



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Ana Paula Kuteken Kuratani

Edson Shimizu

Guilherme Cepellos Monticelli

Juliana Kawahashi

Lauro Dela Libera Filho

Marcelo Wuo Lopes

**CORREDOR TECNOLÓGICO II: PROJETO CONCEITUAL DE PISTA
EXPERIMENTAL PARA AVALIAÇÃO FUNCIONAL DE MISTURAS
ASFÁLTICAS DE ALTO DESEMPENHO**

São Paulo

2008

Ana Paula Kuteken Kuratani
Edson Shimizu
Guilherme Cepellos Monticelli
Juliana Kawahashi
Lauro Dela Libera Filho
Marcelo Wuo Lopes

**CORREDOR TECNOLÓGICO II: PROJETO CONCEITUAL DE PISTA
EXPERIMENTAL PARA AVALIAÇÃO FUNCIONAL DE MISTURAS
ASFÁLTICAS DE ALTO DESEMPENHO**

Monografia de Conclusão de Curso
apresentada à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para a
obtenção do título de engenheiro

São Paulo
2008

Ana Paula Kuteken Kuratani
Edson Shimizu
Guilherme Cepellos Monticelli
Juliana Kawahashi
Lauro Dela Libera Filho
Marcelo Wuo Lopes

**CORREDOR TECNOLÓGICO II: PROJETO CONCEITUAL DE PISTA
EXPERIMENTAL PARA AVALIAÇÃO FUNCIONAL DE MISTURAS
ASFÁLTICAS DE ALTO DESEMPENHO**

Monografia de Conclusão de Curso
apresentada à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para a
obtenção do título de engenheiro

Área de concentração:
Engenharia Civil

Orientador:
Prof. Dr. Telmo Giolito Porto

São Paulo
2008

DEDICATÓRIA

A nossas famílias, amigos e
professores, que nos deram apoio e
incentivo durante a jornada acadêmica.

AGRADECIMENTOS

Ao nosso orientador, Prof. Dr. Telmo Giolito Porto, pelo suporte e auxílio durante todo o ano.

A Prof. Dra. Liedi Legi Bariani Bernucci pelas sugestões oferecidas durante o a elaboração do trabalho.

À Engenheira Dra Marcia Aps do Instituto de Pesquisas Tecnológicas que foi a nossa maior referência nesse Instituto que nos serviu de motivação para o trabalho do 1º semestre e de apoio indispensável para a continuidade desse trabalho no 2º semestre

À Engenheira Henriqueta Giolito Porto que, com todo o interesse e generosidade, forneceu-nos informações e materiais sem os quais a qualidade deste trabalho ficaria comprometida.

Às nossas famílias e aos nossos amigos, por todo apoio, carinho e compreensão nos momentos que mais precisávamos.

A todos agradecemos, profundamente, e dedicamos o resultado do trabalho.

RESUMO

Este trabalho foi concebido com o propósito de criar um projeto conceitual de uma pista experimental que comporte, ao longo de sua extensão, revestimentos asfálticos de alto desempenho funcional e que permita a comparação funcional destas misturas após a execução. Foi estabelecido um objetivo secundário de criar uma ferramenta para o auxílio na escolha de uma mistura mais adequada a um determinado cenário, de modo a possibilitar melhor visualização da utilidade da pista. Para ilustrar o uso de tal ferramenta, foi proposto um cenário com valores hipotéticos para uma simulação numérica, permitindo estudos complementares.

Palavras-chave: projeto conceitual, pista experimental, avaliação funcional, misturas asfálticas.

ABSTRACT

This work was conceived with the purpose of developing a conceptual project of an experimental track, which surface would be composed by several asphaltic mixtures. The chosen mixtures, well known by their good frictional and noise properties, would be compared through tests run on this track. Aiming to help visualize the utility of this project, a secondary objective was established: to develop an analytical tool, in order to aid the decision making process when it comes to choosing an asphalt top layer. To illustrate the use of the referred tool, a simulation using a hypothetical scenario was presented.

Keywords: conceptual project, experimental track, functional evaluation, asphaltic mixtures.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Ilustração esquemática do espalhador de mancha de areia.	23
Figura 2: Comparação de ensaios de Mancha de Areia realizado em diferentes texturas.	24
Figura 3: Área de teste para Coast-By.	37
Figura 4: Posicionamento de microfones para CPX.	39
Figura 5: Posição do microfone.	42
Figura 6: Equipamento para realização do ensaio	46
Figura 7: Posicionamento do equipamento para realização do ensaio	46
Figura 8: Tabelas para contagem de medições	47
Figura 9: Esquema de transmissão de dados	49
Figura 10: Rodovia Ayrton Senna	64
Figura 11: Seção Transversal	68
Figura 12: Planta da pista conceitual dividida	69
Figura 13: Trecho 1.	96
Figura 14: Trecho 2.	99
Figura 15: Trecho 3.	101
Figura 16: Trecho 4.	106
Figura 17: Trecho 5.	110
Figura 18: Distribuição ilustrativa de defeitos nos trechos 1 e 2.	116
Figura 19: Distribuição ilustrativa de defeitos nos trechos 3, 4 e 5.	117

LISTA DE FOTOS

Foto 1: Placa de Identificação no Corredor Tecnológico.	15
Foto 2: Vista Geral do Corredor Tecnológico.	16
Foto 3: Obras de pavimentação no trecho da Curva da Onça.	17
Foto 4: Trecho da pista do Autódromo de Interlagos.	18
Foto 5: Vista aérea do Aeroporto Santos Dumont.	19
Foto 6: Trecho da Rodovia das Cataratas.	19
Foto 7: Detalhe - diferença entre um pavimento não-drenante e o CPA.	20
Foto 8: Revestimento asfáltico BBTM na Rodovia Castello Branco.	21
Foto 9: Aparato para ensaio de Pêndulo Britânico.	26
Foto 10: Foto esquemática do equipamento do Pêndulo Britânico.	26
Foto 11: Desenho esquemático do pêndulo ilustrando o arranjo da alavanca.	27
Foto 12: Equipamento Mu-Meter da INFRAERO em uso.	31
Foto 13: Averiguação em placa.	32
Foto 14: Calibração dos pneus.	32
Foto 15: Computador de coleta de dados	33
Foto 16: Sistema espargidor de água	33
Foto 17: Drenômetro manual.	34
Foto 18: Drenômetro eletrônico.	34
Foto 19: Superfície a ser ensaiada molhada até saturação	35
Foto 20: Preparo e posicionamento do drenômetro	35
Foto 21: Remoção da rolha de fundo do tempo de escoamento.	35
Foto 22: Processo de medição de nível e mira	44
Foto 23: Fixação de equipamento em veículos	50
Foto 24: Desnível transversal.	96
Foto 25: Calha de drenagem obstruída por resíduo de material.	97
Foto 26: Quebra de Borda, Ninho com vegetação, Desgaste Superficial.	97
Foto 27: Calha de drenagem quebrada.	98
Foto 28: Desnível de borda e buracos.	99
Foto 29: Trinca transversa	100
Foto 30: Ninhos preenchidos com asfalto	100

Foto 31: Ninhos preenchidos de vegetação, blocos com trinca de borda assim como blocos com bordas quebradas, desgaste superficial e blocos cobertos de resíduo de material.....	102
Foto 32: Lombada com desgaste superficial, quebra de borda, Ninho preenchidos de vegetação e desnível de borda.	102
Foto 33: Reforma da superfície do revestimento.....	103
Foto 34: Resíduo de pintura asfáltica, com buracos devido à falta de blocos.	103
Foto 35: Ausência de blocos, blocos trincados, quebrados e desgastados	104
Foto 36: Desnível de Borda, desgaste de blocos.	104
Foto 37: Desnível de borda, buraco devido à falta de blocos, assim como a presença de vazio.	105
Foto 38: Bloco quebrado, com ninho preenchido de vegetação.....	106
Foto 39: Reforma com substituição de tubulação enterrada, com revestimento diferente do original.....	107
Foto 40: Reforma com substituição de tubulação enterrada, com revestimento diferente do original.....	107
Foto 41: Reforma com substituição de tubulação enterrada, com revestimento diferente do original.....	108
Foto 42: Reforma com remoção de uma lombada, o que deixou muito resíduo sobre a pista, assim como blocos quebrados e trincados.	108
Foto 43: Reforma com substituição de tubulação enterrada.	109
Foto 44: Rotatória – Trinca e quebra da placa de concreto.	110
Foto 45: Rotatória – Trinca e quebra da placa de concreto.	111
Foto 46: Rotatória – Trinca e quebra da placa de concreto.	111
Foto 47: Rotatória – Trinca e quebra da placa de concreto.	112
Foto 48: Rotatória – Reforma de substituição de tubulação enterrada.	112
Foto 49: Trinca e reforma da tubulação que danificou a placa de concreto.	113
Foto 50: Placa de concreto danificada.	113
Foto 51: Placa de concreto completamente quebrada com ninho de vegetação. ...	114
Foto 52: Buraco devido à placa de concreto quebrada.	114
Foto 53: Reforma de bueiro na placa de concreto.	115

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tipos de revestimento e ligantes utilizados.	16
Tabela 2: Classificação da macrotextura para resultados do ensaio de Mancha de Areia segundo o critério da RT-03.25 do DER-MG:	25
Tabela 3: Características da borracha para ensaio do Pêndulo Britânico.	29
Tabela 4: Classificação dos resultados de VRD segundo o DNIT.	30
Tabela 5: Largura de faixa de tráfego	44
Tabela 6: Valores dos limitantes dos ensaios de medição de ruído e aderência	61
Tabela 7: Modelo de tabela para preenchimento dos dados coletados	72
Tabela 8: Simulação numérica da matriz de decisão aplicada ao cenário hipotético	76
Tabela 9: Escalas para a normalização dos ensaios	78
Tabela 10: Escalas para a normalização dos ensaios	78
Tabela 11: Escalas para a normalização dos ensaios	78
Tabela 12: Escalas para a normalização dos ensaios	79
Tabela 13: Tabela de resultados ilustrativos estimados com base na bibliografia	81
Tabela 14: Resultados interpolados pelas escalas	81
Tabela 15: Distribuição de pesos	83
Tabela 16: Simulação numérica da matriz de decisão aplicada ao cenário hipotético	85
Tabela 17: Quadro Estatístico de Danos.....	116

