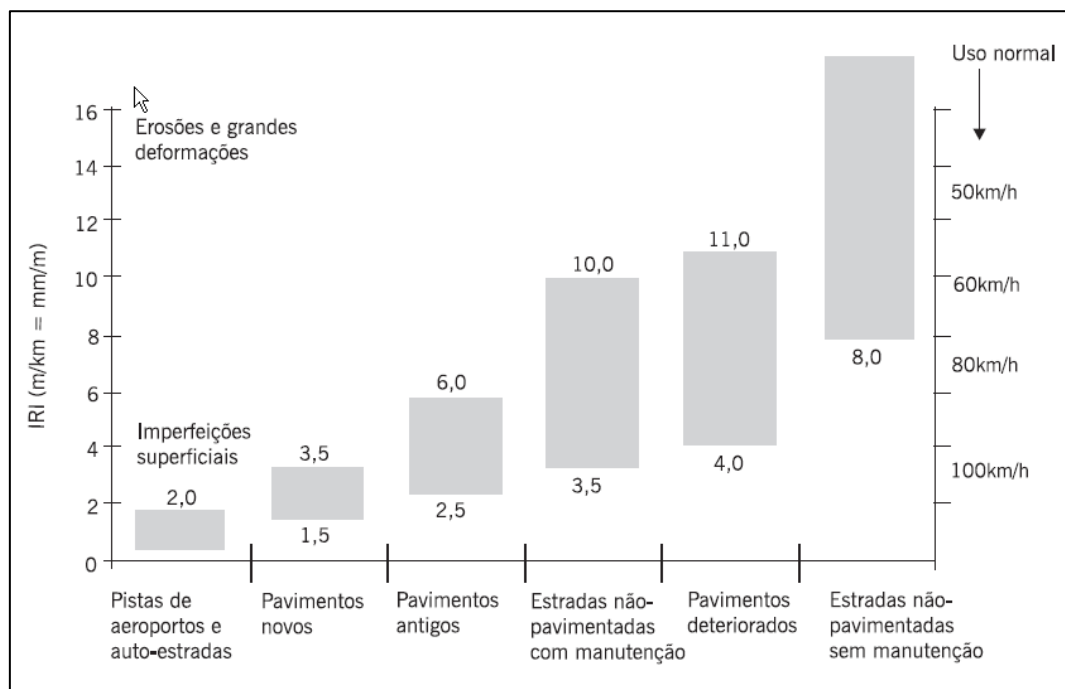


Figura 12 – Diversas faixas de variação do IRI dependendo do caso e situação (Sayers e Karamihas, 1998).

O primeiro equipamento para a avaliação da irregularidade usado na pista da AASHO levou seu nome: AASHO Road test profilometer – Figura 13. Para a avaliação mais extensiva das irregularidades, e não só para pesquisa, foi desenvolvido o perfilômetro CHLOE que também foi empregado nas pistas da AASHO e nos departamentos de transportes norte-americanos.

A irregularidade pode ser levantada com medidas topográficas ou por equipamentos medidores do perfil longitudinal com ou sem contato, ou ainda indiretamente avaliada por equipamentos do tipo “resposta”, que fornecem um somatório de desvios do eixo de um veículo em relação à suspensão. Têm sido empregadas diversas classificações de equipamentos, dependendo do tipo e princípio utilizado para o levantamento. Segundo Sayers e Karamihas (1998), tem-se empregado largamente a seguinte classificação:

- avaliação direta: por meio de equipamentos de classe I (nível e mira; Dipstick, perfilômetro do TRL etc.) e classe II (perfilógrafos, equipamentos com sensores a laser, APL francês etc.);
- avaliação indireta: equipamentos de classe III do tipo-resposta (TRL Bump integrator, Maysmeter, Merlin etc.).

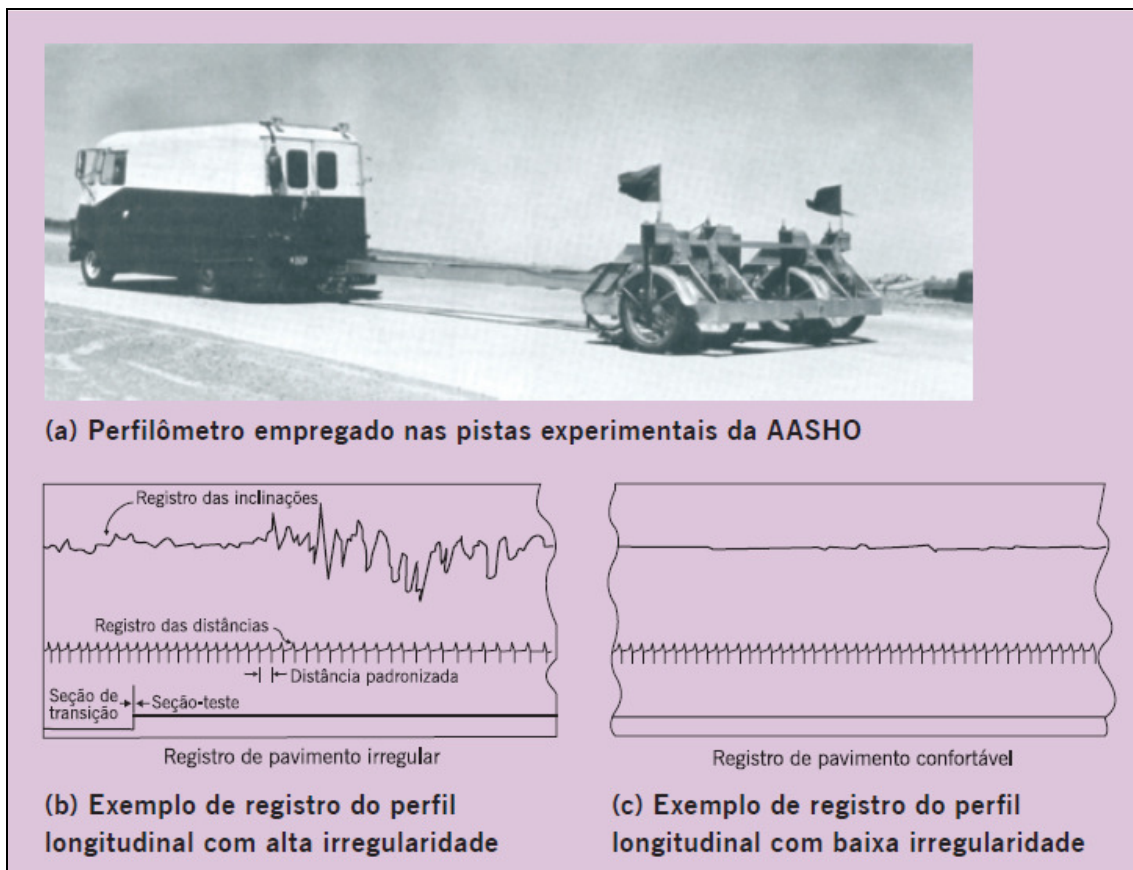


Figura 13 – Perfilômetro da AASHO empregando inicialmente na avaliação de suas pistas experimentais (Carey, Hunckins e Leathers, 1962).

A avaliação subjetiva da serventia realizada por um painel de avaliadores é classificada por alguns autores e órgãos como classe IV, uma vez que a serventia e a irregularidade se correlacionam.

Como classe I, tem-se o levantamento topográfico do perfil longitudinal feito por nível e mira (DNER-ES 173/86). O levantamento longitudinal é feito nas trilhas de roda externa e interna a cada 0,50m, geralmente.

O dipstick é um equipamento classe I também usado para calibração de trecho de referência por se tratar de um método manual de nivelamento de pequeno rendimento. Um operador caminha com o aparelho ao longo das trilhas de roda; o aparelho é girado 180° em torno do segundo ponto de apoio de modo que os dois apoios estão sempre em uma linha imaginária na longitudinal paralela ao eixo. O aparelho possui um inclinômetro instalado que fornece leituras da ordem de um milésimo de polegada. A Figura 14 mostra uma foto do equipamento portátil e um esquema de seu funcionamento.

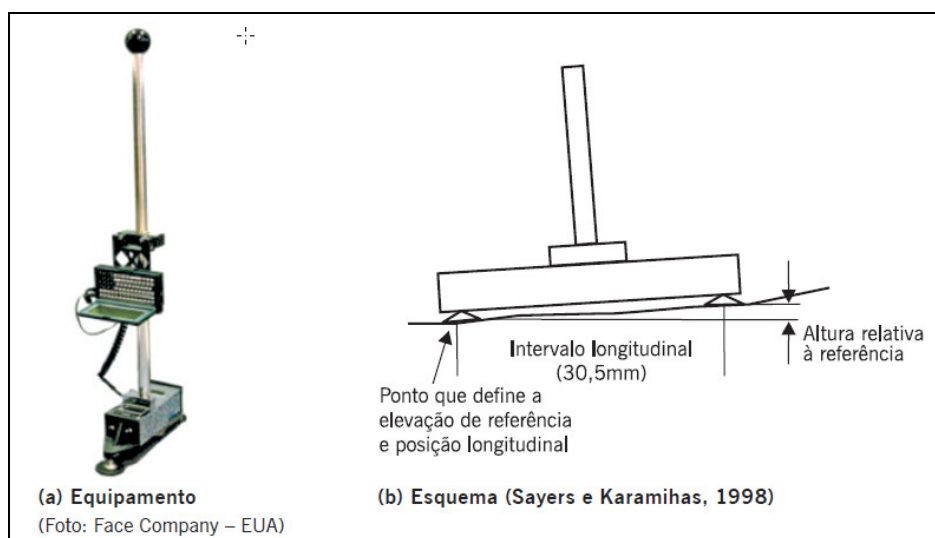


Figura 14 – Exemplo de equipamento dipstick e esquema de funcionamento.

O APL – analyseur de profil en long (analisador de perfil longitudinal) francês foi desenvolvido pelo Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (Laboratório Central de Pontes e Estradas) para medida de irregularidade. É um equipamento rebocável, podendo ser empregado um único equipamento ou dois paralelos, para o levantamento das irregularidades nas trilhas de roda. O reboque é puxado por um braço muito rígido, com uma roda em contato com a superfície e possui um pêndulo inercial de baixa frequência que serve como referência horizontal. A velocidade de levantamento é de 72 km/h; são registrados comprimentos de onda entre 1 e 40m (comprimentos de onda que interferem nos veículos trafegando entre 80 e 130 km/h). A Figura 15 mostra uma foto do equipamento francês classificado como de classe II.

Ainda na classe II, existem os equipamentos que fazem o levantamento do perfil longitudinal sem contato. Um exemplo de equipamento dessa classe é mostrado

na Figura 16, que é o TUS – transversoprofilomètre à ultrasons que emprega ondas ultrassônicas para levantamento da irregularidade.

A Figura 17 mostra outro tipo de equipamento sem contato que utiliza o princípio da onda de luz laser para as medidas de irregularidade. Na Figura 17(a) encontra-se uma foto do equipamento francês Palas 2 que utiliza um conjunto composto por diodo laser e uma câmera filmadora acoplada capaz de levantar 175 pontos de uma seção transversal com 4m de largura. Na Figura 17(b) mostra-se um equipamento brasileiro da mesma classe com uma barra contendo cinco lasers para o levantamento da seção transversal com até 3,5m de comprimento.



Figura 15 – Exemplo de equipamento APL francês.



Figura 16 – Exemplo de equipamento munido de barra com ultrassom



(a) Palas com laser e câmara filmadora digital (foto: LCPC, 2003).



(b) Barra com vários lasers (Foto: Ciber métrica, 2004).

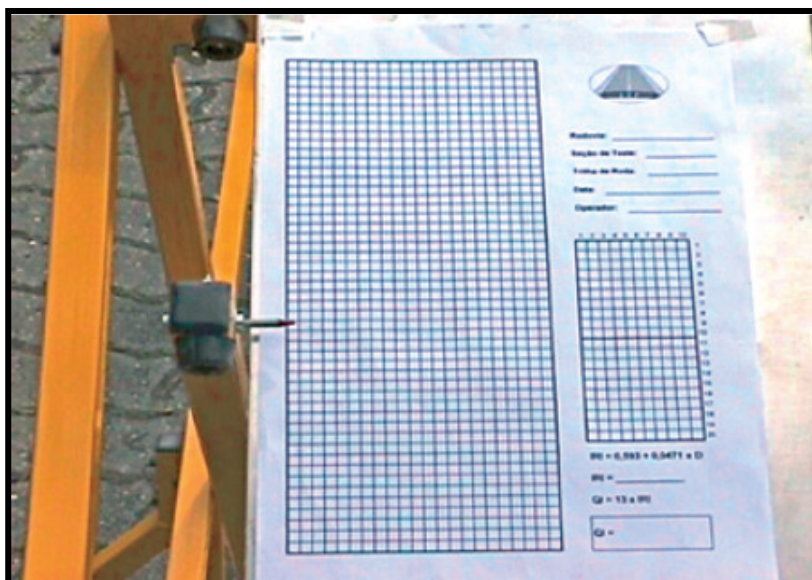
Figura 17 – Exemplos de equipamentos medidores de irregularidade de classe II.

A avaliação da irregularidade pode ser feita por equipamento Merlin, de classe III, desenvolvido pelo Transport Research Laboratory (TRL) inglês, para ser utilizado em países em desenvolvimento (Cundill, 1991). Na atualidade são mais empregados para levantamento de pequenos trechos ou para calibração de trechos para os equipamentos tipo-resposta também de classe III. Trata-se de uma estrutura metálica com 1,80m de comprimento, munido de uma roda na parte dianteira, uma ponta de

prova e um pé traseiro – assemelha-se a uma bicicleta sem a roda traseira – Figura 18(a). Anexada à ponta de prova, há uma haste capaz de registrar em uma folha de papel um gráfico condizente com os movimentos da ponta de prova na proporção de 1:10 (1mm de irregularidade : 10mm de registro) – Figura 18(b).



(a) Vista geral do Equipamento (Foto: Silva, 2005).



(b) Folha de registros (Foto: Silva, 2005).

Figura 18 – Exemplo de equipamento Merlin medidor de irregularidade

2.6.3 Avaliação Objetiva de Superfície pela Determinação do IGG

A condição de superfície de um pavimento asfáltico deve ser levantada, analisados seus defeitos e causas, e atribuídos indicadores numéricos que classifiquem seu estado geral. O DNIT 006/2003 – PRO (DNIT, 2003b) estabelece um método de levantamento sistemático de defeitos e atribuição do Índice de Gravidade Global (IGG), que poderá ser empregado em projetos de reforço. Para sistemas de gerência de manutenção empregasse geralmente o DNIT 007/2003 – PRO (DNIT, 2003c). Muitas vezes o levantamento dos defeitos e o cálculo do IGG precedem o levantamento estrutural para poder melhor embasá-lo.

Para o levantamento dos defeitos são utilizadas planilhas para anotações das ocorrências, material para demarcação de estacas e áreas da pesquisa, e treliça metálica para determinação do afundamento nas trilhas de roda das áreas analisadas. A Figura 19 mostra um exemplo de treliça, com haste móvel central, capaz de medir os afundamentos com a precisão de 0,5mm.



Figura 19 – Treliça metálica para medida dos afundamentos em trilha de roda.

O IGG não é determinado para toda a área da pista, mas de forma amostral para algumas estações com área e distanciamento entre elas prefixados pela especificação do DNIT. As estações são inventariadas nas rodovias de pista simples a

cada 20m, alternados entre faixas, portanto, em cada faixa a cada 40m; nas rodovias de pista dupla, a cada 20m, na faixa mais solicitada pelo tráfego, em cada uma das pistas. A superfície de avaliação corresponde a 3m antes e 3m após cada uma das estacas demarcadas, totalizando em cada estação uma área correspondente a 6m de extensão e largura igual a da faixa a ser avaliada. A Figura 20 mostra um exemplo das extensões em pista simples.

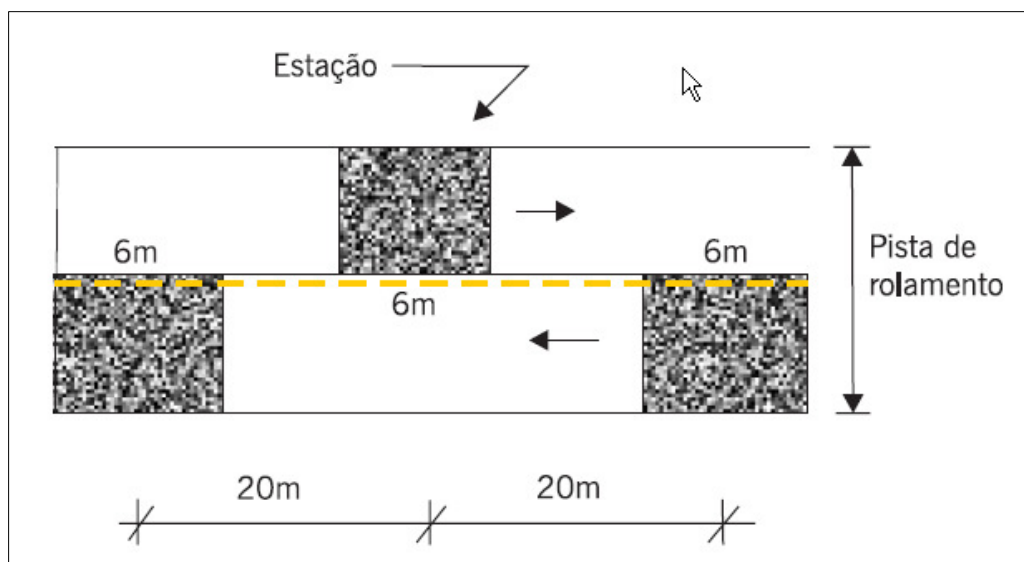


Figura 20 – Exemplo de demarcação de áreas para inventário de defeitos.

Faz-se a anotação numa planilha utilizando a terminologia e codificação de defeitos existentes na área demarcada. Observe-se que não se dá importância neste método à área atingida pelo defeito, mas à sua ocorrência ou não. Os afundamentos nas trilhas de roda externa e interna devem ser mensurados com o auxílio da trelça metálica e anotados na planilha na coluna referente à estação onde foi feita uma única medida em cada trilha. A Figura 21 mostra um exemplo de uma planilha com 18 estações inventariadas. A especificação do DNIT subdivide em oito categorias de defeitos: 1. fissuras e trincas; 2. trincas de bloco ou tipo couro de jacaré sem erosão; 3. trincas de bloco ou tipo couro de jacaré com erosão; 4. afundamentos localizados ou nas trilhas; 5. corrugação e panelas (além de ondulações); 6. exsudação; 7. desgaste; 8. remendos. Devem ser anotados os afundamentos nas trilhas externa e na interna, e registrada a existência de afundamentos por consolidação e escorregamentos.

O índice de gravidade global é calculado pela seguinte expressão:

$$IGG = \sum IGI$$

Equação 1

Onde:

IGG = índice de gravidade global do segmento em análise;

IGI = cada um dos índices de gravidade individual calculados para os oito tipos de defeitos e para as trilhas de roda.

A norma DNIT 06/2003 foi revista em substituição à DNER-PRO 08/1994 e estabelece um novo critério ou novas faixas de qualidade do segmento com base no valor de IGG. A Tabela 7 mostra as duas escalas.

Norma DNIT 06/2003		Norma DNER 08/1994	
Conceito	Limites	Conceito	Limites
Ótimo	$0 < IGG \leq 20$		
Bom	$20 < IGG \leq 40$	Bom	$0 < IGG \leq 20$
Regular	$40 < IGG \leq 80$	Regular	$20 < IGG \leq 80$
Ruim	$80 < IGG \leq 160$	Mau	$80 < IGG \leq 150$
Péssimo	$IGG > 160$	Péssimo	$IGG > 150$

Tabela 7 – Conceitos do índice de Gravidade Global IGG por Faixa de Valores.

Embora o IGG reflita as condições funcionais do estado superficial dos pavimentos, a atribuição de um conceito serve para distinguir casos, subdividindo-os em poucas classes, mas o conceito não deve substituir a referência ao valor calculado, visto que segmentos de mesmo conceito podem ter diferentes valores de IGG, e, portanto, condições diversas a serem consideradas no projeto de restauração. Vale à pena, mais uma vez, reforçar a idéia de que um bom diagnóstico dos defeitos, com observações globais, identificando as causas que levaram às patologias é imprescindível para um adequado projeto de restauração. O valor de IGG é um critério complementar.

2.6.4 Avaliação de aderência em pistas molhadas

A avaliação da segurança envolve vários aspectos do pavimento, da sinalização, do comportamento humano etc. Quanto ao aspecto do pavimento, além

da geometria e irregularidade superficial, é importante avaliar o atrito pneu-pavimento, principalmente em dias de chuva, que envolve a quantificação da resistência à derrapagem que é função da aderência.

Vários fatores colaboram para a aderência pneu-pavimento em pistas molhadas, mas dois são essenciais: a textura superficial da pista e características dos pneus (ranhuras, pressão de inflação, dimensões e tipo). A habilidade do motorista, a geometria da via e as condições gerais do veículo como amortecedores, freios etc., contribuem para evitar acidentes. A segurança em pistas molhadas pode ser considerada como um dos aspectos funcionais de um pavimento, muito embora haja pouca tradição no país de sua avaliação ou medida em rodovias, sendo mais usual em aeroportos. As condições de aderência de pavimentos aeroportuários constituem-se fatores de grande relevância nas avaliações de superfície e na decisão de manutenções, principalmente das pistas de pouso e decolagem.

A hidroplanagem ou aquaplanagem ocorre quando os pneus perdem o contato com o pavimento devido à presença de um filme de água não rompido pelos pneus ou pela textura da pista. Nessa situação os pneus deixam de rolar sobre a superfície e passam a escorregar sobre ela. A manutenção do contato entre as superfícies é essencial, portanto, para evitar a hidroplanagem. Através desse contato pode-se garantir o atrito, que é mobilizado quando uma das superfícies está em movimento em relação à outra. Quando o atrito fica reduzido, pode-se perder o controle da direção e a frenagem também fica prejudicada. Um fator que interfere consideravelmente na redução do atrito é o aumento de velocidade de deslocamento de uma das superfícies (no caso os pneus) em relação à outra (no caso os pavimentos). O contato de um pneu com um pavimento é uma interação complexa, dependendo de fatores como adesão entre a borracha e o pavimento e histerese decorrente da deformação do pneu provocada principalmente pelos agregados presentes na superfície.

2.6.4.1 Textura do pavimento

Como a textura do pavimento é um dos aspectos da aderência que os engenheiros rodoviários podem interferir, este é o principal foco das avaliações e medidas desses especialistas. A classificação da textura segundo a PIARC (The World Road Association) depende do comprimento de onda ou distância entre dois picos ou depressões na superfície conforme indicado na Tabela 8.

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 8 – Classificação da textura de um pavimento.

2.6.5 Avaliação de Ruído Provocado pelo Tráfego

Cresce cada vez mais no mundo a preocupação com os danos ao meio ambiente e à qualidade de vida das pessoas. Um aspecto desses problemas é o excesso de ruído gerado nas cidades. Parte desse ruído provém do deslocamento dos veículos e nesse caso o pavimento tem também influência nessa geração. No país esta preocupação ainda é recente, mas espera-se que passe a ser cada vez mais considerada, especialmente nas áreas urbanas. Muitos tipos de misturas asfálticas têm sido projetadas atualmente já voltadas para esta questão.

Muitos estudos verificaram a contribuição de alguns tipos de revestimentos de pavimentos na emissão, propagação e absorção do ruído proveniente da interação de sua superfície com os pneumáticos dos veículos automotores que por ele circulam.

2.6.6 Avaliação Estrutural de Pavimentos Asfálticos

A avaliação de pavimentos tem como conceitos associados:

- serventia: qualidade do pavimento, num determinado instante, quanto aos aspectos para o qual foi construído em relação ao conforto ao rolamento e segurança;
- desempenho: variação da serventia ao longo do tempo (ou do tráfego) de uso do pavimento;
- gerência: administração, gestão e otimização dos recursos aplicada ao planejamento, projeto, construção, manutenção e avaliação dos pavimentos;
- restauração: conjunto de operações destinadas a restabelecer na íntegra ou em parte as características técnicas originais de um pavimento (intervenções); incluem as ações de manutenção denominadas preventivas e reforço;

- manutenção preventiva: operação de correções localizadas que não atingem a maioria da superfície do pavimento, repondo pequena parcela da condição de serventia;
- reforço: operação de restauração onde se aproveita o valor residual da estrutura do pavimento e acrescenta-se nova camada de mistura asfáltica (também dito recapeamento). Atualmente, pode incluir a fresagem de parte do revestimento antigo além da colocação de nova camada estrutural de revestimento ou camadas de reposição de conforto ao rolamento;
- reconstrução: operação de refazer o pavimento, no todo desde o subleito, ou mais comumente atualmente a partir da sub-base por retirada total dos materiais de base e revestimentos antigos e substituição por novos materiais ou por reciclagem dos mesmos sem ou com adição de estabilizantes tais como asfalto-espuma, cimento Portland ou cal hidratada. Após a reciclagem constrói-se nova capa asfáltica como revestimento.

Uma forma de se representar uma curva de desempenho de um pavimento ao longo de vários ciclos de restauração pode ser a indicada na Figura 21. O critério de avaliação pode ser funcional ou estrutural, e o nível mínimo aceitável para este parâmetro define o momento de fazer a intervenção corretiva de restauração ou reforço.

A avaliação funcional, incluindo a segurança, tem como palavras-chave: conforto ao rolamento, condição da superfície, interação pneu-pavimento, defeitos e irregularidades.

A avaliação estrutural, por sua vez, está associada ao conceito de capacidade de carga, que pode ser vinculado diretamente ao projeto do pavimento e ao seu dimensionamento. Os defeitos estruturais resultam especialmente da repetição das cargas e vinculam-se às deformações elásticas ou recuperáveis e plásticas ou permanentes. As deformações elásticas são avaliadas por equipamentos próprios chamados genericamente de defletômetros por medirem os deslocamentos verticais nomeados como “deflexão” do pavimento. Elas são responsáveis pelo surgimento da maioria dos trincamentos ao longo da vida do pavimento, e que podem levar à fadiga do revestimento. As deformações plásticas são acumulativas durante os anos de vida de um pavimento e resultam em defeitos do tipo afundamento localizado ou nas trilhas de roda, medidos por meio de treliza normatizada.