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1. Tipos de misturas	4
3.1.1. SMA – Stone Matrix Asphalt	4
3.1.2. CPA – Camada Porosa de Atrito.....	9
3.1.3. BBTM – <i>Béton Bitumineux Très Mince</i>	10
3.2. Exemplos de aplicação das misturas estudadas no Brasil	14
3.2.1. Pistas com SMA.....	15
3.2.2. Pistas com CPA	18
3.2.3. Pistas com BBTM.....	20
3.3. Ensaaios para avaliação funcional	22
3.3.1. Ensaaios para a medição de aderência	22
3.3.1.1. Ensaio de Textura – Mancha de Areia.....	22
3.3.1.2. Ensaio de atrito – Pêndulo Britânico	25
3.3.1.3. Mu-Meter.....	31
3.3.1.4. Drenômetro	33
3.3.2. Ensaaios de medição de ruído.....	35
3.3.2.1. Método <i>Coast-By</i> (CB)	36
3.3.2.2. Método <i>Close Proximity</i> (CPX)	38
3.3.2.3. Medição de ruído no interior de veículos	40
3.3.3. Ensaaios de medição de irregularidade	43
3.3.3.1. Método Nível-e-Mira	43
3.3.3.2. MERLIN	45
3.3.3.3. Perfilômetro.....	48
3.3.3.4. Integrador IPR/USP	53
3.4. Metodologia de tratamento de dados	55
4. PISTA CONCEITUAL	57
4.1. Concepção	57
4.2. Expectativas de utilização da pista.....	58
4.3. Estudo de viabilidade física (geométrica)	58
4.3.1. Limitantes de ensaio	58

4.3.1.1.	Comprimento	59
4.3.1.2.	Largura.....	59
4.3.1.3.	Declividade	59
4.3.1.4.	Superelevação	60
4.3.2.	Análise dos Limitantes de Ensaio	60
4.4.	Metodologia de execução.....	63
5.	ALOCAÇÃO DA PISTA CONCEITUAL – RODOVIA SP70 – Ayrton Senna	64
5.1.	Escolha do Local	64
5.2.	Misturas a serem utilizadas	67
5.3.	Dimensões dos Trechos	67
5.3.1.	Planta	69
6.	FERRAMENTA PARA ESCOLHA DE REVESTIMENTO ASFÁLTICO	70
6.1.	Levantamento de dados	71
6.1.1.	Considerações para validação experimental.....	71
6.1.2.	Compilação de resultados dos ensaios.....	72
6.2.	Modelagem da matriz de decisão.....	73
6.2.1.	Nivelamento dos resultados por meio de diferentes escalas para cada tipo de ensaio.....	73
6.2.2.	Diretrizes básicas para ponderação dos ensaios.....	74
6.2.3.	Formato e diretrizes básicas para a aplicação da matriz de decisão	75
6.3.	Simulação de aplicação da matriz de decisão.....	77
6.3.1.	Determinação de escalas para normalização dos resultados	77
6.3.2.	Preenchimento ilustrativo da tabela de resultados e normalização dos resultados para notas de avaliação.....	80
6.3.3.	Simulação do cenário (rodovia hipotética)	81
6.3.3.1.	Levantamento das necessidades sócio-econômico-ambientais	82
6.3.3.2.	Ponderação.....	82
6.3.4.	Indicação da mistura mais adequada.....	84
7.	Conclusão.....	86
7.1.	Recomendações.....	88
8.	BIBLIOGRAFIA.....	89
	ANEXO A - Avaliação Diagnóstica	94

1. INTRODUÇÃO

O presente documento, elaborado por um grupo de alunos de graduação em Engenharia Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo como Trabalho de Formatura, é resultado de pesquisas desenvolvidas na área de pavimentação asfáltica, com ênfase no desempenho quanto à aderência e ao ruído de diferentes misturas escolhidas, o que caracteriza um processo de avaliação funcional.

Quando se trata de avaliação funcional de pavimentos, é relevante lembrar que a irregularidade é uma característica de elevada importância, razão pela qual os diferentes métodos de ensaio a ela ligados estão contemplados no presente trabalho. Porém, a proposta da pista conceitual para comparação de diferentes misturas se baseia na hipótese de que a execução da pista respeitará todas as restrições e condições necessárias, garantindo a qualidade de execução e minimizando a existência de irregularidades muito acentuada que gerem efeitos colaterais nos ensaios de ruído e aderência. Com base nesses fatores, a comparação entre as misturas não leva em consideração a irregularidade da pista.

Dando continuidade aos estudos realizados no primeiro semestre, em que foi idealizado o “Corredor Tecnológico II”, idéia essa criada a partir da necessidade do IPT de reabilitar as suas vias, que se encontram em estado degradado, foi elaborada uma proposta com base nas conclusões obtidas nesses estudos, que indicaram a inviabilidade de execução dentro dos moldes idealizados e propostos. Esta conclusão foi obtida a partir da avaliação diagnóstica do local, que evidenciou características restritivas aos ensaios de ruído exigindo, assim, uma providência para a continuidade do trabalho quanto ao local de execução e ao entorno.

Desse modo, a alternativa adotada foi buscar um local onde todas as normas relativas aos ensaios pretendidos fossem respeitadas, mantendo o conceito do Corredor Tecnológico original, executado no acesso à pedreira da Serveng-

Civilsan, na Rodovia Castello Branco. Foi construída uma pista experimental para análise de misturas asfálticas aplicadas em trechos subsequentes.

O local mais adequado para a implantação do novo corredor com diferentes misturas asfálticas seria uma rodovia em trecho rural, devido às suas características geométricas e condições do entorno.

Motivações:

Os países onde o modelo de transporte rodoviário destaca-se entre os demais meios têm sofrido cada vez mais com os acidentes de trânsito. Só em 2005 o número de mortes causadas por acidentes de trânsito no Brasil foi de aproximadamente 36 mil, sendo a sétima maior causa de óbitos no país. É um problema que afeta direta ou indiretamente a maior parte da população, que utiliza o transporte rodoviário diariamente. As perdas envolvem não só questões sociais como também econômicas, sendo o impacto socioeconômico estimado em R\$ 24,6 bilhões segundo estudo realizado pelo IPEA (2006) intitulado “Impactos Sociais e Econômicos dos Acidentes de Trânsito nas Rodovias Brasileiras”. Estima-se ainda que, dentre as causas dos acidentes, 6% são atribuídas a defeitos na via (traçado, condição da camada de rolamento e etc.).

Além da menção acima, uma das tendências atuais é a preocupação com a poluição sonora. O aumento do volume de tráfego nas estradas e vias urbanas, assim como o aumento das velocidades, são responsáveis por um fenômeno de poluição conhecido como ruído. Segundo BIANCHETTO (1996), o ruído nos arredores de vias com tráfego intenso atinge facilmente os 75 dB, sendo recomendado pela Organização Mundial da Saúde (OMS) o valor de 50 dB. Ainda segundo BIANCHETTO (1996), a exposição diária de uma pessoa, durante 8 horas, ao nível de 75 dB por 4 (quatro) anos, é suficiente para causar danos irreversíveis de perda parcial ou até total da audição.

Afronte de tais problemas sociais graves, será dada ênfase à análise de misturas asfálticas com desempenho adequado em sua superfície para aderência e mitigação de ruídos.

2. OBJETIVOS

Este trabalho foi concebido com o propósito de criar um projeto conceitual de uma pista experimental que comporte, ao longo de sua extensão, revestimentos asfálticos de alto desempenho funcional e que permita a comparação funcional destas misturas após a execução.

Foi estabelecido um objetivo secundário de criar uma ferramenta para o auxílio na escolha de uma mistura mais adequada a um determinado cenário, de modo a possibilitar melhor visualização da utilidade da pista.

Para ilustrar o uso de tal ferramenta, será proposto um cenário com valores hipotéticos para possibilitar uma simulação numérica.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão apresentados os instrumentos e os objetos de estudos que servirão como base para a elaboração deste trabalho. Primeiramente serão apresentadas de forma breve as misturas escolhidas que apresentam bom desempenho em relação à funcionalidade da camada de rolamento de uma via. Em seguida serão abordados os ensaios para avaliação funcional, mais especificamente para medição de aderência, ruído e irregularidades.

3.1. Tipos de misturas

A seguir serão apresentados um breve histórico e as principais características das misturas selecionadas para a elaboração da pista conceitual.

3.1.1. SMA – Stone Matrix Asphalt

O SMA, cuja designação em inglês é Stone Matrix Asphalt foi concebido na Alemanha em 1968. Aplicou-se uma capa de rolamento de apenas 2 cm de espessura, composta por uma fração de 75% de agregados de diâmetros entre 5 e 8 mm, 15% de material entre 0-2 mm, 10% de filer mineral e 7% de ligante betuminoso, sobre o peso total da mistura.

Breve histórico

O SMA tem sido utilizado na Europa desde a década de 70 para combater trilhas de roda e danos provocados pela rolagem de pneus com pinos no inverno. Porém, os custos de material e aplicação eram altos e a utilização do SMA entrou em declínio. Como o afundamento em trilha de roda passou a ser um sério problema na Alemanha, as misturas do tipo SMA voltaram a ser

empregadas. Em 1984, a Alemanha publicou a primeira norma para o SMA, difundindo seu uso como camada de rolamento para vários países europeus.

No início da década de 90, técnicos norte-americanos visitaram alguns países da Europa para observar e discutir procedimentos de execução. A partir de então, houve uma vasta difusão na utilização do SMA em projetos nos Estados Unidos, de maneira que em 1997, no mínimo 27 estados americanos já haviam executado mais de 100 projetos utilizando essa mistura asfáltica.

Além dos EUA, países como Inglaterra, China e Chile também experimentaram o SMA em alguns projetos, obtendo bons resultados quanto à aderência pneu/pavimento, comportamento estrutural e macrotextura de revestimento.

O SMA foi empregado no Brasil pela primeira vez em 2000, na reabilitação do autódromo de Interlagos em São Paulo. Em 2001, foi executado um trecho experimental na Rodovia Anchieta para se analisar o desempenho dessa mistura em condições severas de utilização (declividade expressiva, curva fechada e tráfego intenso de caminhões). O resultado revelou que o SMA foi a mistura que mais se adequou às condições solicitadas naquele trecho. Em 2002, foi construído outro trecho experimental empregando-se o SMA no Corredor Tecnológico – Barueri/SP.

O SMA também foi aplicado em trechos da Rodovia Presidente Dutra, sendo que um deles foi alvo de estudo na dissertação da tese de mestrado de Patrícia Barboza da Silva.

Atualmente, o SMA está presente em vias municipais em São Paulo e Salvador, além de diversos trechos em rodovias no estado de São Paulo. Porém, até o momento, não existem publicações a respeito do desempenho da mistura.

Propriedades / Caracterização do SMA

O SMA (*Stone Matrix Asphalt*) é um revestimento asfáltico executado a quente, concebido para maximizar o contato entre os agregados graúdos, aumentando a interação grão a grão e assim a resistência à tração.