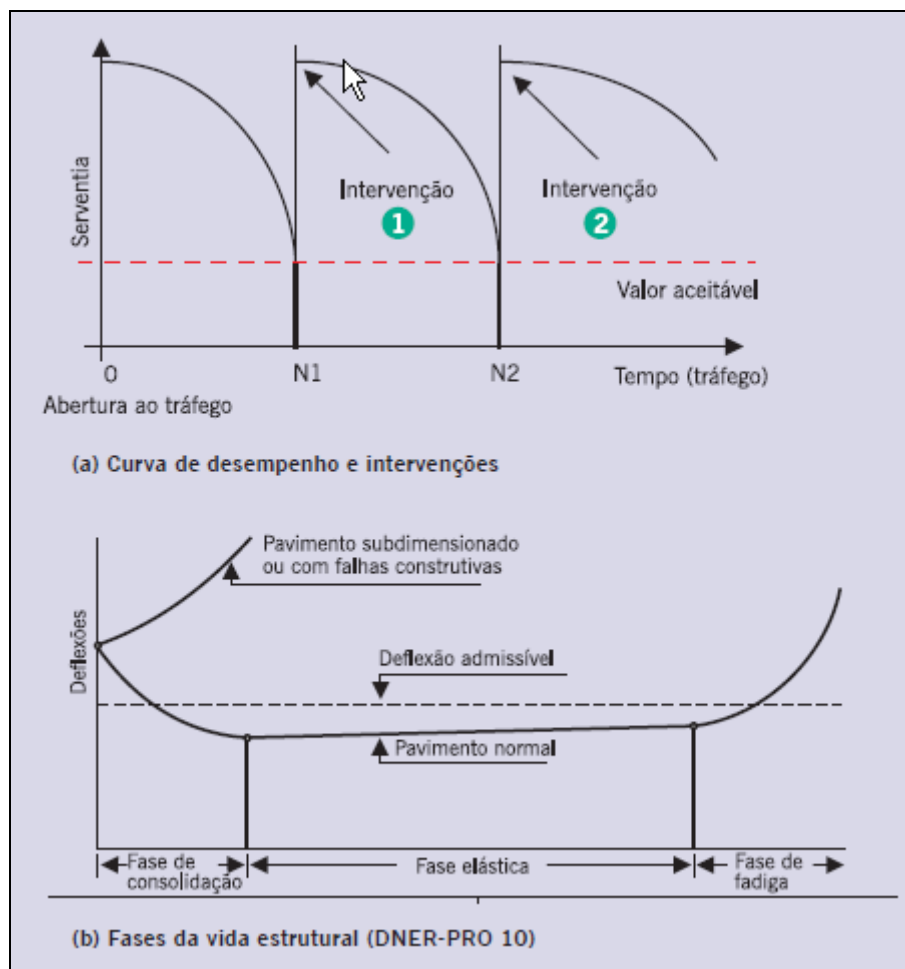


Figura 21 – Representações esquemáticas de curvas de desempenho de um pavimento e etapas de restauração.

2.6.7 Métodos de Avaliação Estrutural

A avaliação estrutural de um pavimento pode ser feita por métodos: destrutivo, semidestrutivo ou não destrutivo.

Um método destrutivo é aquele que investiga a condição estrutural de cada camada que compõe o pavimento por abertura de trincheiras ou poços de sondagem, permitindo recolher amostras de cada material até o subleito e realizar ensaios de capacidade de carga in situ. Pela sua própria natureza destrutiva só pode ser empregado em alguns poucos pontos selecionados como representativos de cada segmento a ser avaliado.

A Figura 22 mostra exemplos de extração de corpos-de-prova e de poços de sondagem em pavimentos em uso para avaliação das camadas. Com a extração de amostras do pavimento é possível identificar os tipos de materiais das camadas e

subleito, as espessuras de camadas e fazer coleta de amostras para ensaios de laboratório. É possível determinar a massa específica e a umidade de cada camada para comparar com as condições de umidade ótima e massa específica máxima dos ensaios de compactação, e assim, avaliar eventuais excessos de umidade ou deficiência de grau de compactação. A retirada de corpos-de-prova do revestimento asfáltico, por sonda rotativa, permite avaliar o grau de envelhecimento do ligante, entre outras observações possíveis.

Um método semi-destrutivo é aquele que se vale de aberturas menores de janelas no pavimento que permitam utilizar um instrumento portátil de pequenas dimensões para avaliar a capacidade de carga de um pavimento, tal como o uso de cones dinâmicos de penetração – DCP conforme figura 23 (Trichês e Cardoso, 2001; Trichês et al., 2004).

A Figura 24 mostra um exemplo dessa técnica expedita de avaliação da capacidade de carga de subleitos e camadas de solo fino do pavimento. A aplicação deste ensaio só permite em geral correlação com o ISC dos materiais, com certa precisão. Atualmente também começam a ser usados, com mais propriedade, equipamentos portáteis para avaliação expedita do módulo de elasticidade do pavimento, através de pulsos, aplicados na superfície, e medições do retorno dos mesmos, como o exemplo mostrado na Figura 23 (www.dynatest.com).

A avaliação mais adequada para ser feita em grandes extensões de pistas e com possibilidade de inúmeras repetições no mesmo ponto, de forma a acompanhar a variação da capacidade de carga com o tempo, é a que lança mão de medidas não destrutivas, representadas por medidas de deflexão.

A cada passagem de roda o pavimento sofre um deslocamento total que tem duas componentes:

1. Deformação elástica que resulta na flexão alternada do revestimento, chamada por convenção de deflexão, cuja medida é a principal forma de avaliação estrutural de um pavimento em uso.
2. Deformação permanente que resulta no afundamento de trilha de roda cuja medida também é um critério de definição da vida útil estrutural e funcional de um pavimento visto que, a partir de certo valor, pode interferir na condição de conforto e segurança do tráfego.



Figura 22 – Exemplos de extração de corpos de prova e de poços de sondagem em pavimentos em uso.

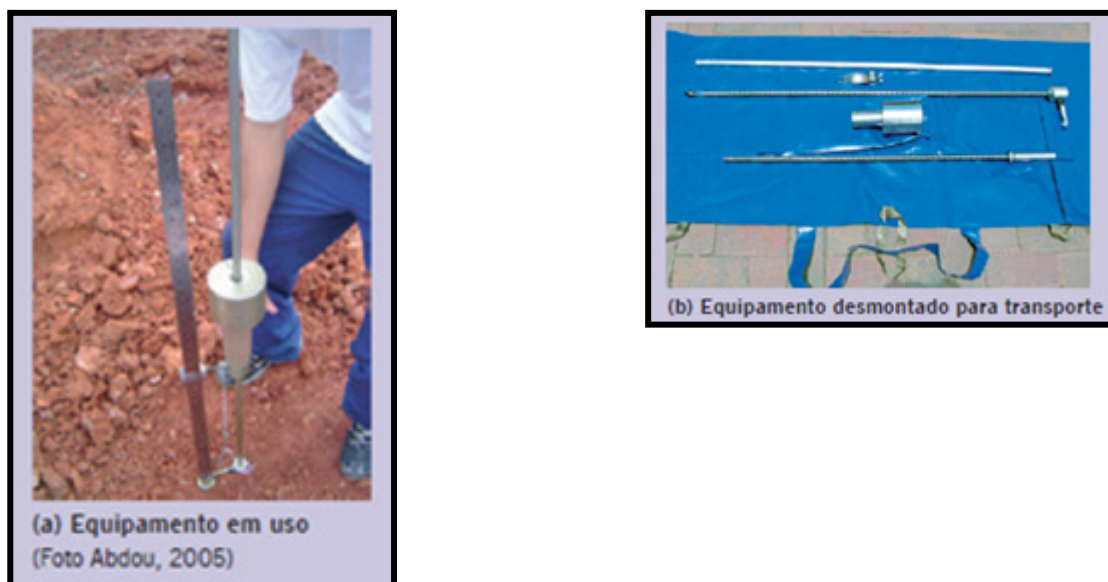


Figura 23 – Exemplo de equipamentos DCP de avaliação estrutural expedita de subleitos e camadas de solo.



Figura 24 – Equipamento de avaliação expedita do módulo elástico do pavimento
(Foto: Abdou, 2005).

Quando se mede o deslocamento elástico em vários pontos a partir da carga tem-se a denominada bacia de deflexão ou linha de influência da carga sobre um ponto do pavimento (DNER-ME 061/94).

2.6.8 Equipamentos de Avaliação Estrutural não destrutiva.

Os equipamentos utilizados em avaliações não destrutivas (NDT – nondestructive deflection testing) podem ser divididos em:

1. Carregamento quase estático: ensaio de placa e viga Benkelman, por exemplo.
2. Carregamento vibratório: dynaflect, por exemplo.
3. Carregamento por impacto: falling weight deflectometer (FWD).

Há bastante diferença entre os valores numéricos de avaliação estrutural realizados utilizando-se cada um desses tipos de equipamentos, que podem ser usados para levantamentos da condição de pavimentos para sistema de gerência em nível de rede, para análises de rotina ou para projeto de reabilitação. Todos os equipamentos devem ser constantemente calibrados por processos específicos e seguem rotinas de aplicação determinada pelo tipo de carregamento (ASTM D 4695).

Os equipamentos de medição de deflexão do pavimento – defletômetros – mais utilizados no país são de duas gerações bastante distintas:

- o primeiro a ser desenvolvido, na década de 1950, foi à viga Benkelman, sendo o engenheiro do Departamento de Transportes da Califórnia, A. C Benkelman, o seu criador. Foi introduzido no Brasil em 1962 (Carneiro, 1965);
- o segundo grupo é dos equipamentos de peso batente (falling weight deflectometer) – FWD – criados na década de 1980. Foi introduzido no Brasil em 1994 (DNER, 1998).

Os dois tipos de equipamentos são empregados no país para avaliação estrutural.

2.6.8.1 Viga Benkelman (VB)

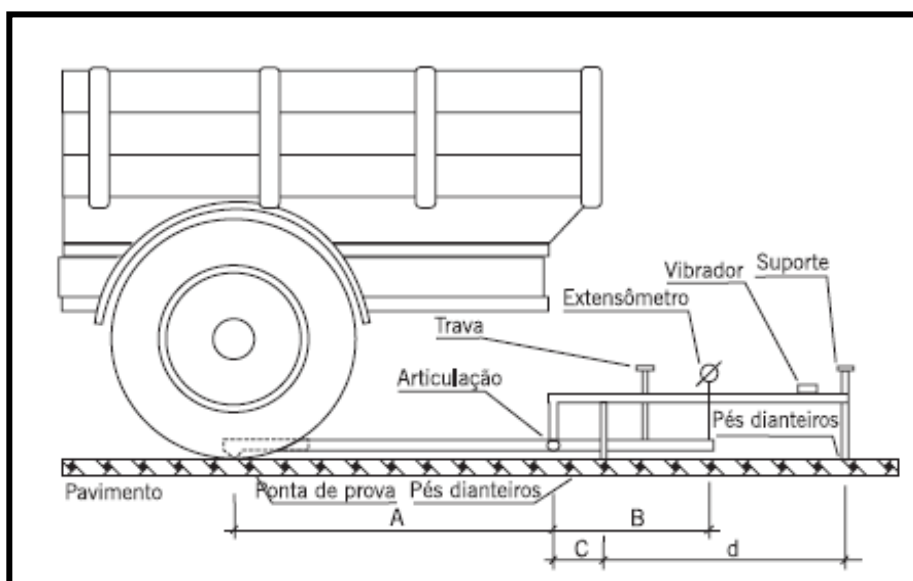
A viga Benkelman consiste de um equipamento muito simples que necessita de um caminhão com eixo traseiro simples de roda dupla carregado com 8,2t, para aplicar a carga sob a qual será medida a deformação elástica. A Figura 25 mostra um esquema desse equipamento com o caminhão (DNER-ME 24/94) e um exemplo de medida em campo.

O ensaio completo consiste em: (i) colocar a ponta de prova da viga Benkelman entre os pneus da roda geminada traseira do caminhão, colocando-a exatamente sob o seu eixo; (ii) fazer uma leitura inicial do extensômetro que se situa a uma distância segura para o operador sobre o braço móvel da viga – leitura L_i ; (iii) fazer o caminhão se afastar lentamente até 10m de distância da ponta de prova ou até que o extensômetro não acuse mais variação da leitura; (iv) ler o extensômetro – leitura L_f . (Figura 26).

A leitura final corresponde ao descarregamento do pavimento e todo o deslocamento recuperado é associado à deformação elástica do pavimento (deflexão). Calcula-se a deflexão d_0 pela expressão abaixo, sendo K a constante da viga dada pela relação entre o braço maior e o braço menor, articulados:

$$d_0 = (L_i - L_f) \cdot K$$

Equação 2



(a) Esquema da viga Benkelman (DNER ME 24/94)



(b) Medida com viga Benkelman em campo

Figura 25 - Esquema da viga Benkelman (DNER-ME 24/94) e exemplo de medida em Campo.



Figura 26 – Passos do ensaio com a viga Benkelman

2.6.8.1 Equipamento por impacto falling weight deflectometer (FWD)

Os equipamentos mais atuais de medida dos deslocamentos elásticos de um pavimento são os de impacto por queda de um peso suspenso a certa altura, sobre amortecedores que comunicam o choque a uma placa metálica apoiada sobre o pavimento no ponto de leitura da deflexão máxima – Figura 27.

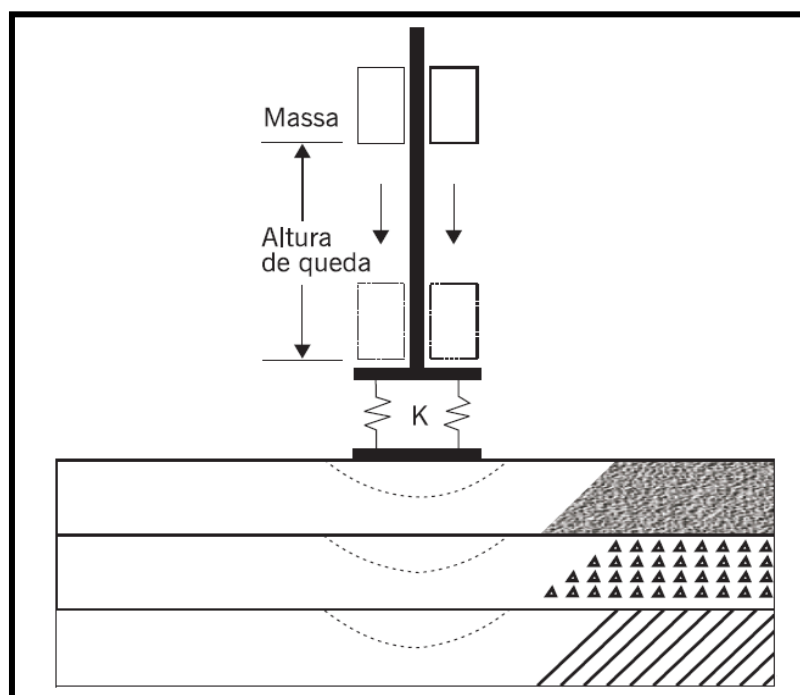


Figura 27 – Esquema de um defletômetro de impacto.