A grande quantidade de agregados maiores do que 4.75mm (cerca de 70 a 80%) é uma das principais características desse tipo de mistura. Por conta desta granulometria, um maior volume de vazios entre os agregados é formado. Tal volume é preenchido por uma argamassa formada por uma mistura de fração de areia, fíler, ligante asfáltico e fibras. Em geral, o consumo de ligante asfáltico gira em torno de 6 a 7%. Por conta disso, as fibras são amplamente empregadas para que se evite o escorrimento do ligante durante a usinagem, o transporte o a aplicação. Segundo a *European Asphalt Pavement Association*, podem ser utilizados ligantes asfálticos convencionais ou modificados por polímero. A utilização de polímeros nos ligantes asfálticos promove uma melhora das propriedades mecânicas da mistura. Isso aumenta a vida útil do pavimento e a resistência à deformação permanente. Outra vantagem de se utilizar polímeros é a redução da quantidade necessária de fibras na mistura (inibidoras de escorrimento).

Da estrutura esquelética (agregado graúdo descontínuo imerso em uma argamassa ligante) decorre excelente desempenho quanto à resistência à deformação permanente e também maior durabilidade da mistura asfáltica. Sendo assim, o SMA passou a ser bastante empregado como revestimento de rodovias submetidas a tráfego pesado, aeródromos e em áreas portuárias em vários locais do mundo, principalmente na Europa.

A composição dessa mistura permite que ela seja aplicada em camadas de pequena espessura. Isto permite a sua aplicação sobre pavimentos já existentes que necessitem de melhora nas condições funcionais da camada de rolamento.

Quando comparado a outros revestimentos de mesma finalidade mecânica, o SMA apresenta redução de ruído. Se comparado a concretos betuminosos

densos convencionais, a redução de ruído fica limitada. Mesmo assim, o SMA tem um bom comportamento quanto à emissão de ruídos.

Materiais para o SMA

O SMA requer uso de agregados 100% britados em uma das faces e de no mínimo 90% britados nas duas faces. O índice de forma deve ser cúbico. Além disso, o pó de pedra deve apresentar equivalente de areia mínimo de 55% e azul de metileno máximo de 100mg/g. O fíler mineral deve ser ativo (pó calcário, cal, cimento Portland).

A principal diferença entre o SMA e as misturas convencionais é a graduação. No caso do SMA, há um “*break point*” nas curvas granulométricas; para aquelas preconizadas pela especificação alemã, esse ponto está aproximadamente entre 1 e 2 mm (SMA 0/6), 2 e 4 mm (SMA 0/8), 3 e 6 mm (SMA 0/11) ou 3 e 8 mm (SMA 0/16).

A *European Asphalt Pavement Association* recomenda a utilização de asfaltos modificados por polímeros nas misturas SMA, principalmente no sul da Europa. A incorporação de polímeros ao asfalto implica em benefícios como:

- Redução da suscetibilidade térmica do asfalto;
- Aumento da flexibilidade e elasticidade a baixas temperaturas;
- Melhoria da resistência à fluência, trincas e deformações permanentes quando submetidas a altas temperaturas;
- Aumento da vida de fadiga;
- Aumento das forças de adesão e coesão do sistema agregado/ligante;
- Maior resistência ao desgaste e ao envelhecimento da mistura.

Outra vantagem da utilização de asfaltos modificados em misturas SMA é a de que, por necessitar de maiores temperaturas para seu escoamento, o ligante ajuda na estabilização do SMA. Os asfaltos modificados para o SMA podem ser modificados em refinarias ou na usina, sendo a primeira a mais freqüente.

As fibras utilizadas para inibir o escoamento dos ligantes asfálticos podem ser de minerais ou de celulose. Sua atuação ocorre somente nos estágios de armazenagem, transporte e aplicação do SMA; após a compactação, essas fibras perdem qualquer tipo de influência no desempenho da mistura.

As fibras de celulose apresentam as seguintes vantagens em relação às minerais: são produzidas a partir de fontes renováveis e não são nocivas à saúde humana. Em geral, uma dosagem das fibras para misturas SMA nos Estados Unidos é de 0,3% do peso total da mistura quando são utilizadas fibras de celulose e 0,3% a 0,4% quando são fibras minerais. Na Europa, utiliza-se 0,3 % para qualquer tipo de fibra. Deve-se atentar à dosagem correta das fibras, caso contrário poderão ocorrer pontos de exsudação e segregação da mistura.

Dosagem das Misturas SMA

O processo de dosagem do SMA é muito importante para que não ocorram problemas com a mistura. Um projeto de SMA racional é feito obtendo-se um esqueleto pétreo onde o contato grão a grão dos agregados é garantido. Para que isso ocorra, é necessário que o volume de vazios da fração graúda do agregado na mistura compactada seja menor ou igual ao volume de vazios da fração graúda do agregado compactado.

Outro quesito importante a ser atendido é o da quantidade de argamassa usada. Em geral, as argamassas de SMA necessitam de uma grande quantidade de ligante asfáltico. Por essa razão, os vazios do agregado e/ou a quantidade de cimento asfáltico devem exceder o mínimo requerido.

De maneira geral, uma mistura de SMA satisfatória só pode ser obtida quando forem levados em consideração os seguintes itens:

- Seleção dos agregados apropriados;
- Determinação da graduação de agregados que proporcione o contato entre os grãos;

- Garantia que a granulometria escolhida atenda ou exceda os vazios do agregado (VAM) mínimo requerido;
- Escolha de uma quantidade de ligante que proporcione a quantidade de vazios desejada e avaliação da suscetibilidade à umidade e da sensibilidade do ligante ao escorrimento.

3.1.2. CPA – Camada Porosa de Atrito

O CPA, ou Camada Porosa de Atrito, é um revestimento poroso com ligante modificado por polímero, com agregado mineral graúdo, tendo como característica determinante um alto percentual de vazios (18% a 25%). É comumente conhecido por sua elevada “capacidade drenante”, o que também resulta em boa aderência.

Breve histórico

O CPA começou a ser difundido no Brasil a partir da década de 1990, tendo sido utilizado no Aeroporto Santos Dumont, na Rodovia dos Imigrantes e na Rodovia Presidente Dutra.

Propriedades/caracterização do CPA

O revestimento asfáltico CPA, tem como atrativos as seguintes qualidades:

- Redução do risco de hidro/aquaplanagem;
- Diminuição de cortina d’água ou “*spray*”;
- Redução da distância de frenagem sob condição de chuva;
- Aumento da aderência pneu/pavimento;
- Baixos níveis de ruído.

Todos esses fatores contribuem para uma utilização viária mais segura e confortável. Por essas razões, é um revestimento asfáltico bastante testado em rodovias brasileiras.

Materiais para o CPA

Os materiais empregados para a obtenção do CPA têm algumas peculiaridades.

Os ligantes devem ter baixa suscetibilidade térmica e elevada resistência ao envelhecimento. Isso confere ao CPA uma maior durabilidade diante de condições mais intensas de tráfego. A modificação de ligantes com a adição de polímeros tem como objetivo atender a certas exigências técnicas.

Os agregados devem ser 100% britados e ter índice de forma cúbico.

Dosagem

Para a dosagem de misturas de CPA (método Marshall com 50 golpes por face), deverão ser atendidos os seguintes critérios:

- O índice de vazios deve permanecer entre 18% e 25%;
- A perda de massa no ensaio Cântabro deve ser inferior a 20%;
- A mistura deve exibir no mínimo 0,6 MPa de resistência à tração.

3.1.3. BBTM – *Béton Bitumineux Très Mince*

O BBTM - *Béton Bitumineux Très Mince*, também conhecido como Concreto Betuminoso Muito Delgado é uma mistura asfáltica usinada a quente com granulometria descontínua e, como seu nome anuncia, é aplicado em camadas delgadas. Apresenta-se como uma ótima opção de revestimento tanto no que diz respeito a propriedades mecânicas, de aderência e de conforto (BROSSEAUD, 1999), sendo também uma solução de boa durabilidade para pavimentos novos ou reabilitados.

Breve histórico

Originário da França, o BBTM tornou-se conhecido a partir de 1986, durante um concurso de inovações tecnológicas lançado pela Diretoria de Rodovias francesa, apesar de registros indicarem sua aplicação desde 1984. Popularizou-se na malha viária francesa, sendo que em 1997 as rodovias

nacionais e estaduais tinham 25% de sua extensão em BBTM (BROSSEAUD et al., 1997 b), sendo o auge de sua utilização o período entre 1989 e 1994, durante o qual foram executados aproximadamente 90 milhões de m².

Aos poucos o BBTM difundiu-se na Europa, sendo inclusive recomendado por alguns países como revestimento para rodovias de tráfego pesado. Na França, o BBTM representa a técnica mais usada em rodovias com tráfego rápido e com altos volumes devido não somente a suas excelentes propriedades mecânicas, mas também por tratar-se de um revestimento com ótimo desempenho quanto ao conforto do usuário e quanto a sua segurança. Se sua seqüência executiva for seguida adequadamente, raramente ocorrerão defeitos.

No Brasil, o BBTM foi usado como solução para o recapeamento de um trecho de 50 km da Rodovia Castello Branco, executado em julho de 2005, graças às suas propriedades de aderência e durabilidade.

Propriedades / Caracterização do BBTM

De acordo com a norma francesa XP P 98 137 (2001), o BBTM é uma mistura asfáltica caracterizada por uma grande porcentagem de agregados graúdos (70 a 80%) em uma composição adaptada (granulometria descontínua) a uma espessura média entre 20 e 30 mm, com consumo médio na camada de 40 a 60 kg/m². A mistura tolera o uso de aditivos para melhorar suas propriedades mecânicas e a descontinuidade de sua granulometria permite a classificação do revestimento de semipermeável a permeável.

Sua utilização concentra-se em camadas de rolamento de pavimentos novos, em serviços de reforço e em manutenção de rodovias.

O BBTM é classificado de acordo com a porcentagem de vazios (classes 1 e 2), com a graduação (diâmetro máximo do agregado), com a descontinuidade (fração ausente de agregado) e com o tipo de ligante usado (convencional ou modificado por polímeros).

As classes 1 e 2 diferenciam-se principalmente com a mudança de suas características com o passar do tempo, sendo normalmente avaliadas segundo os critérios de aspecto e integridade superficial do revestimento e de segurança e conforto dos usuários (BROSSEAUD et al., 1997 b). A seguir são apresentadas as principais características das composições mais conhecidas de BBTM:

- Classe 1, graduação 0/10: vida útil média de 10 anos, superfície homogênea e de boa aderência e grau de conservação de características iniciais, alto nível de ruído;
- Classe 1, graduação 0/6: aspecto homogêneo, boa durabilidade, pouco ruidoso, apresentando pequena redução do coeficiente de atrito longitudinal (<10%);
- Classe 2, graduação 0/10: boa drenagem superficial, durável, podendo apresentar desagregação quando usado em zonas de alta solicitação;
- Classe 2, graduação 0/6: boa aderência e redução de ruído, podendo precisar de ligantes modificados para garantir a coesão da mistura, costumeiramente usado em vias urbanas;

As misturas mais usadas são da classe 1, seja com graduação 0/10 e descontinuidade 2/6 ou com graduação 0/6 e descontinuidade 2/4, sendo a última mais desejável, especialmente quando há a necessidade de redução de ruído.

Materiais para o BBTM

Os agregados para BBTM devem ser 100% britados, com forma e textura que garantam o intertravamento entre os grãos (devido à descontinuidade acentuada). A classificação é feita de acordo com o material retido ou passante em determinadas peneiras, sendo a francesa diferente da brasileira. A classificação francesa categoriza os agregados de acordo com suas características mecânicas e massa específica.

Ainda é necessário considerar os finos da mistura (a fração-areia deve ter seu poder enrijecedor avaliado) e as características do fíler, responsável pela viscosidade do conjunto ligante asfáltico / fíler.

Quanto aos ligantes asfálticos, são comumente usados os asfaltos modificados por polímeros, apesar de ser permitido o uso de asfaltos convencionais.

Dosagem

A dosagem do BBTM divide-se basicamente em três etapas:

- Definição da classe (1 ou 2, de acordo com o volume de vazios);
- Avaliação da ação deletéria da água, através do ensaio Duriez;
- Avaliação da evolução da macrotextura determinada durante simulação de tráfego.

Os métodos adotados na dosagem objetivam o desempenho requisitado. Portanto, é raro encontrar na norma francesa especificações de faixas granulométricas e de composições. O que se encontram são requisitos referentes aos agregados (geometria, características mecânicas) e aos finos (propriedades).

3.2. Exemplos de aplicação das misturas estudadas no Brasil

O presente capítulo busca selecionar alguns exemplos de pavimentação onde foram utilizados os mesmos tipos de revestimento asfáltico escolhidos para o desenvolvimento do trabalho.

A pesquisa realizada deu prioridade a casos em que fosse possível maior facilidade de contato com os gestores e/ou executores da obra de pavimentação, com intuito de se obter informações suficientes para auxiliar na conceituação e na elaboração da metodologia de pesquisa para os ensaios de aderência e atrito, focos do estudo.

Conforme citado anteriormente, os tipos de mistura selecionados, SMA, CPA e BBTM foram escolhidos por apresentarem bom comportamento quanto às características selecionadas para ensaio. Portanto, a busca se concentrou nessas três misturas que, mesmo sendo bem difundidas, são pouco divulgadas quando utilizadas. Com os resultados obtidos e após escolher aqueles que poderiam dar maior assistência aos estudos, restaram os seguintes exemplos:

- SMA:
 - ✓ Corredor Tecnológico – Serveng-Civilsang / SP;
 - ✓ Curva da Onça – Rodovia Anchieta / SP;
 - ✓ Autódromo de Interlagos / SP.

- CPA:
 - ✓ Aeroporto Santos Dumont / RJ;
 - ✓ Rodovia das Cataratas / PR;
 - ✓ SP 340 – Renovias.

- BBTM:
 - ✓ Rodovia Presidente Castello Branco / SP.

3.2.1. Pistas com SMA

Corredor Tecnológico – Serveng-Civilsang / SP

Em Abril de 2002 surgiu a oportunidade de pavimentação de uma via de acesso ao local onde se realizaria uma feira internacional de equipamentos rodoviários em Barueri, Estado de São Paulo, distante aproximadamente 5 km do entroncamento do Rodoanel com a Rodovia Presidente Castello Branco. O local escolhido, uma pedreira, possuía espaço disponível suficiente para a realização do evento, que previa a demonstração real da capacidade de diversos equipamentos.



Foto 1: Placa de Identificação no Corredor Tecnológico.
(fonte: Aps, 2002)

Diante do fato de os acessos ao local serem inadequados, viabilizou-se então a restauração da via de acesso, além da construção de uma terceira faixa para ampliar a largura da pista. Surgiu assim a idéia de incorporar a experiência acadêmica de pesquisadores, no caso do Laboratório de Tecnologia de Pavimentação da Escola Politécnica da USP, para sugerir o tipo de revestimento ao pavimento que se encontrava executado em Concreto Betuminoso Usinado a Quente, obedecendo à faixa granulométrica do Tipo II da Prefeitura Municipal de São Paulo.

Foram escolhidos 5 tipos de revestimentos asfálticos para a camada de rolamento com cerca de 300m de extensão cada, numerados de 1 a 5, sendo o primeiro trecho o acesso à pedreira Barueri e o último imediatamente anterior ao acesso à usina.

Tabela 1: Tipos de revestimento e ligantes utilizados.

Seção	Tipo de Revestimento	Tipo de Ligante
1	CBUQ na Faixa III da PMSP	CAP-20
2	CBUQ na Faixa III da DERSA	CAP-20
3	CBUQ na Faixa IV-B do I.A.	CAP-20
4	CBUQ na Faixa IV-B do I.A.	Modificado por polímero tipo SBS
5	SMA na faixa alemã 11S	Modificado por polímero tipo SBS e fibras de vidro

(fonte: Autores)

Procurou-se não intervir sobre as características operacionais adotadas para execução da obra com intuito de se obter um resultado mais fiel da prática executiva de revestimentos asfálticos atualmente em uso.



Foto 2: Vista Geral do Corredor Tecnológico.
(fonte: Aps, 2002)

O Corredor Tecnológico apresenta uma facilidade importante para análise, que é o conhecimento do tráfego, seja em número como em peso, o que

proporciona uma ferramenta excepcional de comparação entre as soluções de revestimento asfáltico selecionadas.

Curva da Onça – Rodovia Anchieta / SP

A Curva da Onça é um trecho crítico em curva extremamente fechada na Via Anchieta, sentido Capital-Baixada, com tráfego intenso de caminhões carregados para o Porto de Santos, que apresenta alto índice de acidentes rodoviários. Após várias tentativas de revestimento com materiais diferentes e apresentando várias trincas longitudinais, transversais e em bloco, o trecho recebeu a aplicação de um revestimento asfáltico de 3,5 cm de espessura média em SMA com asfalto modificado por polímero tipo SBS.



Foto 3: Obras de pavimentação no trecho da Curva da Onça.
(fonte: <http://www.artesp.sp.gov.br/>)

O produto garantiu maior aderência entre pneu e pavimento, com resistência e durabilidade mesmo sob condições de carga pesada. Foram reduzidas as intervenções de manutenção e provida maior segurança para os usuários. Foi a primeira aplicação dessa tecnologia em uma rodovia no País e o seu desempenho está sendo monitorado pela Ecovias e pela USP.

Autódromo de Interlagos / SP

O SMA foi aplicado na pista do Autódromo José Carlos Pacce, em Interlagos, para o Grande Prêmio Brasil de Fórmula I de 2003, por exigência da FIA - Federação Internacional de Automobilismo. A aplicação objetivou a melhoria da resistência à derrapagem em condições de pista molhada. As caixas de brita do autódromo foram pavimentadas com SMA de composição granulométrica idêntica à da pista com asfalto modificado por polímero tipo SBS, dando maior segurança e competitividade aos participantes da corrida.



Foto 4: Trecho da pista do Autódromo de Interlagos.
(fonte: <http://www.autodromointerlagos.com/>)

3.2.2. Pistas com CPA

Aeroporto Santos Dumont / RJ

No início da década de 90 as empresas aéreas, buscando a melhoria dos serviços aeroportuários, passaram a operar com aeronaves modelo Boeing 737-300, que substituíam antigos modelos turboélice, como o Electra II. Na época, a pista do aeroporto Santos Dumont foi considerada curta para pousos e decolagens dessas novas aeronaves, além de apresentar dois obstáculos nas cabeceiras, o Pão de Açúcar e a ponte Rio-Niterói, o que gerou controvérsias em relação à operação.



Foto 5: Vista aérea do Aeroporto Santos Dumont.
(fonte: <http://www.vitruvius.com.br/forum/fotos>)

Uma das medidas adotadas para viabilizar o funcionamento do aeroporto foi a mudança do revestimento superficial da pista, antes de concreto asfáltico normal para camada porosa de atrito. Proporcionou-se, assim, elevada aderência pneu/pavimento, principalmente em dias de chuva, quando a situação é mais crítica.

Rodovia das Cataratas / PR



Foto 6: Trecho da Rodovia das Cataratas.
(fonte: <http://www.abcr.org.br/>)

A Rodovia das Cataratas recebeu aplicação da camada porosa de atrito com asfalto modificado por polímero tipo SBS, que melhora as condições de segurança em pista molhada. Tal opção foi feita por fornecer melhor benefício

para o usuário, além de prolongar a vida útil do pavimento e reduzir os custos de manutenção.

SP 340 – Renovias



Foto 7: Detalhe - diferença entre um pavimento não-drenante e o CPA.
(fonte: <http://www.renovias.com.br/>)

Nas obras duplicação de um trecho de 34 km na Rodovia SP-340, em 2004, foi utilizada camada porosa de atrito cuja grande vantagem é a eliminação da aquaplanagem e do *spray* provocado pelos veículos nos dias de chuva, tornando a rodovia mais segura devido à capacidade de absorção e eliminação das águas pluviais da pista.

3.2.3. Pistas com BBTM

Rodovia Presidente Castello Branco / SP

A rodovia Presidente Castello Branco é uma rodovia de tráfego intenso, rápido e pesado, com pista dupla e três faixas de tráfego. O BBTM 0/10 foi executado nos trechos entre os quilômetros 13,7 km e 32,8 km, nas duas pistas, e entre os quilômetros 48 km e 79,4 km no sentido São Paulo – Interior. Dentre as principais características de desempenho do BBTM estão a redução da propagação do ruído por vibração e compressão (ambos decorrentes da

macrotextura apresentada por esse tipo de revestimento) e a boa aderência pneu/pavimento em pistas molhadas.



**Foto 8: Revestimento asfáltico BBTM na Rodovia Castello Branco.
(fonte: Autores)**

3.3. Ensaios para avaliação funcional

Este capítulo descreve brevemente os ensaios estudados para avaliação funcional. São eles ensaio para medição de aderência, ruído e irregularidades. (acho que falta mais alguma coisa)

3.3.1. Ensaios para a medição de aderência

A segurança viária, seja de uma rodovia ou de uma pista de pouso aeroportuária, depende de diversos fatores, físicos e humanos, dentre os quais se destaca a questão da aderência pneu-pavimento.

Um estudo realizado por Sabey (1980), onde 2042 ocorrências formaram o espaço amostral, apontou que 28% dos casos analisados possuíam causas parciais ou totais associadas a deficiências nas vias. Essa parcela significativa responsabilizada às vias apenas engrossa a motivação de desenvolver estudos relacionados à aderência.