As normas DNER-PRO 273 e ASTM D 4695 descrevem o uso desse tipo de equipamento. O equipamento é totalmente automatizado, sendo rebocado por um veículo utilitário leve que carrega parte do sistema de aquisição de dados feito por computador, conectado aos sensores instalados na parte rebocada, que é o defletômetro propriamente dito. O ensaio consiste em se aplicar a carga de impacto e ler os deslocamentos em vários sensores colocados ao longo de um suporte em posições convenientemente escolhidas para se obter a linha de deslocamentos. Note-se que essa é uma diferença importante entre o FWD e a viga Benkelman. Outra diferença marcante está na forma de aplicação da carga: dinâmica no FWD e quase estática na VB.

Embora ambos os tipos de defletômetros sejam preparados para medir os deslocamentos elásticos, pelas diferenças de concepção entre eles, as deflexões não são iguais, nem existe uma correlação simples e universal entre medidas realizadas com o FWD e a VB. Em cada tipo de pavimento pode-se obter certa correlação entre esses valores, porém não generalizável.

As vantagens do FWD em relação à VB convencional são:

- acurácia nas medições;
- possibilidade de aplicação de vários níveis de carga;
- maior produtividade (mais pontos levantados por dia);
- ensaio não influenciado pelo operador;

- registro automático de temperatura e de distâncias dos pontos de ensaio.

Algumas desvantagens do FWD são: custo do equipamento, necessidade de calibrações mais sofisticadas, diferenças de resultados entre marcas.

Tanto o FWD quanto a VB podem ser usados no controle da capacidade de suporte das camadas do pavimento desde a sua construção, o que vem sendo cada vez mais usado no país com muitas vantagens (Soares et al., 2000).

2.7 ALTERNATIVAS DE RESTAURAÇÃO

Para a definirmos as alternativas de restauração é necessário o estudo da condição do pavimento existente. Este estudo é precedido por uma avaliação funcional e uma avaliação estrutural. Essas avaliações fornecem dados para análise da condição da superfície do pavimento e de sua estrutura e também para a definição das alternativas de restauração apropriadas.

Na avaliação funcional é verificada a condição da superfície do pavimento, por meio do levantamento e análise de defeitos superficiais, e da condição de irregularidade longitudinal. Os principais defeitos considerados na avaliação funcional são: área trincada e severidade do trincamento, deformações permanentes e irregularidade longitudinal.

Na avaliação estrutural é verificada a condição da estrutura do pavimento de suportar cargas, por meio de levantamentos não destrutivos pela determinação da deflexão superficial resultante da aplicação de uma carga conhecida. O principal parâmetro considerado na avaliação estrutural é a deflexão na superfície e a bacia de deformação. A deflexão é normalmente utilizada para delimitar segmentos considerados como homogêneos quanto à condição estrutural.

A análise dos dados das avaliações através de procedimentos específicos fornece as soluções de restaurações apropriadas em cada caso, que podem ser de cunho funcional ou estrutural. Caso a restauração deva ser de cunho estrutural é necessário utilizar um método de projeto que leve em conta as características de deformabilidade das camadas e do novo revestimento, levando em conta os módulos de resiliência medidos ou obtidos por retro análise para se calcular as espessuras necessárias.

2.7.1 Técnicas de Restauração de Pavimentos com Problemas Funcionais

Quando não existem problemas estruturais e a restauração é necessária para a correção de defeitos funcionais superficiais, são empregados geralmente os tipos de revestimentos a seguir, isoladamente ou combinados e antecedidos ou não por uma remoção de parte do revestimento antigo por fresagem:

- lama asfáltica (DNER-ES 314/97) (selagem de trincas e rejuvenescimento);
- tratamento superficial simples (DNER-ES 308/97) ou duplo (DNER-ES 309/97) (selagem de trincas e restauração da aderência superficial); Técnicas de restauração asfáltica 467
- micro revestimento asfáltico a frio (ABNT NBR 14948, DNIT 035/2005-ES) ou a quente (DNER-ES 388/99) (selagem de trincas e restauração da aderência superficial quando existe condição de ação abrasiva acentuada do tráfego);
- concreto asfáltico (DNIT 031/2004) (quando o defeito funcional principal é a irregularidade elevada);
- mistura do tipo camada porosa de atrito (DNER-ES 386/99), SMA ou misturas descontínuas (para melhorar a condição de atrito e o escoamento de água superficial).

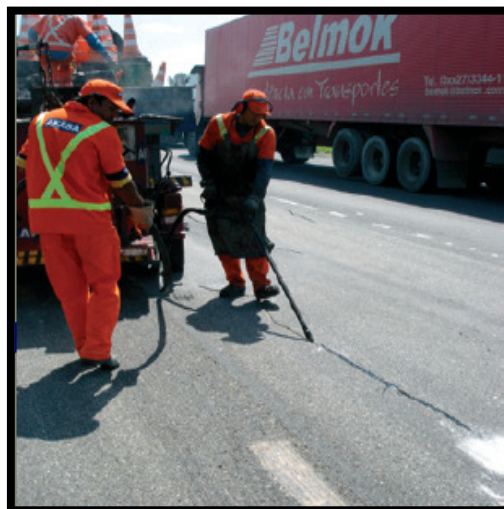
Quando são identificadas trincas isoladas no revestimento, o seu tratamento por selagem é eficiente no retardamento de sua evolução e da consequente necessidade de uma intervenção de restauração de maior magnitude. A Figura 28 exemplifica a aplicação da técnica de selagem de trincas.

As combinações de técnicas geralmente utilizadas para restauração são:

- reperfilagem com concreto asfáltico tipo massa fina + camada porosa de atrito;
- micro revestimento asfáltico + camada porosa de atrito (o micro revestimento tem função de reduzir a reflexão de trincas e impermeabilizar o revestimento antigo);



(a) Abertura de trinca para selagem e limpeza



(b) Aplicação de produto selante



(c) Aplicação de cal para proteção caso se aplique uma nova camada de revestimento asfáltico



(d) Revestimento após selagem de trincas

Figura 28 Exemplo de selagem de trincas

- remoção por fresagem + reperfilagem com concreto asfáltico tipo massa fina + micro revestimento (quando a superfície antiga apresenta grau elevado de trincamento e/ou desagregação e existe condição de ação abrasiva acentuada do tráfego);

- remoção por fresagem + reperfilagem com concreto asfáltico tipo massa fina + tratamento superficial simples + micro revestimento a frio (quando a superfície antiga apresenta grau elevado de trincamento e a superfície nova necessita de melhor condição de rolamento, proporcionada pelo micro revestimento, e de liberação da pista com menor arrancamento de agregados possível);

- remoção por fresagem + reperfilagem com concreto asfáltico tipo massa fina + camada porosa de atrito (quando a superfície apresenta grau elevado de trincamento e/ou desagregação e existe necessidade de boa aderência e escoamento superficial);

- remoção por fresagem + micro revestimento asfáltico + camada porosa de atrito (quando a superfície apresenta grau elevado de trincamento e/ou desagregação).

O micro revestimento tem a função de reduzir a reflexão de trincas e impermeabilizar a camada antiga, e a camada porosa de atrito a de aderência e escoamento superficial.

2.7.2 Técnica de Restauração de Pavimentos com Problemas Estruturais

Quando existe o comprometimento estrutural do pavimento ou perspectiva de aumento de tráfego, as alternativas de restauração ou reforço compreendem aquelas que restabelecem ou incrementam sua capacidade estrutural por meio da incorporação de novas camadas (recapeamento) à estrutura e/ou tratamento de camadas existentes (reciclagem, por exemplo).

Os tipos de revestimentos geralmente utilizados como recapeamento são o concreto asfáltico, o SMA (como camada de rolamento para resistir a deformações permanentes em vias de tráfego pesado), misturas descontínuas e o pré-misturado a quente. Nestes são empregados cimentos asfálticos convencionais, modificados por polímeros ou modificados por borracha moída de pneus. Esses tipos de revestimentos são utilizados isoladamente ou combinados:

- concreto asfáltico;
- pré-misturado a quente + concreto asfáltico;
- concreto asfáltico + SMA;
- SMA e outras misturas asfálticas de granulometria descontínua;
- tratamento superficial duplo ou micro revestimento + concreto asfáltico.

A remoção por fresagem é recomendada previamente à execução de camadas de recapeamento quando há necessidade de redução da energia de propagação de trincas existentes no revestimento antigo, retardando a sua reflexão nas novas camadas.

A possibilidade de reflexão de trincas em restaurações executadas em pavimentos com problemas estruturais é um fator importante e deve ser considerada no projeto da restauração, por meio de medidas para sua minimização, citadas a seguir.

2.7.3 Considerações sobre o Trincamento por Reflexão

As trincas por reflexão surgem acima de juntas ou trincas existentes em camadas de revestimento antigo. Cuidados adicionais devem ser tomados durante a restauração para reduzir a severidade e a velocidade de sua propagação. A reflexão de trincas é mais crítica em situações de temperaturas mais baixas, devido ao enrijecimento do revestimento asfáltico, bem como de elevado volume de tráfego ou de grande magnitude de cargas.

São desenvolvidas tensões de tração elevadas nas camadas de recapeamento devido a movimentos originados nas trincas existentes no revestimento antigo deteriorado. A reflexão se dá normalmente de baixo para cima no recapeamento. A seguir são apresentadas algumas medidas para o controle e redução de reflexão de trincas.

2.7.3.1 Emprego de Geossintéticos

Os geossintéticos podem atuar de duas maneiras: desviando as trincas ou convertendo as trincas em microfissuras ao se propagarem. Quando são utilizados geotêxteis impregnados com ligante asfáltico na interface entre o revestimento antigo deteriorado e um recapeamento, conforme mostrado nas Figuras 29 e 30, devido à presença do geotêxtil, tem-se uma taxa maior de ligante asfáltico nessa interface do que a obtida com uma pintura de ligação convencional. Isso, associado à presença do geotêxtil, faz com que ocorra um retardo na reflexão das trincas. E, quando refletidas, a reflexão é atenuada e normalmente na direção horizontal. Também ocorre uma manutenção da estanqueidade do revestimento, protegendo as camadas subjacentes da ação das águas pluviais.

Não é tão efetivo na presença de grandes movimentos verticais ou horizontais, e é mais eficiente em regiões de clima ameno.

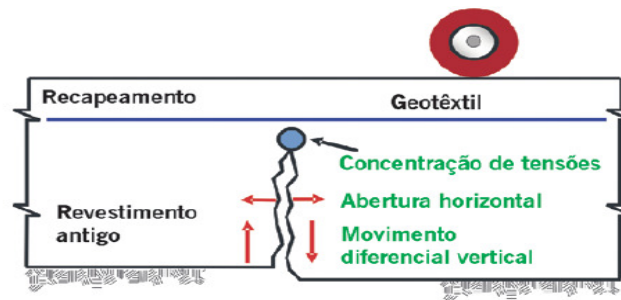


Figura 29 - Posicionamento de geotêxtil em pavimento recapeado



(a) Execução da pintura de ligação



(b) Equipamento aplicador do geotêxtil



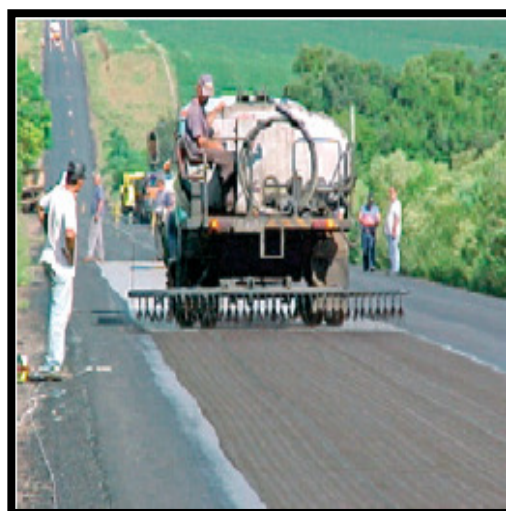
(c) Aplicação do geotêxtil



(d) Ajustes por esticamento



(e) Compressão para a aderência à pintura de ligação



(f) Impregnação com emulsão asfáltica



(g) Espalhamento de pedrisco impregnado com ligante asfáltico



(h) Execução da camada de recapeamento

Figura 30 - Exemplo de execução de geotêxtil em restauração de revestimento asfáltico (Fotos: Gonçalves)

Quando são utilizadas geogrelhas, conforme exemplificado na Figura 31, a reflexão se dá através da formação de microfissuras de baixa severidade, apresentando trajetória aleatória, com progressão lenta, podendo ainda essa formação ser interrompida se houver descontinuidade do processo de dissipação de energia na extremidade das microfissuras devido a mudanças de orientação nas trajetórias de propagação.