A idéia de aderência pneu-pavimento está muito associada à questão do atrito, entretanto é de igual importância a análise da textura superficial (ou macrotextura) de um pavimento. Desta forma, estão previstos para o Corredor Tecnológico II ensaios nestes dois âmbitos que caracterizam a aderência de um pavimento: a macrotextura (textura) e a microtextura (atrito).

3.3.1.1. Ensaio de Textura – Mancha de Areia

Para a avaliação de macrotextura, existem diversos ensaios classificados de acordo com Aps (2006) em três categorias:

- Métodos volumétricos;
- Perfilômetros;
- Drenômetros.

Dentre todos os ensaios das três categorias, o que mais se destaca, sendo o único com referência normativa brasileira (DER-MG RT-03.25) e não apenas internacional, é o método volumétrico da “Mancha de Areia”, descrito a seguir. O ensaio de Mancha de Areia busca caracterizar a macrotextura da superfície de um pavimento através da determinação da altura média da profundidade da mancha de areia resultante do ensaio.

Segundo a norma ASTM E 965-96 (2001), o ensaio consiste em, inicialmente, verter sobre a superfície a ser verificada e previamente escovada uma quantidade de $25.000 \text{ mm}^3 \pm 150 \text{ mm}^3$ de areia limpa e seca ou microesferas de vidro passantes na peneira de abertura 0,3 mm e retidas na peneira de abertura 0,15 mm.

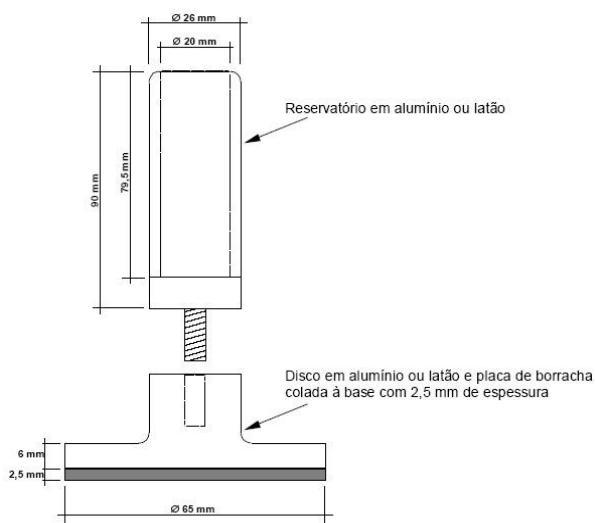


Figura 1: Ilustração esquemática do espalhador de mancha de areia.
(fonte: DER – MG RT-03.25, 2005)

O volume de areia necessário é medido utilizando o recipiente cilíndrico do espalhador (ilustrado na figura 1). O mesmo equipamento, com base cilíndrica, deve ser utilizado para espalhar a areia através de movimentos circulares, preenchendo os vazios da superfície, até a formação de uma mancha com forma aproximadamente circular.

Realizada a mancha de areia, deve ser feita a leitura e registradas quatro medidas de diâmetro igualmente espaçadas da mancha. A média das medições será o valor utilizado para o cálculo da altura média da mancha de areia, segundo a equação abaixo:

$$HS = \frac{4 * V}{\pi * D^2}$$

Onde: HS – altura média da macha de areia;

V – volume de areia (25.000 mm³);

D – diâmetro médio da macha de areia.

A figura 2 ilustra o ensaio realizado em pavimentos com diferentes classificações de macrotextura, segundo o critério adotado pelo DER-MG descrito na tabela 2.

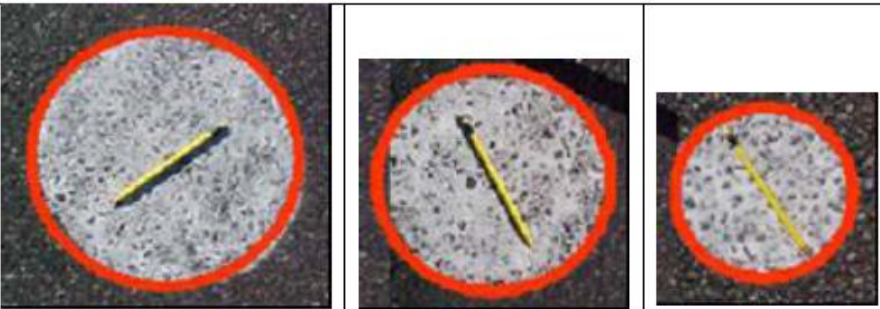
Foto			
	Fina	Média	Grossa
Classificação			
HS (mm)	0,33	0,71	0,85
Dm (cm)	31	21,2	19,3

Figura 2: Comparação de ensaios de Mancha de Areia realizado em diferentes texturas.
(fonte: Aps, 2006)

Tabela 2: Classificação da macrotextura para resultados do ensaio de Mancha de Areia segundo o critério da RT-03.25 do DER-MG:

ALTURA DE AREIA (HS)	TEXTURA SUPERFICIAL
HS < 0,20 mm	Muito fina (muito aberta)
0,20 mm < HS < 0,40 mm	Fina (aberta)
0,40 mm < HS < 0,80 mm	Média
0,80 mm < HS < 1,20 mm	Grossa (aberta)
HS > 1,20 mm	Muito grossa (muito aberta)

(fonte: DER- MG RT-03.25, 2005)

3.3.1.2. Ensaio de atrito – Pêndulo Britânico

O método de ensaio do pêndulo britânico tem como objetivo medir as propriedades de aderência superficial e verificar, em alguns casos, a variação de processos de polimento de materiais ou até mesmo tipos de materiais diferentes.

O teste consiste em um pêndulo dinâmico que é capaz de medir a perda de energia quando um deslizador de borracha, preso ao pêndulo, desliza sobre a superfície de teste. Esse teste pode ser realizado tanto em laboratório quanto em campo e nas duas normas consultadas, norte-americana e britânica (respectivamente ASTM E 303:1993(96) e BS EM 14231:2003), é citado que os valores obtidos pelo teste podem não corresponder aos valores obtidos por métodos de ensaio diferentes.

As especificações do aparelho a ser utilizado no teste também são muito similares nas duas normas revisadas e devem atender a certos padrões de medidas, pesos e substituições de materiais pré-determinados.



Foto 9: Aparato para ensaio de Pêndulo Britânico.
(fonte: ASTM E301-93:1996)

Norma norte-americana - ASTM E 303:1993(96)

A norma faz referência a outra norma da ASTM, a “ASTM E 501 – *Specification Standard Rib Tire for Pavement Skid Resistance Tests*”. Segundo ela, o teste em campo deve ser realizado com a superfície livre de partículas e independe da inclinação da superfície, uma vez que o instrumento pode ser ajustado para atender aos padrões normativos. Em relação aos testes feitos em laboratório, a norma descreve que a superfície de teste deve ser rigidamente fixada para que não haja o perigo de escorregamento com o deslizamento do pêndulo. Também menciona que tal superfície deve ter dimensões mínimas de 89 mm por 152 mm.

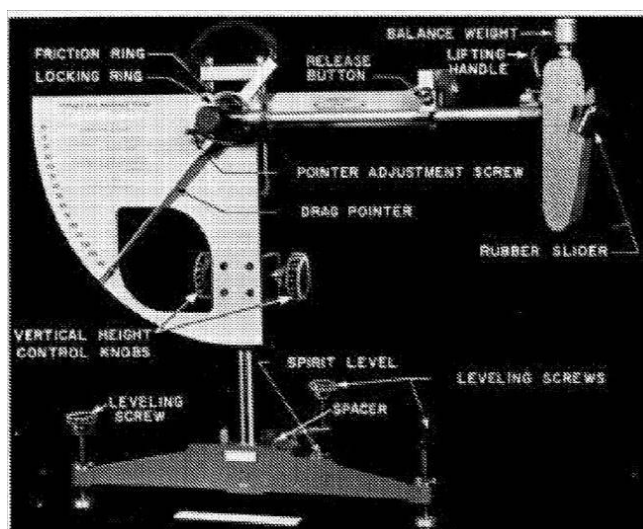


Foto 10: Foto esquemática do equipamento do Pêndulo Britânico.
(fonte: ASTM E301-93:1996)

Em relação à preparação do teste são necessárias medidas precisas de ajuste do nivelamento do instrumento (pelos parafusos de ajuste), da determinação precisa do “zero” e do comprimento do braço do pêndulo.

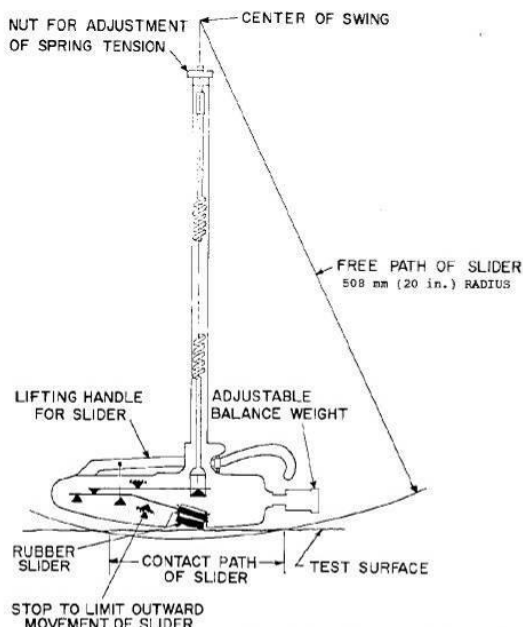


Foto 11: Desenho esquemático do pêndulo ilustrando o arranjo da alavanca.
(fonte: ASTM E301-93:1996)

O procedimento consiste na aplicação de água na superfície a ser testada e na execução do teste uma primeira vez sem o registro do resultado. Após isso, deve-se executar o teste (liberação do pêndulo) por mais quatro vezes anotando os resultados obtidos em cada uma delas. Os valores registrados devem ser os seguintes:

- BPN (*British Pendulum Number*);
- Temperatura da superfície testada;
- Tipo, idade, condições, textura e localização da superfície de teste (caso do teste ser realizado em campo);
- Tempo e idade da borracha utilizada como deslizador.

A norma norte-americana menciona que o desvio-padrão é mais representativo do que a resistência média de arraste, já que não existe correlação notável entre o desvio-padrão e a média aritmética dos valores obtidos em cada teste executado. Além disso, os números obtidos pelo Teste do Pêndulo Britânico

podem não corresponder a valores obtidos em outros tipos de ensaios de aderência, de maneira que o estudo da resistência de arraste não pode ser realizado a partir de comparações entre o Teste do Pêndulo Britânico e outros ensaios.

Norma Britânica (BS EM 14231: 2003)

As referências citadas pela norma britânica são as normas ISO: ISO 48, ISO 4662 e ISO 7619. Todas essas normas correspondem a estudos relacionados à borracha.

De maneira muito similar à norma norte-americana, a norma européia diz que o propósito do Teste do Pêndulo Britânico é o de se medir a força de atrito que é gerada ao se escorregar o deslizador de borracha sobre a superfície de teste utilizando o princípio da perda de energia que ocorre com esse escorregamento.

A norma britânica descreve alguns conceitos de resistência de escorregamento, atrito e “valor de resistência de escorregamento” (*slip resistance value – SRV*). Além disso, o aparato é especificado em detalhes, sendo que suas medidas e outras recomendações são extremamente parecidas com as da ASTM E301-93. Entretanto, pela BS EM 14231, o pêndulo deve ser solto sempre da horizontal.

Em comparação à norma norte-americana, a norma européia se revela mais detalhista em relação às condições exigidas para se executar o ensaio, tanto em relação às características do instrumento quanto às condições da superfície a ser testada.

Para a BS EM 14231, a resiliência inicial e a dureza da borracha deslizador devem ser compatíveis à seguinte tabela:

Tabela 3: Características da borracha para ensaio do Pêndulo Britânico.

Resiliência (%) ¹	66 a 73
Dureza (IRHD) ²	53 a 65

Teste de restituição Lüpke – ISO 4662

²International Rubber Hardness Degrees – ISO 48

Caso o IRHD não esteja de acordo com a ISO 7619 para atender às condições da tabela 3, deve-se substituir a borracha. Além disso, existem diversas recomendações com relação ao armazenamento da borracha:

- Faixa de temperatura - entre 5°C e 20°C;
- Iluminação – escuro.

Há instruções específicas para a realização do teste tanto em condições secas quanto em condições molhadas - a água deve ser destilada a temperatura de $20 \pm 5^\circ \text{C}$.

São registradas as médias a cada cinco balanços para ambas as direções tanto para ensaios secos quanto molhados. O “valor de resistência a seco” (*slip resistance in dry condition – SRV dry*) corresponde ao valor médio obtido em seis amostras testadas a seco. De maneira análoga, o “valor de resistência no molhado” (*slip resistance in wet condition – SRV wet*) também corresponde ao valor médio obtido em seis amostras testadas em condições molhadas. Existem diferenças em relação à largura do deslizador, sendo que os valores a serem anotados durante o teste variam de acordo com isso. Evidentemente, tais alterações são bem especificadas pela própria norma.

Para testes realizados diretamente no solo, deve-se utilizar um gráfico fornecido pela própria norma para correção dos valores medidos da temperatura.

Nessa mesma norma há um procedimento a ser realizado em relação ao relatório do ensaio que detalha os dados a serem incluídos, inclusive os desvios e outros dados relevantes.

Referência nacional – DNIT (Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes)

Apesar de utilizarem nomenclaturas diferentes, BPN e SRV, ambas prescrevem ao mesmo resultado que indica a perda de energia cinemática devido à fricção entre a sapata de borracha do pêndulo e a superfície ensaiada. No Brasil, o DNIT adotou a terminologia VRD, Valor de Resistência à Derrapagem, equivalente ao valor de ensaio de derrapagem de um pneumático padrão a 48 km/h em um pavimento (DNIT, 2006).

Os valores classificados pelo Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos do DNIT (2006) estão indicados na tabela 4, sendo sugerida a classificação medianamente rugosa a rugosa para pavimentos asfálticos, equivalente ao $VRD \geq 55$.

Tabela 4: Classificação dos resultados de VRD segundo o DNIT.

Classes	VRD (Valor de Resistência à Derrapagem)
1 – Perigosa	< 25
2 – Muito Lisa	25 a 31
3 – Lisa	32 a 39
4 – Insuficientemente Rugosa	40 a 46
5 – Medianamente Rugosa	47 a 54
6 – Rugosa	55 a 75
7 – Muito Rugosa	> 75

(fonte:

http://www1.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/manuais/Manual_de_Restauracao.pdf)

3.3.1.3. Mu-Meter

O Mu-Meter é um equipamento de medição dinâmica de atrito, rebocável e utilizado para avaliação de aderência em superfícies secas e molhadas. O equipamento é bastante utilizado no Brasil, sendo referência para o Comando da Aeronáutica, o qual estabelece o valor de atrito mínimo de 0,50 na IAC-4302 – Requisitos de Resistência à Derrapagem para Pistas de Pouso e Decolagem (2000).

O aparato é rebocado por um veículo equipado com tanques cheios d'água que alimentam o sistema espargidor do Mu-Meter, que produz uma lâmina d'água de 1 mm de espessura para o caso de ensaios que simulam o pavimento em condição molhada. A obtenção de dados é feita através de um computador instalado no interior do veículo.

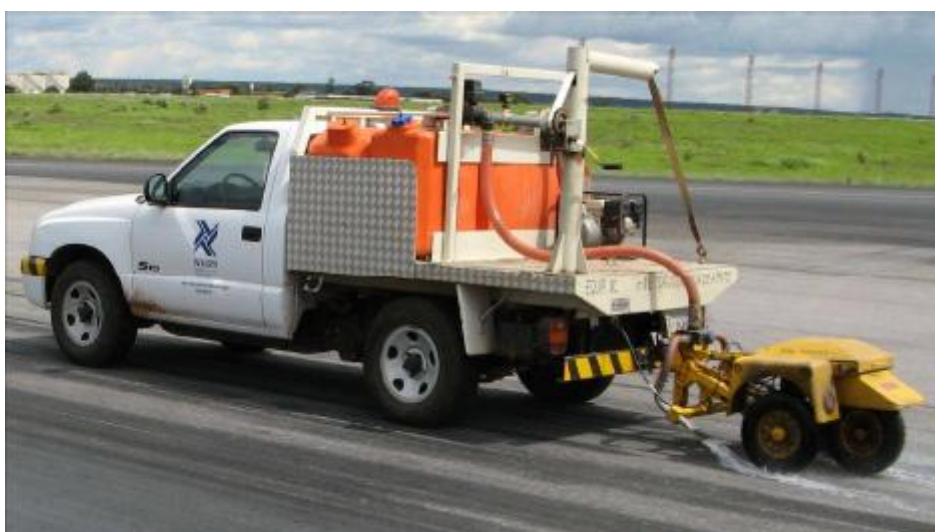


Foto 12: Equipamento Mu-Meter da INFRAERO em uso
(fonte: SILVA, 2007)

O Mu-Meter possui três rodas laterais, duas instaladas em braços móveis e ajustadas de modo a formar um ângulo de deslizamento lateral de $7^{\circ} 30'$, que medem o coeficiente de atrito através das forças laterais resultantes do deslizamento das rodas. A terceira roda, mais centralizada, é utilizada para a medição da distância percorrida.

Recomenda-se, antes da execução de ensaios, realizar a calibração do equipamento, utilizando uma placa padrão com coeficiente de atrito conhecido e de valor igual a 0,77 (foto 13) e pneus frios já calibrados para a pressão de ensaio (foto 14).



Foto 13: Averiguação em placa
(fonte: RODRIGUES FILHO, 2006)



Foto 14: Calibração dos pneus
(fonte: RODRIGUES FILHO, 2006)

O ensaio pode ser realizado sob diferentes condições, a configuração mais usual e pré-estabelecida como referência no Brasil define que os pneus devem estar calibrados com uma pressão de 70 kPa (10 lib/pol²) para uma velocidade a ser desenvolvida pelo equipamento durante a medição de 65 km/h.

A seguir, os detalhes do computador de bordo e do sistema espargidor de água.



Foto 15: Computador de coleta de dados
(fonte: RODRIGUES FILHO, 2006)



Foto 16: Sistema espargidor de água
(fonte: RODRIGUES FILHO, 2006)

3.3.1.4. Drenômetro

O ensaio de drenabilidade permite caracterizar a textura do revestimento avaliando a capacidade de escoamento superficial da água, através dos canais

formados pela rugosidade do revestimento asfáltico. Para esse ensaio, são utilizados drenômetro, cronômetro e um tanque com água.

O aparato básico do drenômetro consiste em um cilindro de acrílico transparente, com duas linhas que delimitam um volume pré-estabelecido (aproximadamente 700 ml). No fundo do cilindro existe um orifício, de dimensões conhecidas, por onde se dá o escoamento da água. Este orifício é vedado por uma rolha móvel, tornando viável o controle do início do ensaio.

O fundo é revestido por um anel de borracha, para aderir ao pavimento e permitir que a água escoe apenas pelos canais da superfície do pavimento. O drenômetro ainda possui um peso padronizado, composto por cilindros de chumbo, que garantem a aderência da lâmina de borracha de fundo com a superfície do pavimento.



Foto 17: Drenômetro manual
(fonte: Autores)



Foto 18: Drenômetro eletrônico
(fonte: Ribeiro, 2008)

O ensaio em si é bastante simples, após saturar a superfície do pavimento, molhando-o por aproximadamente 1 minuto, retira-se a rolha e registra-se o tempo necessário para o escoamento do volume delimitado pelas duas marcas. Esse procedimento pode ser dado de forma manual ou eletrônica, através de

drenômetros equipados com cronômetro digital acionado por eletrodos posicionados no cilindro e pela passagem do menisco.

O resultado pode ser expresso em segundos ou pela vazão do escoamento, neste caso, divide-se o valor de 0,7 L pelo tempo registrado no ensaio. Quanto mais rugosa é a superfície do pavimento, mais rapidamente se dará o ensaio, ao passo que quanto mais liso é o pavimento, maior o tempo de escoamento.

A sequência de ensaio está ilustrada nas figuras abaixo:



Foto 19: Superfície a ser ensaiada molhada até saturação



Foto 20: Preparo e posicionamento do drenômetro



Foto 21: Remoção da rolha de fundo do tempo de escoamento

(fonte: MATOS, 2004)

3.3.2. Ensaio de medição de ruído

O ruído causado pelo tráfego em vias tem se tornado, atualmente, um grande problema ambiental. Sabe-se, no entanto, que por volta de dois mil anos atrás o tráfego das carruagens romanas sobre pavimentos descontínuos já causava grande aborrecimento. Este fato pode ter sido o primeiro a mostrar que o contato pneu/pavimento gerava incômodo. Mesmo com a invenção do pneu de borracha inflável em 1888 pelo irlandês J.B. Dunlop, o problema do ruído permanecia em foco principalmente nos centros urbanos. Uma das medidas adotadas para redução de ruído foi a substituição dos blocos de rochas por

blocos de madeira, estes com superfície mais homogênea e suave. Ainda hoje podem ser vistos nas ruas de Havana, Cuba, pavimentos com blocos de madeira.

O problema do ruído vem sendo estudado desde o início dos anos 30, quando professores da Universidade de Cracóvia, na Polônia, conduziram experimentos de medição de tráfego e de ruído dos veículos. Um dos processos utilizados consistia em um operador escutar o barulho da fonte com um dos ouvidos e, com o outro, através de um fone de ouvido que fazia parte do equipamento, escutar um som com intensidade controlada por um potenciômetro e procurar equalizar essas intensidades, medidas em “*phons*”.