(a) Limpeza manual



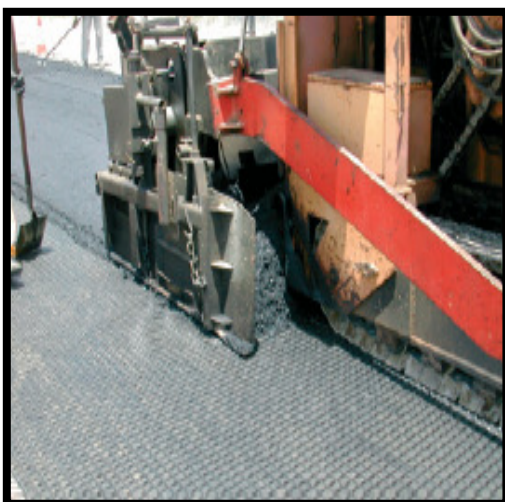
(b) Execução de pintura de ligação



(c) Aplicação da geogrelha



(d) Geogrelha posicionada



(e) Lançamento da camada de Recapeamento



(f) Compactação da camada de Recapeamento

Figura 31 - Exemplo de execução de geogrelha em restauração de revestimento asfáltico (Fotos: Montestruque)

2.7.3.2 Camadas Intermediárias de Alívio de Tensões

São camadas executadas na superfície de um revestimento antigo deteriorado e sobre a qual será executado um recapeamento, conforme a Figura 32. Essas camadas intermediárias, chamadas de SAMI (*stress absorbing membrane interlayer*), podem ser constituídas de micro revestimentos asfálticos, tratamentos superficiais por penetração com ligantes asfálticos modificados por polímeros ou por borracha de pneus, ou mesmo misturas asfálticas com elevado teor de asfalto modificado por polímero em camadas delgadas. A SAMI atua dissipando movimentos e tensões em trincas e juntas de severidade baixa a média, devido às características de recuperação elástica do ligante asfáltico empregado.

2.7.3.3 Camadas de Dissipação de Trincas

São camadas granulares com poucos finos e agregados com diâmetro máximo de 75 mm, granulometria aberta e podem ser misturadas com pequeno teor de ligante asfáltico, tipicamente um pré-misturado a quente, que são executadas sobre o revestimento antigo deteriorado. Sobre ela é executada uma camada de recapeamento asfáltico. Propiciam volume de vazios elevados que efetivamente interrompem a propagação das trincas, mesmo aquelas sujeitas a grandes movimentos. São executadas em espessuras mínimas de 100 mm. A Figura 33 mostra esquematicamente sua posição.

2.7.3.4 Espessura de Recapeamento Aumentada

O aumento da espessura de recapeamento não previne a ocorrência de trincas por reflexão, mas reduz a velocidade de propagação e a severidade das trincas refletidas por reduzir os esforços de flexão e cisalhamento sob carga e também por reduzir a variação de temperatura na camada de revestimento. Sua relação custo-benefício deve ser considerada em relação a outras técnicas.

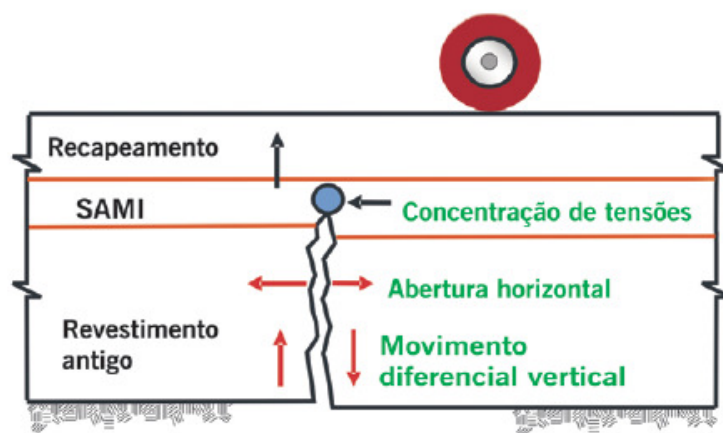


Figura 32 - Posicionamento da camada intermediária de alívio de tensões

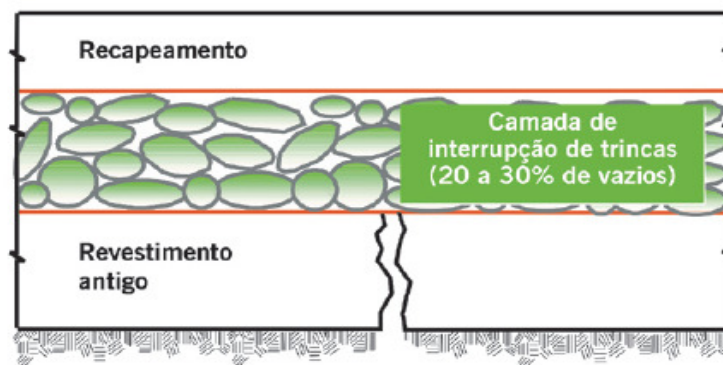


Figura 33 - Posicionamento de camada de interrupção de trincas

2.7.3.5 Reciclagem do Revestimento Existente

A reciclagem de revestimento antigo deteriorado é uma alternativa utilizada para reduzir ou eliminar camadas com trincas com potencial de reflexão. Se houver também necessidade de aumento da capacidade de suporte, segue-se à reciclagem uma nova camada de rolamento.

A reciclagem pode ser realizada somente com os materiais existentes fresados mais adição de agentes rejuvenescedores e/ou ligantes asfálticos novos, ou ainda com incorporação de agregado para correção granulométrica, de espuma de asfalto ou de emulsões asfálticas e até de cimento Portland. A mistura reciclada pode ser executada em usina, conforme exemplificado na Figura 34 (a), mas preferencialmente é feita no próprio local da obra por recicladoras, conforme exemplo mostrado na Figura 34 (b).

Os principais benefícios da reciclagem de revestimentos deteriorados são a reutilização dos agregados e do ligante asfáltico, a conservação de energia e a preservação ambiental.

2.7.3.6 Emprego de Revestimentos Asfálticos com Ligantes Modificados

Podem ser confeccionadas misturas asfálticas com ligantes modificados por polímeros ou borracha moída de pneus que apresentem baixa rigidez (valores de módulo de resiliência mais baixos que os usuais) visando menor absorção de tensões e consequente retardamento da ascensão das trincas de reflexão.

Também é possível executar-se uma camada de nivelamento fina (“com agregados passantes na peneira 3/8”) com ligante modificado, que funcionaria como uma camada de dissipação parcial de trincas e, em seguida, aplicar-se um novo revestimento com ligante modificado. Esta é uma alternativa que visa retardar o aparecimento de trincas através da aplicação de revestimentos delgados com ligantes modificados.



(a) Exemplo de usina de reciclagem



(b) Exemplo de reciclagem *in situ*

Figura 34 - Reciclagem com espuma de asfalto (Foto: Morilha Jr.)

3. ESTUDO DE CASO

O presente capítulo descreve a localização do pavimento em estudo, suas principais características, bem como o procedimento de coleta dos dados.

3.1 LOCALIZAÇÃO

O Pavimento em estudo situa-se a Av. Alano Melgaço, no trecho compreendido entre a Av. Argentina e Rua Dr. Candido, na cidade de Pará de Minas – MG, com extensão de aproximadamente 300 m de pavimento asfáltico flexível, dividido em um só trecho.

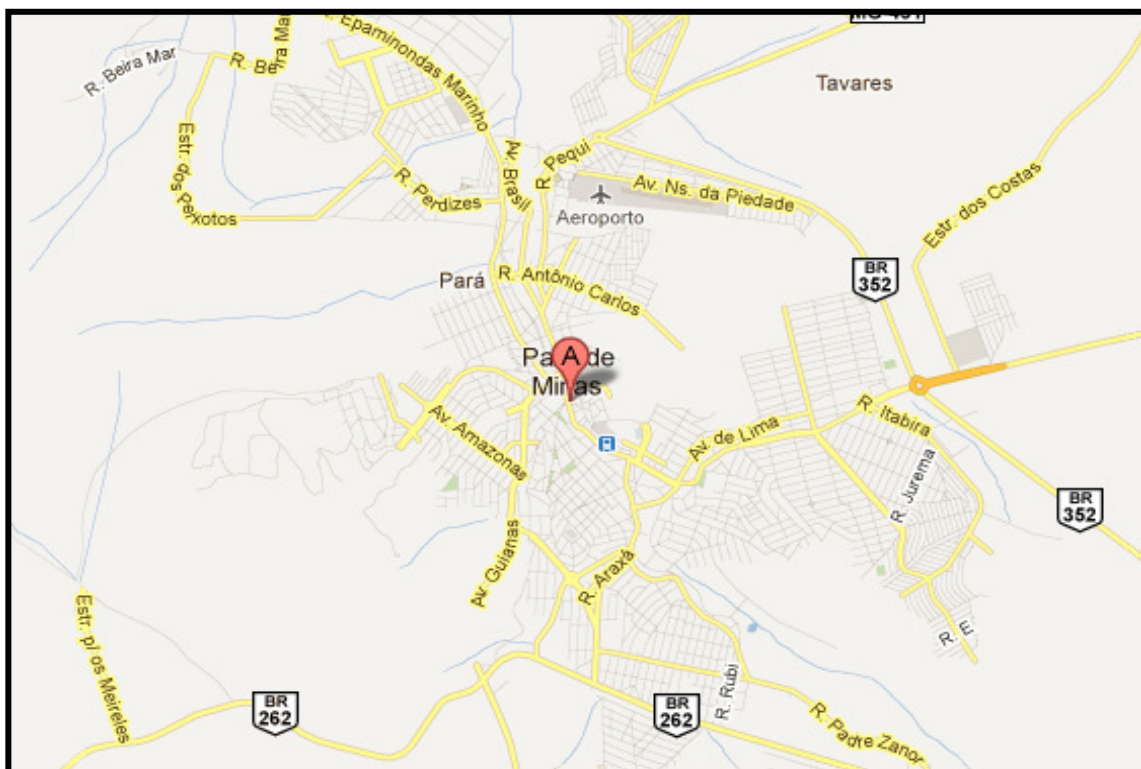


Figura 35 – Mapa da cidade de Pará de Minas – MG

A Av., Alano Melgaço situa-se na parte baixa da cidade, região central e topografia plana. Trata-se de uma via de mão dupla de tráfego intenso de veículo de passeio e de carga.

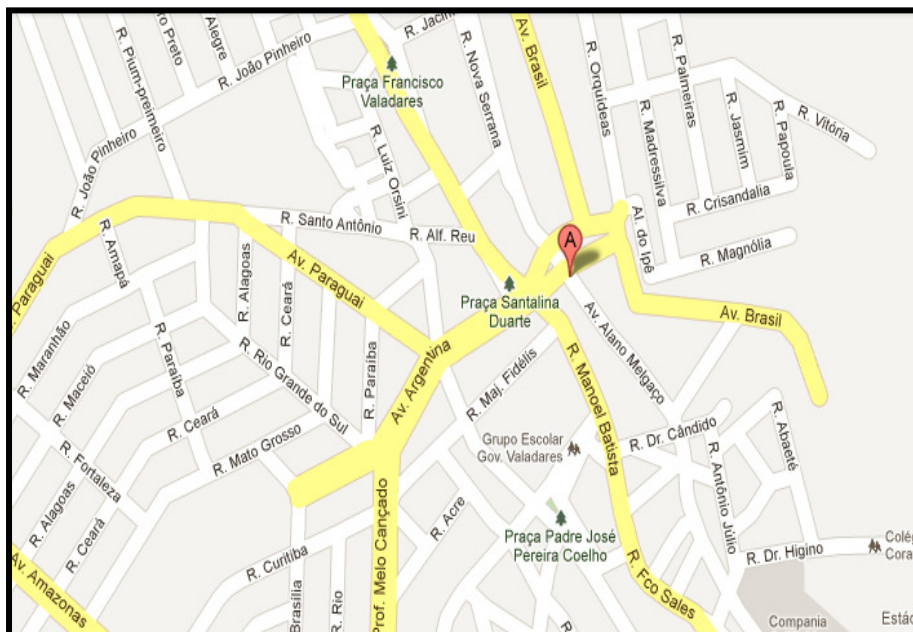


Figura 36 - Vista panorâmica da Av. Alano Melgaço

O trecho em estudo situa-se entre a Av. Argentina e Rua Dr. Cândido, onde há maior fluxo de veículos, motivo este pelo qual foi escolhido.

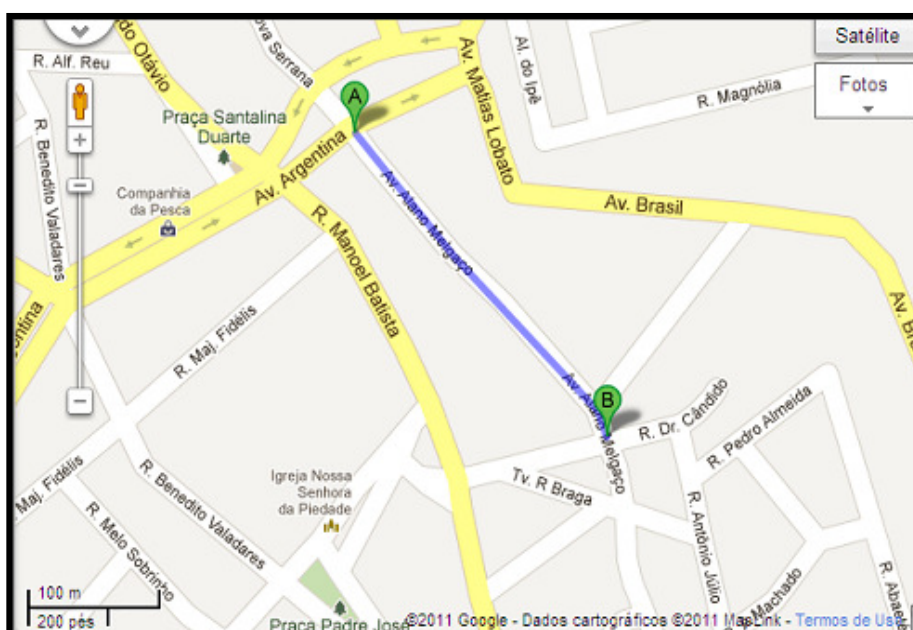


Figura 37 - Vista do trecho em estudo

3.2 PROCEDIMENTOS DE LEVANTAMENTO DE DADOS

O trecho em estudo foi dividido em partes através de um estaqueamento alternado, em ambos os lados da pista com um comprimento definido de 20 em 20 metros conforme figura 38.

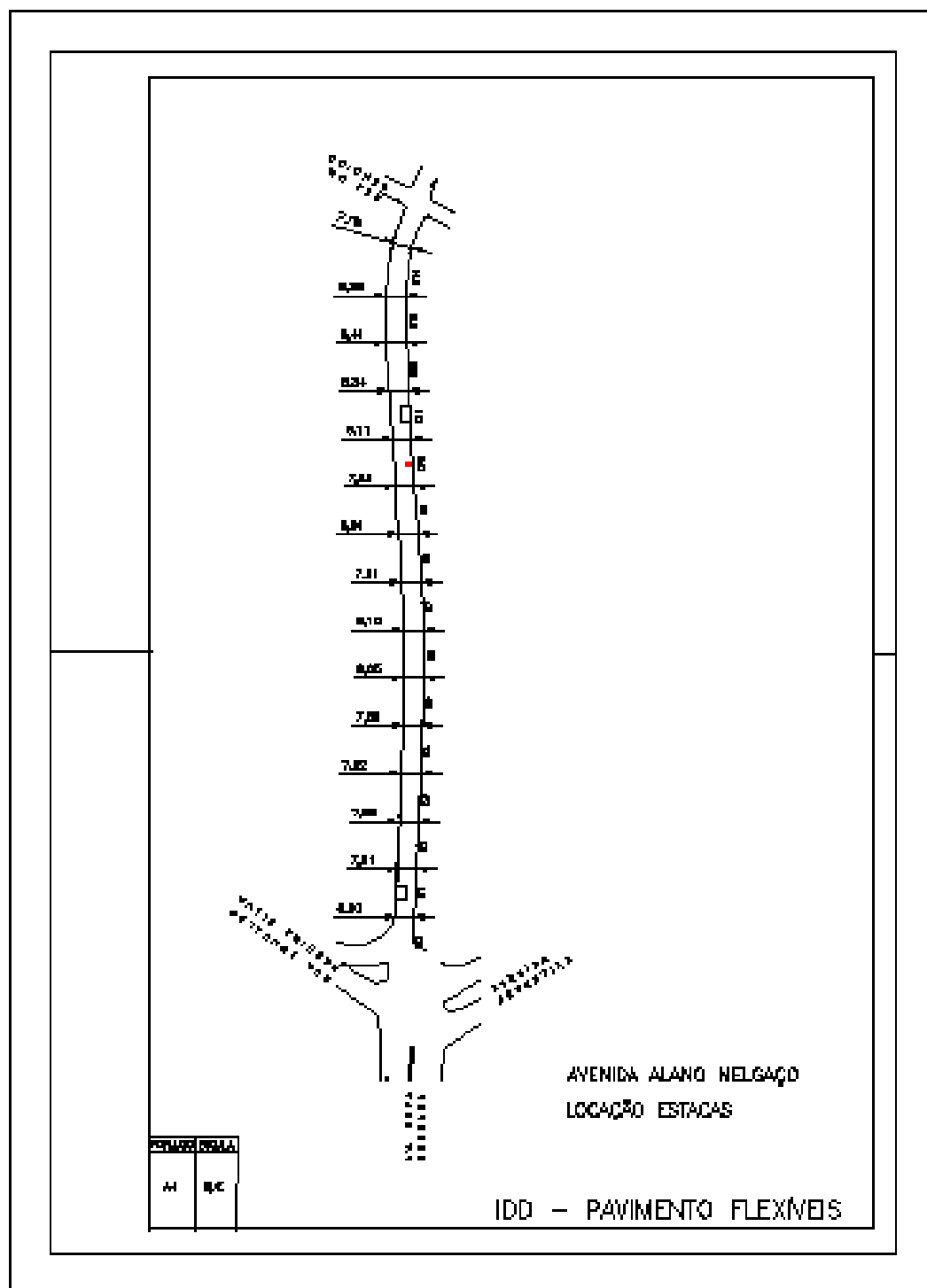


Figura 38 – Estaqueamento do trecho em estudo

As estações foram inventariadas em rua de pista simples limitadas a cada 20 metros, alternadas entre faixas. A superfície de avaliação corresponde a 3 metros antes e 3 metros após cada uma das estacas demarcadas, totalizando em cada estação uma área correspondente a 6 metros de extensão pela largura da faixa avaliada. A figura 38 mostra um exemplo das extensões em pista simples.

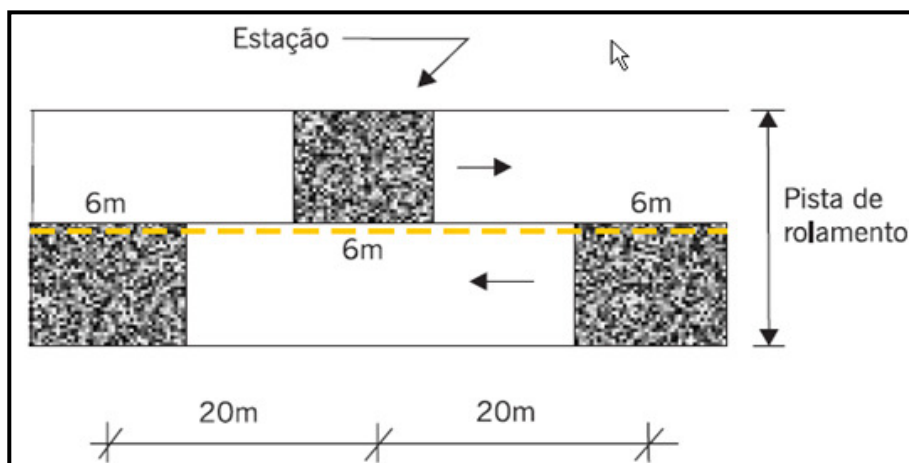


Figura 39 – Demarcação de áreas para inventários de defeitos

Optou-se por destacar através de fotos, as manifestações patológicas superficiais mais relevantes e incidentes por unidade de área (Foto 67), compreendido entre duas estacas, com o intuito de mostrar o grau de degradação do pavimento. O trecho foi dividido em 15 estações a partir da estaca 01 até a estaca 15. Para efeito ilustrativo selecionamos as estações de nº 01, (Foto 67), e estação de nº11, (Foto 68).



Foto 67 – Vista frontal do pavimento asfáltico estação 1 – Lado esquerdo – sentido Bairro/Centro

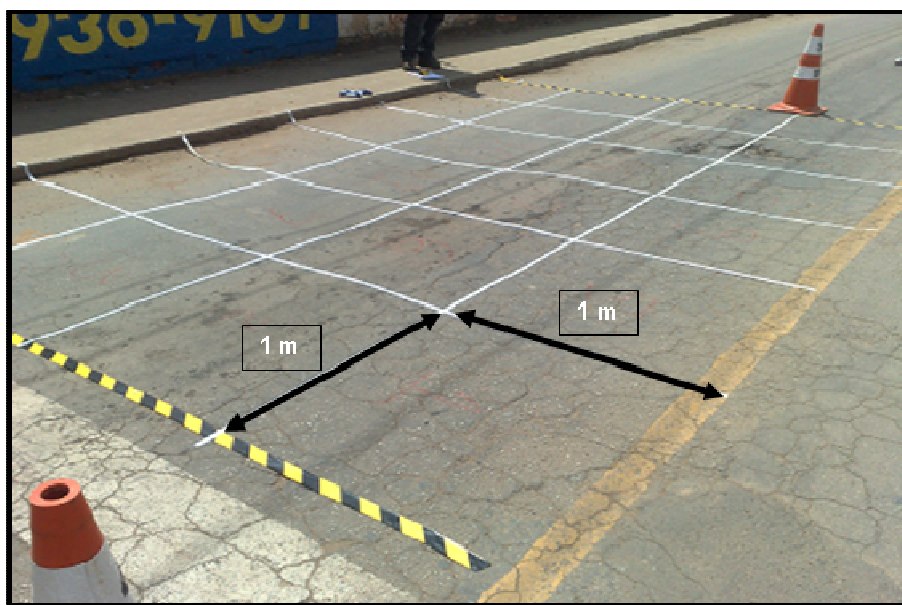


Foto 68 – Método adotado de subdivisão de áreas utilizadas para inventário superficial do pavimento - estações 1 e 11



Foto 69 – Vista frontal do pavimento asfáltico estação 11 – Lado Direito – sentido Bairro/Centro

3.2.1 Levantamento dos Dados Visuais

O trabalho foi desenvolvido a partir dos elementos levantados pelos estudos geotécnicos contemplando basicamente as seguintes atividades:

- caracterização geométrica e geotécnica da estrutura do pavimento existente da pista de rolamento através da realização de sondagem a pá e picareta/trado e ensaios rotineiros, de campo e em laboratório, com os materiais integrantes das mesmas, inclusive subleito;

Foi realizada a avaliação das condições estruturais e funcionais do pavimento da pista de rolamento através da:

- determinação das medidas de deflexões e das linhas de influência das bacias de deformação em estações espaçadas a cada 20 m, alternadamente em ambas as faixas de tráfego (40 m na mesma faixa), com utilização da Viga Benkelman;
- levantamento visual contínuo (LVC) da condição da superfície do pavimento da pista de rolamento;
- avaliação das condições funcionais do pavimento da pista de rolamento através dos seguintes levantamentos/determinações;
- avaliação objetiva da superfície do pavimento conforme DNER – PRO 08/94 em estações espaçadas a cada 20 m, alternadamente na faixa esquerda e faixa direita (40 m na mesma faixa);
- inventário da superfície do pavimento conforme DNER-ES 128/83 nas mesmas estações da avaliação objetiva (DNER – PRO 08/94)

Para o presente caso, devido à dificuldade de aplicação de uma metodologia necessária à quantificação precisa do tráfego que será aplicado ao pavimento, a via foi classificada de acordo com o quadro de classificação de vias do município de Belo Horizonte adotado pela SUDECAP, apresentada na Tabela 9:

Classificação de Vias Urbanas – Município de Belo Horizonte

Tipo de Via	Função Predominante	Tráfego Previsto	VDM Inicial na Faixa mais Carregada		“N”
			Veículos Leves	Caminhões e Ônibus	
V-1	Local residencial	muito leve	100	3 a 20	1×10^3 a 3×10^4
V-2	Via Local - 1 linha ônibus	leve	101 a 400	21 a 100	4×10^4 a 3×10^5
V-3	Via Coletora Secundária < 3 linhas de ônibus	médio	101 a 400	101 a 500	4×10^5 a 3×10^6
V-4	Via Coletora Principal > 3 linhas de ônibus	médio pesado	401 a 1.500	501 a 1.000	4×10^6 a 1×10^7
V-5	Via Arterial	pesado	1500 a 10.000	1.001 a 1.999	2×10^7 a 3×10^7
V-6	Via Arterial Principal ou Expressa	muito pesado	>10.000	≥ 2.000	4×10^7 a 2×10^8

Tabela 9 - Quadro de classificação de vias - Município de Belo Horizonte (SUDECAP/96)

Adotou-se para a Av. Alano Melgaço a classificação de tipo de via: V-3 (Via Coletora Secundária), tráfego médio com o número “N”= 2×10^6 .

3.2.2 Levantamento dos Dados Estruturais e Funcionais

Para caracterização Estrutural e Funcional do Pavimento Existente, foram efetuadas as avaliações de campo fazendo os levantamentos específicos, ensaios de laboratório, determinação e cálculo dos parâmetros de comportamento estrutural e

funcional do pavimento existente. Os levantamentos tanto de caráter estrutural ou funcional permitiram através das metodologias preconizadas a definição da intervenção funcional, caracterização da Condição Estrutural e o Levantamento da Deformabilidade Elástica.

Para conhecer o comportamento estrutural do pavimento ou para avaliação do nível de deformabilidade elástica característico do conjunto pavimento//solo de fundação, foram determinadas as deflexões reversíveis máximas com uso da Viga Benkelman.

Para conhecimento dos materiais constituintes das camadas do pavimento e caracterizar o solo de fundação, foram elaborados estudos de campo e de laboratório com amostras coletadas para cada camada do pavimento, definindo o perfil geométrico/geotécnico e a determinação, em laboratório, dos índices físicos e mecânicos das camadas constituintes e do tipo de fundação.

Os boletins de sondagens e os resultados dos ensaios de laboratório encontram-se em anexo.

Para avaliação objetiva do estado da superfície do pavimento foi elaborado inventário das degradações superficiais e geométricas existentes a cada 20 metros. Foi seguida a metodologia proposta pelo Prof. Armando Martins Pereira, normalizada no Procedimento DNEER – PRO 08/94.

Foram ainda efetuados levantamentos da condição da superfície do pavimento, de acordo com a especificação DNER ES – 128/83, compreendendo a avaliação das áreas das superfícies dos principais tipos de defeitos. Com isto foi possível calcular para cada segmento o percentual dos defeitos existentes.

Em função de se tratar de estudo para um projeto de recuperação funcional do pavimento a divisão dos trechos em segmentos homogêneos foi definida principalmente em função do estado de degradação do pavimento, associado às condições de deformabilidade elástica e aos materiais constituintes da estrutura do pavimento.