Desde então, foi possível constatar que o ruído é um fator de considerável importância quando se trata de segurança viária e conforto do usuário, além de ser um indicador que, de certo modo, incentiva a manutenção da camada de rolamento da malha viária, sendo seu estudo necessário.

Os métodos de medição de ruído pesquisados procuram, através de diferentes abordagens, estudar a influência da superfície do pavimento na geração de ruído. A medição é feita a partir de microfones posicionados tanto no interior do veículo, quanto próximo ao pneu e na própria pista percorrida durante o ensaio.

3.3.2.1. Método *Coast-By* (CB)

O método *Coast-By*, um dos mais representativos atualmente, é baseado no Método SPB. A diferença é a condição de direção: no método CB, o veículo aproxima-se da área de teste, o motor é desligado e coloca-se no ponto morto, antes que o veículo alcance a área de medição (figura 3). O ruído do motor não deve existir na linha AA'. Ao longo da área de medição (entre as linhas AA' e BB'), o veículo é movido apenas pela inércia e assim assume-se que o ruído emitido, cuja medição é feita por microfones posicionados ao lado da trajetória do veículo, é produzido apenas pelo contato pneu/pista.

3.3.2.2. Método Close Proximity (CPX)

Antes chamado de *Trailer Method*, consiste em teste de rolamento de pneu em uma rodovia ou pista teste com microfones localizados perto da interface pneu/pista.

É utilizado um veículo-teste especial, que pode ser tanto um veículo com motor próprio como um trailer para puxar o veículo teste. A maioria dos *trailers* tem um envoltório ao redor do microfone e do pneu a fim de bloquear sons de vento e de tráfego.

O teste é realizado com a intenção de determinar o ruído pneu/pista em uma ou mais velocidades de referência (80 km/h e 110 km/h). Se o teste não puder ser feito para uma das velocidades, testa-se em uma determinada faixa de velocidades e depois se faz uso de normalizações adequadas para tal desvio de velocidade

Para cada pneu-referência e para cada “passada” com esse pneu, o nível médio de ruído para pequenas distâncias (trechos de 20 m cada) é medido e a velocidade correspondente também é gravada.

Os dados são coletados por pelo menos dois microfones, localizados perto do pneu (figura 4).

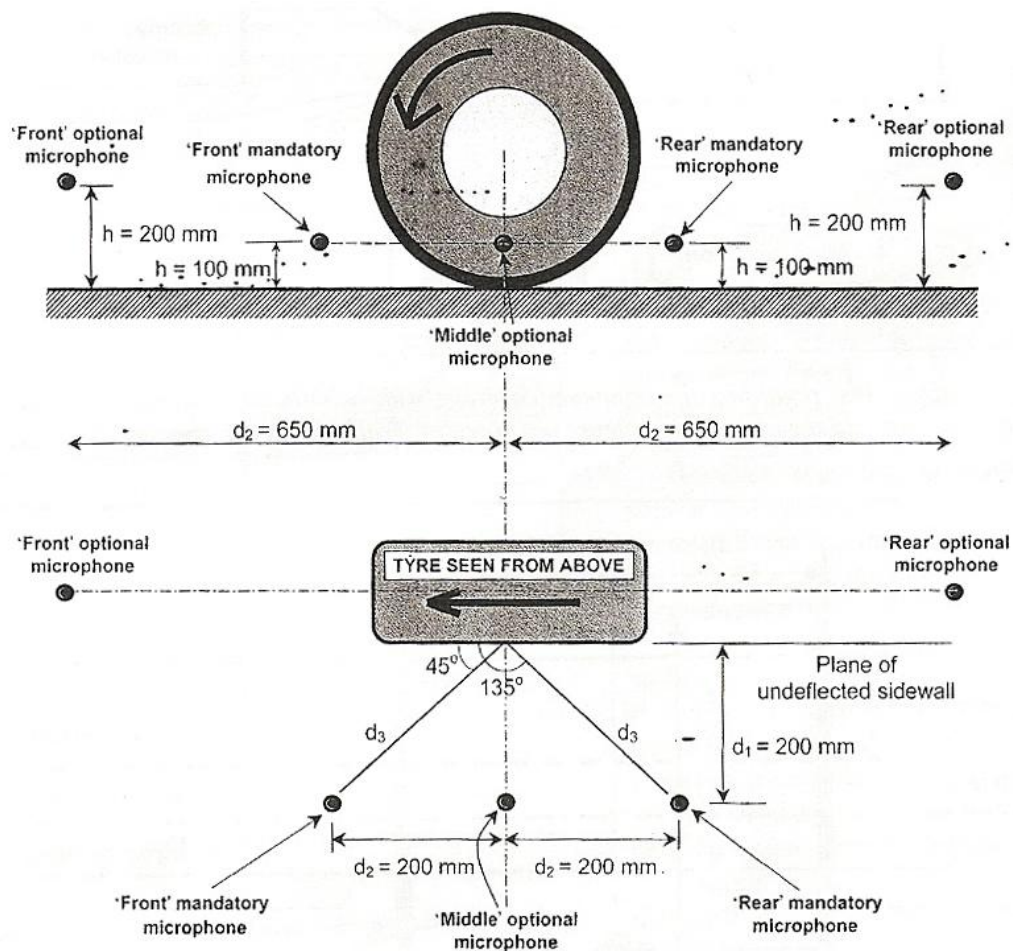


Figura 4: Posicionamento de microfones para CPX.
(fonte: ISO 10844:1994)

Esse método pode ser utilizado de duas formas, dependendo do número de pneus-referência e do objetivo da medição

O método investigatório é o principal e baseado em quatro pneus referência, por isso mais preciso e demorado. Outro método é o de sobrevivência que usa dois pneus-referência, mais indicado para maiores distâncias.

Vantagens:

- Medições são rápidas e curtas e podem ser realizadas com um considerável tráfego na mesma pista;
- Rodovias grandes podem ser estudadas sem muitas interrupções;
- Um grande número de pneus pode ser testado em um intervalo pequeno e tempo;

- Uma vez que o equipamento esteja disponível o teste é rápido e eficiente;
- Pode-se testar diferentes tipos de pneus ao mesmo tempo;
- Se o envoltório for utilizado, os requisitos relativos ao ruído de fundo estão resolvidos.

Desvantagens:

- Equipamento de custo alto;
- Por razões econômicas e práticas, esse método não é executado com veículos pesados;
- Requer alguns testes a mais que outros métodos;
- É menos sensível ao ruído de outros tráfegos.

3.3.2.3. Medição de ruído no interior de veículos

Os objetivos principais do ensaio descrito pela norma ISO 5128:1980 são:

- Decidir se o ruído no interior do veículo está de acordo com padrões pré-estabelecidos;
- Prever se há risco de danos auditivos por exposição ao som;
- Orientar novas pesquisas no campo do estudo do ruído.

Os testes previstos pela norma subdividem-se em testes de verificação (comprovar adequação do veículo padrão) e de monitoramento (checar se ruído no interior do veículo é compatível com aquele previsto pelo fabricante).

- Para os testes de verificação devem ser tomadas no mínimo duas medidas em cada microfone e para cada condição de operação;
- Para testes de monitoração, é suficiente realizar uma medida por condição desejada por microfone.

As medições, em decibéis e em uma faixa de frequência específica, devem ser realizadas sempre com o veículo em movimento e de diversos pontos de posicionamento do microfone.

Os medidores sonoros devem estar de acordo com a especificação IEC 651 (Parte 1).

De modo a garantir que o ruído captado internamente ao veículo seja oriundo exclusivamente do próprio e de sua interação com o pavimento, é necessário que a área de teste seja isenta de grandes construções e outras perturbações que possam afetar os resultados. Portanto, é definido que a distância entre o veículo e grandes obstáculos seja no mínimo de 20 metros (limitante para concepção). A norma também explicita:

- Faixa de temperatura de -5°C até 35°C;
- Velocidade do vento a altura 1,2m não superior a 5m/s.

O ruído interno ao veículo é fortemente influenciado pela superfície do pavimento. Por conta disso, as condições da última devem estar isentas de fissuras e ondulações, apresentando-se limpa e seca.

O veículo deve estar descarregado, de acordo com a ISO 1176.

As condições operacionais devem ser compatíveis com o que se deseja medir:

- Velocidade estável: entre 60 – 120 km/h;
- Torque máximo.

No caso da velocidade estável, os valores de ruído devem ser determinados pelo menos cinco vezes (espaçadas equitativamente em tempo) em cinco velocidades diferentes dentro da faixa estipulada.

O ruído dentro de um veículo pode variar consideravelmente de acordo com a posição. Por isso, deve-se instalar microfones em diversos pontos de interesse.

Em veículos de passeio, microfones na posição do motorista e na traseira do veículo são suficientes para medições. Devem ser instalados a no mínimo 15 cm do estofado e de forma a não sofrerem interferência da vibração do carro. As posições específicas dos microfones em relação aos assentos são exemplificadas na figura 5.

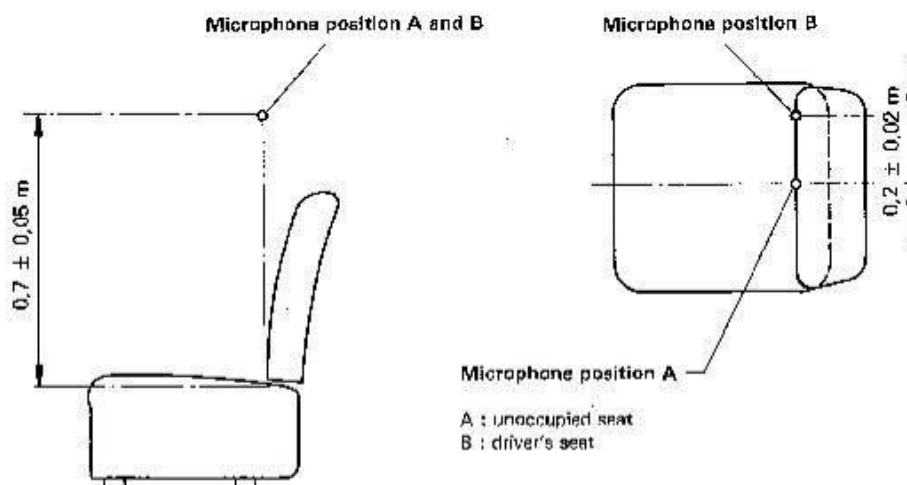


Figura 5: Posição do microfone.
(fonte: ISO 5128:1980)

Para a avaliação do procedimento no caso do teste de velocidade estável, deve-se elaborar uma regressão linear do nível de pressão sonora em função da velocidade do veículo.