Para melhor visualização são apresentados no Capítulo 5 os gráficos das deflexões reversíveis.

3.2.3 – Data da Realização

As inspeções visuais e ensaios laboratoriais com o objetivo de analisar e avaliar a estrutura e a superfície do pavimento flexível foram realizadas no período de 01 de agosto a 31 de outubro de 2011.

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

De acordo com Norma do DNIT 008/2003-PRO e através dos dados obtidos a partir dos levantamentos funcionais e estruturais, definimos os seguintes procedimentos:

4.1 Identificação da Frequência dos Defeitos

A frequência dos defeitos será definida conforme normas do DNIT, considerando-se:

- unidades para panelas/remendos;
- % para trincas e demais manifestações patológicas.

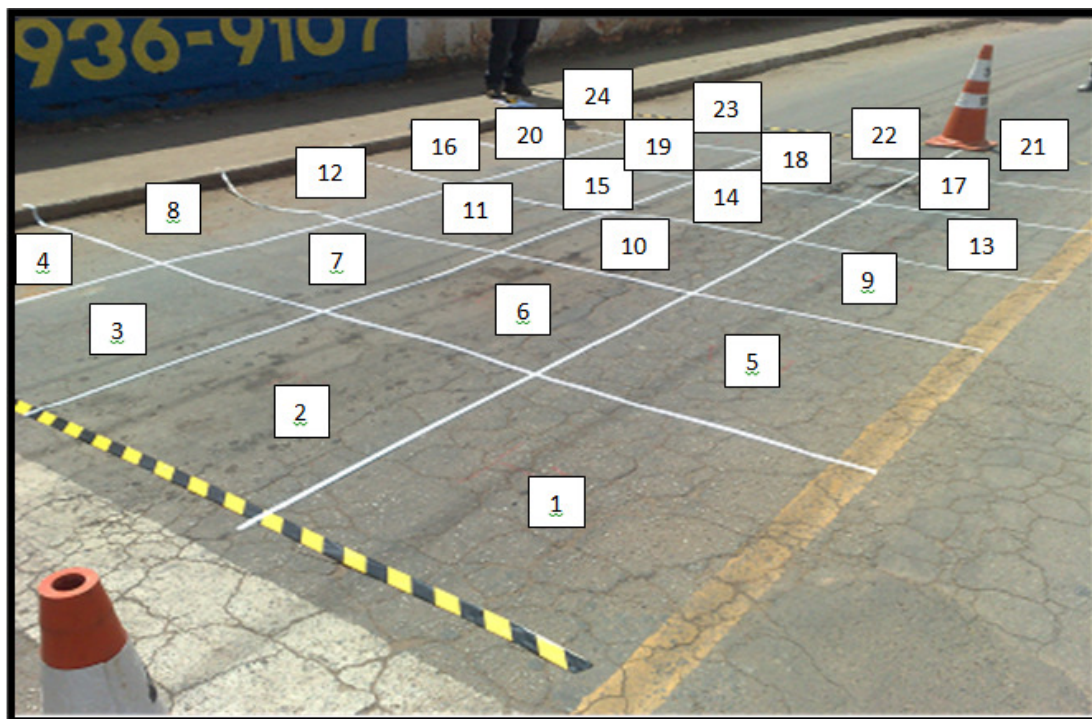
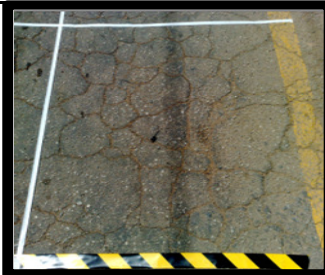
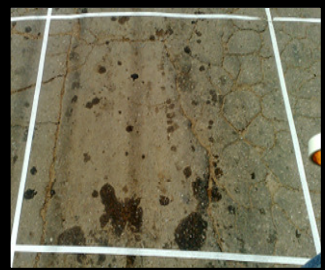
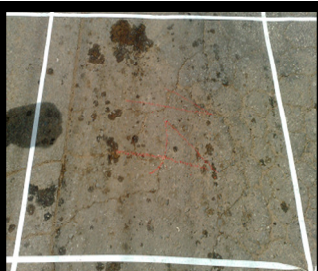
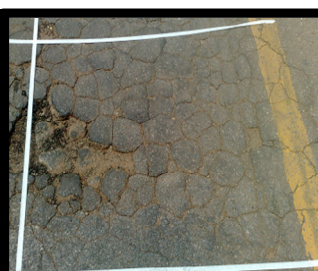
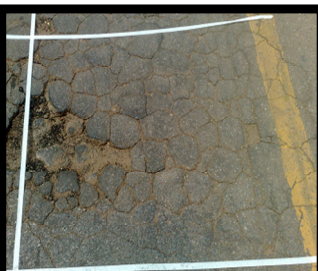


Foto 70 – Vista geral das manifestações patológicas – ESTAÇÃO 01

A Tabela 10 a seguir mostra as manifestações patológicas presentes na Estação 01, dividida em 24 partes medindo 1 x 1 m. Trata-se do Levantamento Visual.

	LOCAL	FOTO	PATOLOGIAS
ESTACÃO 01	1		Trinca couro de Jacaré - TCJ
	2		Trincas em Blocos/Baixa severidade
	3		Afunamento trilha de roda, trincas em Bloco Baixa severidade
	4		Remendo - Baixa severidade
	5		Trinca couro de Jacaré - TCJ
	6		Remendo - Baixa severidade + Trinca Longitudinal

	LOCAL	FOTO	PATOLOGIAS
ESTACÃO 01	7		Afundamento + Trinca e Remendo Baixa Severidade
	8		Remendo Baixa Severidade
	9		Trinca couro de Jacaré e em Bloco
	10		Trinca couro de Jacaré, Longitudinal, Bloco e Remendo
	11		Afundamento e Trinca em Bloco Baixa severidade
	12		Remendo Baixa Severidade

	LOCAL	FOTO	PATOLOGIAS
ESTACÃO 01	13		Trinca couro de Jacaré - Alta Severidade
	14		Trincas em Blocos + Remendo Baixa severidade + Longitudinal
	15		Trincas em Blocos Baixa severidade
	16		Remendo Baixa Severidade
	17		Trinca couro de Jacaré - Alta Severidade + Panela Média Severidade
	18		Trinca Longitudinal, Remendo e Panela Baixa Severidade

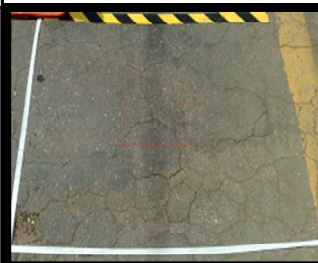
	LOCAL	FOTO	PATOLOGIAS
ESTAÇÃO 01	19		Remendo Baixa Severidade
	20		Remendo Baixa Severidade
	21		Trincas em Bloco Média Severidade e Panelas Baixa Severidade
	22		Trinca Longitudinal, Remendo e em Bloco Baixa Severidade
	23		Trinca Longitudinal e Remendo de Baixa Severidade
	24		Remendo de Baixa Severidade

Tabela 10 - Manifestações patologias – ESTAÇÃO 01

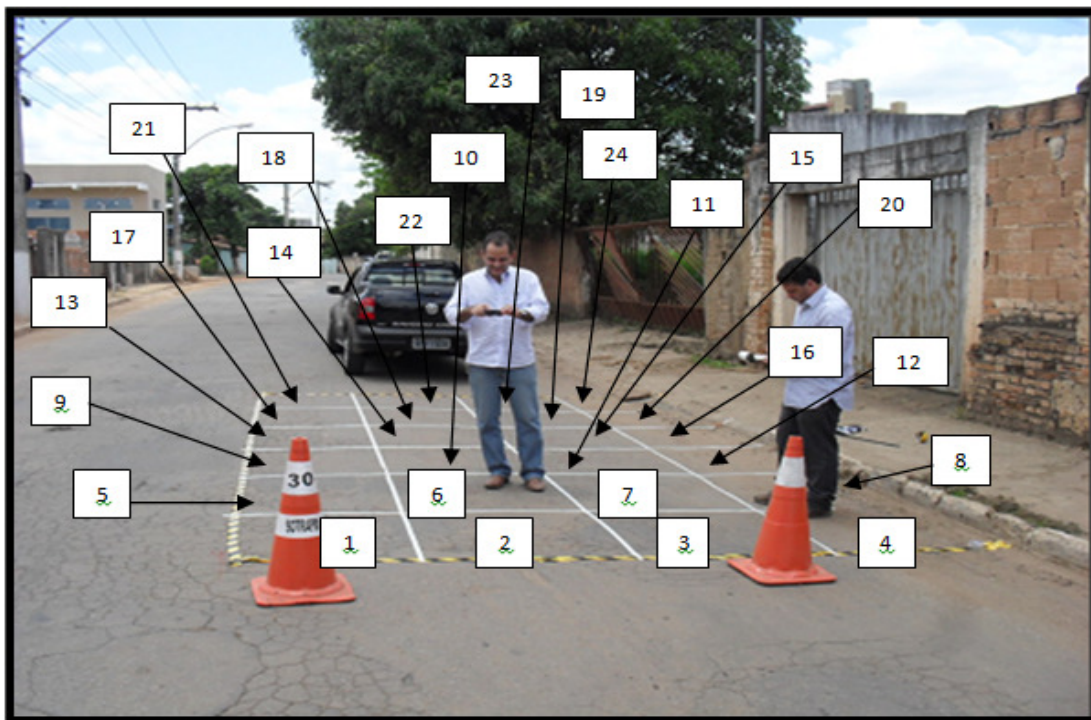
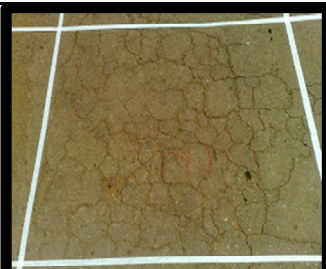
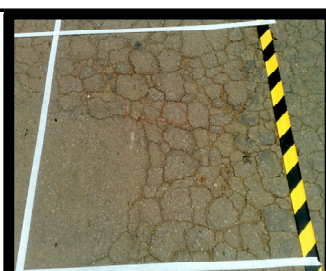
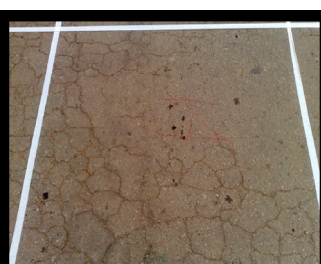


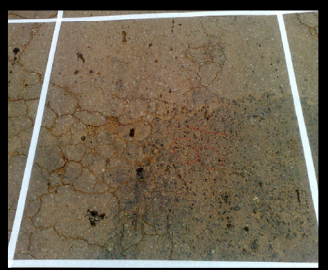
Foto 71 - Vista geral das manifestações patológicas – ESTAÇÃO 11

A Tabela 10 a seguir mostra as manifestações patológicas presentes na Estação 11, dividida em 24 partes medindo 1 x 1 m. Trata-se do Levantamento Visual.

	LOCAL	FOTO	PATOLOGIAS
ESTAÇÃO 11	1		Trinca couro de Jacaré Média severidade
	2		Trincas em Blocos/Baixa severidade
	3		Trinca couro de Jacaré, Bloco e Remendo Baixa severidade

	LOCAL	FOTO	PATOLOGIAS
ESTACÃO 11	4		Remendo de Baixa Severidade
	5		Trincas Couro de Jacaré - Média Severidade
	6		Trincas em Bloco Baixa Severidade
	7		Trinaca Couro de Jacaré e Panela - Baixa Severidade
	8		Remendo de Baixa Severidade
	9		Trincas Couro de Jacaré e Panela - Baixa Severidade

	LOCAL	FOTO	PATOLOGIAS
ESTACÃO 11	10		Trincas em Bloco - Baixa Severidade
	11		Trincas em Bloco - Baixa Severidade
	12		Remendo de Média Severidade
	13		Trincas couro de Jacaré e Panela Baixa Severidade
	14		Trincas Couro de Jacaré
	15		Trincas Couro de Jacaré

	LOCAL	FOTO	PATOLOGIAS
ESTACÃO 11	16		Remendo de Baixa Severidade
	17		Trincas Couro de Jacaré e Panela de Baixa Severidade
	18		Trincas Couro de Jacaré e Panela de Média Severidade
	19		Trincas Couro de Jacaré e em Bloco Baixa Severidade
	20		Remendo de Média Severidade
	21		Trincas Couro de Jacaré - Alta Severidade

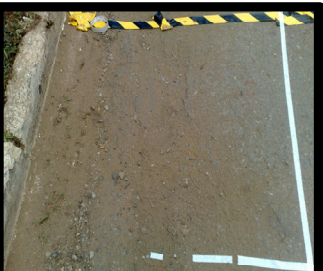
	LOCAL	FOTO	PATOLOGIAS
ESTAÇÃO 11	22		Remendo e Trinca Couro de Jacaré - Média Severidade
	23		Trincas Couro de Jacaré - Alta Severidade + Panela + Remendo Média Severidade
	24		Remendo de Média Severidade

Tabela 11 – Manifestações patologias – ESTAÇÃO 11

Serão definidos também:

- Cálculo do IGI - Índice de Gravidade Individual;

$$IGI = f_r \times f_p$$

Equação 3

Sendo:

f_r = Frequência Relativa e

f_p = Fator de Ponderação obtido de acordo com a Tabela 12

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

Tabela 12 – Valor do fator de ponderação

A Tabela 13 apresenta os resultados obtidos na Avaliação Visual nas 15 Estações analisadas da Av. Alano Melgaço no trecho entre a Av. Argentina e Rua Dr. Candido

AVALIAÇÃO FUNCIONAL E ESTRUTURAL DO PAVIMENTO					
RODOVIA: PARÁ DE MINAS		TRECHO: Rua Alano Melgaço			
		ESTACAS: 0 a 14			
CARACTERÍSTICAS FUNCIONAIS					
AVALIAÇÃO OBJETIVA (DNER-PRO 006/2003)					
ÍTEM	DEFEITOS	Ni	FREQUÊNCIA	COEF.	IGI
			RELATIVA	POND.	
1	FC-1: F1, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR	0	0,0	0,2	0,0
2	FC-2: J, TB	0	0,0	0,5	0,0
3	FC-3: JE, TBE	15	100,0	0,8	80,0
4	ALP, ATP	0	0,0	0,9	0,0
5	O, P	9	60,0	1,0	60,0
6	EX	0	0,0	0,5	0,0
7	D	0	0,0	0,3	0,0
8	R	9	60,0	0,6	36,0

Tabela 13 Avaliação Visual nas 15 Estações

- Cálculo do IGG – Índice de Gravidade Global;

$$IGG = \sum IGI$$

Equação 4

Sendo:

ΣIGI = Somatório dos Índices de Gravidade Individual, calculados de acordo com a Tabela 14.

AVALIAÇÃO FUNCIONAL E ESTRUTURAL DO PAVIMENTO					
RODOVIA: PARÁ DE MINAS		TRECHO: Rua Alano Melgaço			
		ESTACAS: 0 a 14			
CARACTERÍSTICAS FUNCIONAIS					
AVALIAÇÃO OBJETIVA (DNER-PRO 006/2003)					
ÍTEM	DEFEITOS	Ni	FREQUÊNCIA RELATIVA	COEF. POND.	IGI
1	FC-1: F1, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR	0	0,0	0,2	0,0
2	FC-2: J, TB	0	0,0	0,5	0,0
3	FC-3: JE, TBE	15	100,0	0,8	80,0
4	ALP, ATP	0	0,0	0,9	0,0
5	O, P	9	60,0	1,0	60,0
6	EX	0	0,0	0,5	0,0
7	D	0	0,0	0,3	0,0
8	R	9	60,0	0,6	36,0
NÚMERO DE ESTAÇÕES		15	$\sum IG = IGG$	176,0	

Tabela 14 – IGG - Somatório dos índices de gravidade individual

- Conceito de Degradação do Pavimento;

Para conferir ao Pavimento inventariado o grau de degradação atingido é definida a correspondência apresentada na Tabela 15.

Tabela 15 – degradação do função do IGG	Conceitos	Limites	Conceitos de pavimento em
	Ótimo	$0 < IGG \leq 20$	
	Bom	$20 < IGG \leq 40$	
	Regular	$40 < IGG \leq 80$	
	Ruim	$80 < IGG \leq 160$	
	Péssimo	$IGG > 160$	

- Cálculo do VSA – Valor de Serventia Atual.

Relaciona-se à apreciação da superfície dos pavimentos e como este estado influencia no conforto ao rolamento. O valor de serventia atual é uma atribuição numérica compreendida em uma escala de 0 a 5, dada pela média de notas dos avaliadores com relação ao conforto ao rolamento de um veículo trafegando em determinado trecho em um dado momento de vida do pavimento, conforme a Tabela 16.

Padrão de conforto ao rolamento	Avaliação (faixa de notas)
Excelente	4 a 5
Bom	3 a 4
Regular	2 a 3
Ruim	1 a 2
Péssimo	0 a 1

Tabela 16 – Cálculo do VSA – Valor de serventia atual

O VSA diminui com o passar do tempo devido a dois fatores principais:

- Tráfego;
- Intempéries

Conforme Figura 40.

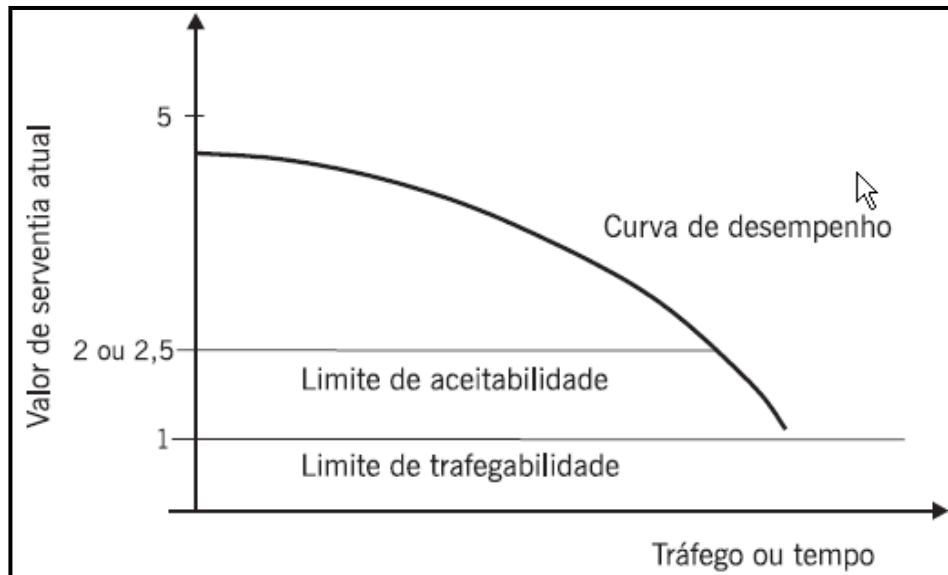


Figura 40 – Variação da serventia com o tráfego ou tempo decorrido de utilização da via

Durante a nossa avaliação a atribuição numérica do Valor de Serventia do Pavimento foi à seguinte:

- João Luis – Nota = 0,60;
- Eustáquio – Nota = 0,80;
- Bráulio – Nota = 1,00.

Média das notas = 0,80 – Classificação Péssima

- Cálculo do IES – Índice do Estado da Superfície do Pavimento.

As Tabelas a seguir mostram os resultados obtidos:

AVALIAÇÃO FUNCIONAL E ESTRUTURAL DO PAVIMENTO									
RODOVIA: PARÁ DE MINAS		TRECHO: Rua Alano Melgaço							
		ESTACAS: 0 a 14							
CARACTERÍSTICAS FUNCIONAIS									
AVALIAÇÃO OBJETIVA (DNER-PRO 006/2003)									
ÍTEM	DEFEITOS			Ni	FREQUÊNCIA RELATIVA		COEF. POND.	IGI	
1	FC-1: F1, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR			0	0,0		0,2	0,0	
2	FC-2: J, TB			0	0,0		0,5	0,0	
3	FC-3: JE, TBE			15	100,0		0,8	80,0	
4	ALP, ATP			0	0,0		0,9	0,0	
5	O, P			9	60,0		1,0	60,0	
6	EX			0	0,0		0,5	0,0	
7	D			0	0,0		0,3	0,0	
8	R			9	60,0		0,6	36,0	
9	Média aritmética dos valores médios das flechas nas TRI e TRE						4/3	0,0	
10	Média aritmética das variâncias das flechas nas TRI e TRE						1,0	0	
NÚMERO DE ESTAÇÕES				15	S IGI = IGG			176,0	
MEDIDA DAS DEFORMAÇÕES EM PERFIL				ISA			0,8		
IRREGULARIDADE	N	$\bar{X}$	S	IRI/QI característico		QI máximo	CONCEITO		
IRI - FAIXA INTERNA	-	-	-	-		-	-		
IRI - FAIXA EXTERNA	-	-	-	-		-	-		
CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAIS									
MEDIDA DA DEFORMABILIDADE ELÁSTICA									
		N	$\bar{X}$	S	D característica		D máxima	CONCEITO	
DEFLEXÃO		15	127,0	36	163,0		91,9	PÉSSIMO	
DEFLEXÃO →		< Dadm < 1,1xDadm < 1,2xDadm < 1,5xDadm >							
		ÓTIMO	BOM	REGULAR	MAU			PÉSSIMO	
ISA →		5	4	3	2	1	0		
IGG →		0	20	40	80	160	>		
		ÓTIMO	BOM	REGULAR	MAU			PÉSSIMO	
QI →		<	30	35	60	75	>		

Tabela 17 – Tabela de avaliação funcional e estrutural do Pavimento.

BOLETIM DE SONDAGEM						
Trecho: Rua Alano Melgaço					Extensão:	
Estaca: 10				Estudo: Camadas do Pavimento		
REG	FURO	ESTACA	PROF. (m)		CLASSIFICAÇÃO EXPEDITA	
			Inicial	Final		
	1	10 LD	0,00	0,03	Concreto Betuminoso Usinado a Quente	
	1		0,03	0,23	Cascalho areno-argiloso	
	1		0,23	0,43	Silte argiloso com pedregulho	
	1		0,43	0,63	Areia com cascalho	
					Não foi detectada a presença de água	

Tabela 18 – Boletim de Sondagem

QUADRO RESUMO DE ENSAIOS																						
Rodovia:				Trecho: Rua Alano Melgaço												Ocorrência: Camadas do Pavimento						
Reg.	Furo	Estaca	Pos.	Profundidade		LL	IP	Granulometria							IG	Classif.	Compactação			ISC		
				De	A			2"	1"	3/8"	Nº 4	Nº 10	Nº 40	Nº 200			TRB	Nº Golpes	H.ot.	D.max.	Exp.	ISC
	1	10	LD	0,03	0,23	27,4	NP	100,0	94,6	75,1	63,9	56,3	44,0	14,3	0	A-2-4	26	4,8	2073	1,43	18,1	
	1			0,23	0,43	26,8	10,8	100,0	94,7	82,7	71,9	66,6	53,5	15,2	0	A-2-6	26	10,3	1932	0,14	16,4	
	1			0,43	0,63	25,9	NP	100,0	72,4	55,1	43,5	36,6	25,5	2,0	0	A-1-a	26	7,8	2042	-0,01	47,5	

Tabela 19- Quadro Resumo da Sondagem

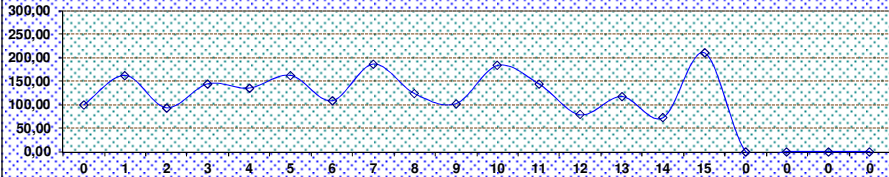
MÉTODO DO D.N.E.R-ME 024/94 Medidas de Deflexões da Viga Benkelman																	
Obra: Projeto						Sub-Trecho:					Constante da Viga				Folha Nº		
Trecho: Rua Alano Melgaço						Camada: Concreto Betuminoso Usinado a Quente											
Estaqueamento: Estaca 0 - 15						Operador:					3				001		
Estaca	Data	Posição	Leituras		Deflexão (D0) (0,01mm)	Leituras em (0,01 mm)					Deflexões em (0,01 mm)					Temperatura (º C)	Raio de Curvatura (m)
			Inicial L0	Final LF		L25	L50	L75	L100	L125	D25	D50	D75	D100	D125		
0		T.R.E	500	533	99												
1		T.R.E	500	554	162												
2		T.R.E	500	531	93												
3		T.R.E	500	548	144												
4		T.R.E	500	545	135												
5		T.R.E	500	554	162												
6		T.R.E	500	536	108												
7		T.R.E	500	562	186												
8		T.R.E	500	541	123												
9		T.R.E	500	534	102												
10		T.R.E	500	561	183												
11		T.R.E	500	548	144												
12		T.R.E	500	526	78												
13		T.R.E	500	539	117												
14		T.R.E	500	524	72												
15		T.R.E	500	570	210												
RESULTADOS		T.R.E	DEFLEXÕES  — T.R.E													OBSERVAÇÕES	
MÉDIA																	
DESVPAD																	
DEFLEXÃO CARACTERÍSTICA																	

Tabela 20 – Resultado do Ensaio Viga Benkelman

[illegible]

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFIAS

Senço, W. **Manual de técnicas de pavimentação**. São Paulo: Editora Pini, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 6576 - Ensaio de Penetração**, Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR14736 , Ensaio de Efeito do Calor e do Ar**, Rio de Janeiro,2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 14756 , Ensaio de Viscosidade**, Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 14948 Micro-revestimento**, Rio de Janeiro, 2003.

A ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 11341 do Ponto de Fulgor**, Rio de Janeiro, 2004.

DNIT, **Manual de Pavimentação**, IPR/DNIT/ABNT, **Publicação 719**, Rio de Janeiro, 2006.

DNIT, **Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos**, IPR/DNIT/ABNT, **Publicação 720**, Rio de Janeiro, 2006.

DNIT 005, **Defeitos nos Pavimentos Flexíveis e Semi-rígidos - Terminologia**, Rio de Janeiro ,2003.

Norma DNIT 006/2003 PRO, **Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos - Procedimentos**, Rio de Janeiro, 2003.

Norma DNIT 008/2003 PRO, **Levantamento visual contínuo para avaliação da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos - Procedimentos**, Rio de Janeiro ,2003.

DNIT 031, **Pavimentos flexíveis - Concreto Asfáltico -Especificação de serviço**, Rio de Janeiro , 2006.

Bernucci, L B al. - **Pavimentação Asfáltica – Formação Básica para Engenheiros**, Rio de Janeiro, 2008.

AASHTO - **Deterioração do Pavimento e do Programa de Manutenção**

Santana, **Cargas no Pavimento**, 1993.

Souza, M.L. **Pavimentação Rodoviária**, Rio de Janeiro: LTC Ed. 1980.

Guimarães e Motta – 2000

Nogami e Villibor – 1995

Cabral – 2005

Fernandes – 2004

Sayers e Karaminas - 1998

Trichê e Cardos – 2001

Soares- 2000