Para fins de documentação, a norma também especifica um roteiro para elaboração de relatório final do ensaio.

3.3.3. Ensaios de medição de irregularidade

A serventia de um pavimento é um parâmetro que avalia as condições superficiais, de modo a permitir sua aceitação ou recomendar sua manutenção corretiva. Para que a camada de rolamento seja aceitável do ponto de vista da serventia, é necessário que ela ofereça condições de trafegabilidade seguras e confortáveis, tanto do ponto de vista subjetivo (opinião do usuário, abordada no decorrer do trabalho) quanto do objetivo, na forma de levantamentos de irregularidades para posterior análise.

Por meio do levantamento das irregularidades e do seu acompanhamento ao longo do tempo, é possível definir o ciclo de vida do pavimento e assim melhor planejar sua execução e manutenção. Os ensaios usados para a obtenção de tais dados são abordados a seguir.

3.3.3.1. Método Nível-e-Mira

O método do nível e mira é utilizado para levantamentos topográficos e permite determinar com precisão as diferenças de nível entre dois pontos no terreno estudado. No nivelamento geométrico em questão, as diferenças de nível são determinadas com instrumentos onde se visualiza a reta que intercepta a mira visada. As diferenças entre valores encontrados correspondem às diferenças de nível.

Sua aplicação a superfícies de pavimentos se dá principalmente quando se faz necessária a calibração de equipamentos medidores de irregularidade tipo resposta. A norma DNER-ES173-86 – Método de nível e mira para calibração de sistemas medidores de irregularidade tipo resposta – define o procedimento para levantamento de irregularidades em pavimentos utilizando o método de nível e mira com esse propósito.

O nivelamento deve ser realizado por uma equipe que consiste de dois topógrafos, um porta-mira e um anotador de leituras.



Foto 22: Processo de medição de nível e mira
(fonte: www.cnpab.embrapa.br/publicacoes)

A aparelhagem necessária para a correta execução do procedimento é:

- Nível ótico, com luneta de focalização interna e traços estadimétricos, com precisão de 1,5 mm/km;
- Mira para nivelamento, comprimento entre 2m e 4m, falante, com nível de bolhas, graduada em divisões de, pelo menos, meio centímetro, permitindo a leitura em milímetros, por interpolação;
- Trena de 50m, graduada em centímetros.

A identificação das trilhas de roda é o primeiro passo para a execução do procedimento e depende da largura da faixa de tráfego em estudo. O quadro abaixo apresenta os valores envolvidos.

Tabela 5: Largura de faixa de tráfego

Largura da faixa de tráfego (m)	Distância da borda (m)	
	Alinhamento externo	Alinhamento interno
2,70	0,45	1,85
3,00	0,60	2,00
3,30	0,75	2,15
3,50	0,90	2,30

(Fonte: DNER-ES173-86)

Caso se verifique a existência de trilhas de roda externas definidas pelo tráfego, deverão ser utilizadas em detrimento dos valores apresentados acima. O estaqueamento é feito sobre as trilhas de roda interna e externa a cada 5,0m, para estacas de número inteiro, e a cada 0,5m para estacas intermediárias. O nivelamento é feito posicionando-se o nível sobre a estaca inteira e a mira iterativamente sobre as estacas intermediárias, até a distância de 4,5m.

3.3.3.2. MERLIN

O MERLIN (Machine for Evaluating Roughness using Low-cost Instruments) é um instrumento desenvolvido com o propósito de permitir que países em desenvolvimento tivessem uma forma menos onerosa para avaliar a funcionalidade de suas rodovias quanto à irregularidade de seus pavimentos.

O equipamento utilizado para o ensaio é formado por uma estrutura de metal, onde uma roda de bicicleta é fixada na parte dianteira. Dois pegadores e um apoio de metal são colocados na parte traseira, a 1,8 m do eixo da roda de bicicleta, proporcionando condições de transporte e estabilização do instrumento. Entre a roda e os pegadores, na metade do vão, é colocada uma sonda, fixada a um braço metálico móvel, que realizará as medições dos desvios y do pavimento.

O desvio y é definido pela distância entre o ponto onde a sonda encosta no pavimento a uma linha imaginária que liga o ponto de apoio da roda na superfície e o pé de apoio na outra extremidade.

No outro extremo do braço metálico é colocado um ponteiro que marca essas medidas em um gráfico quadriculado com uma escala 10 vezes maior do que o que realmente é medido pela agulha. As figuras seguintes ilustram como é esse equipamento e como ele deve ser posicionado para se realizar o ensaio.

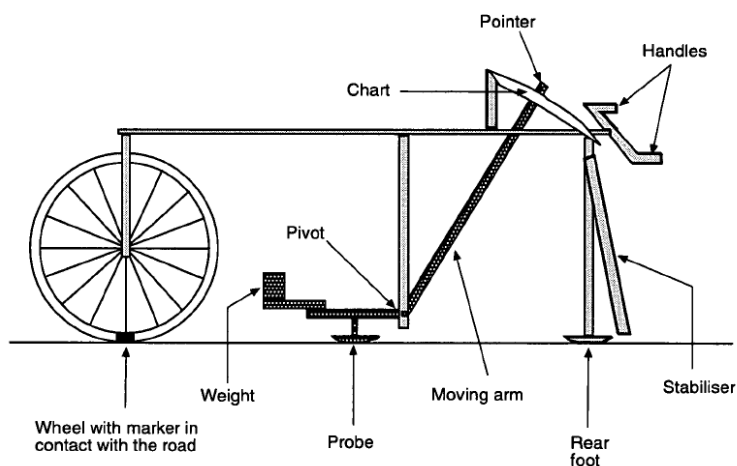


Figura 6: Equipamento para realização do ensaio
(fonte: TRL Report 229, 1996)

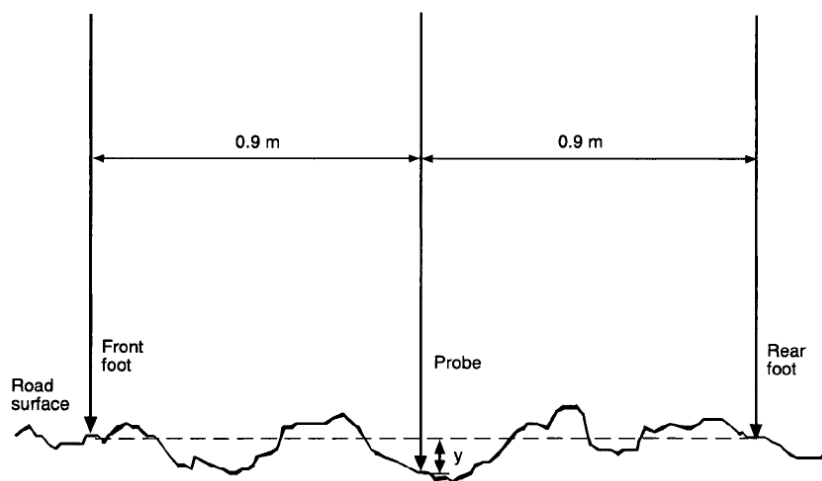


Figura 7: Posicionamento do equipamento para realização do ensaio
(fonte: TRL Report 229, 1996)

O ensaio com o MERLIN deve conter 200 medições consecutivas e espaçadas uniformemente. O espaçamento entre as medições corresponde a uma volta completa da roda dianteira. No caso de uma roda de 26", isso significa aproximadamente 450 m para a realização do teste.

Segundo recomendação da norma, o comprimento dos trechos de pavimento para teste deve ser de no mínimo 200 m.

Para se obter maior precisão quanto à posição de parada do equipamento, existe uma marca na roda de bicicleta. Essa marca deve estar o mais próximo

possível do pavimento ao posicionar o equipamento. Essa conformação é chamada “posição normal” para medição.

Após a colocação do equipamento em sua posição normal, deve-se proceder com o ensaio, permitindo o contato da sonda com o pavimento e observando a indicação do ponteiro na prancheta. Marca-se um X no quadrado do gráfico correspondente e anota-se também um X em outra tabela para contagem das medições. A figura abaixo mostra o preenchimento dessas tabelas.

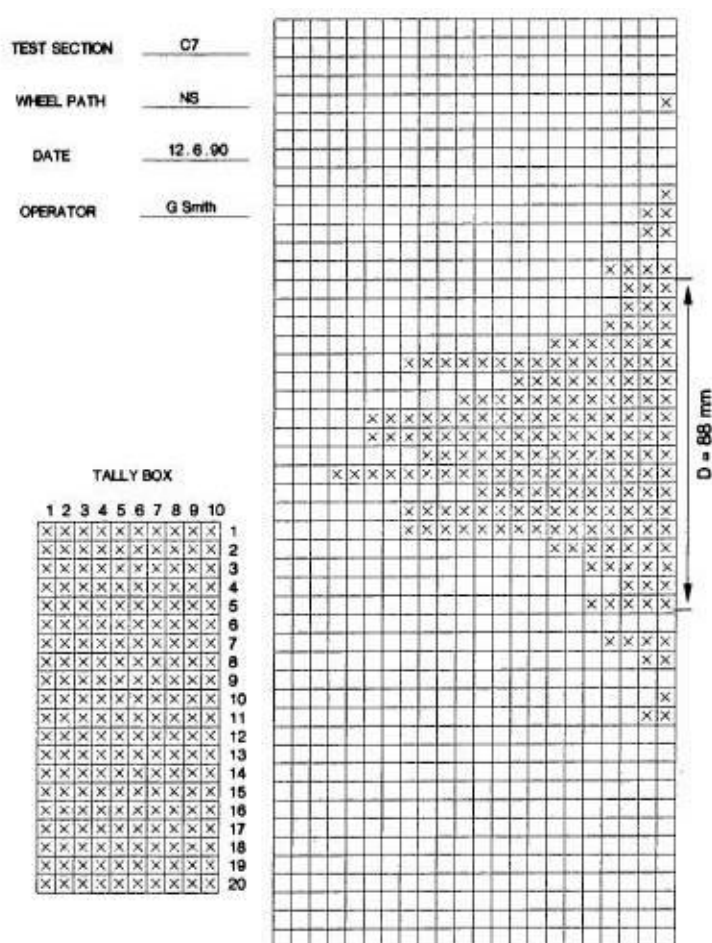


Figura 8: Tabelas para contagem de medições
(fonte: TRL Report 229, 1996)

Após a conclusão de 200 medições, o gráfico de papel deve ser retirado da prancheta e o parâmetro medido D (mm) deve ser convertido para a escala IRI (International Routhness Index) em m/km através da seguinte equação: $IRI = 0.593 + 0.0471 D$, com $2.4 < IRI < 15.9$.

Além de ser um teste de fácil execução e com boa precisão, o MERLIN pode ser utilizado para calibração de outros equipamentos medidores de irregularidade, sendo, portanto, um ótimo parâmetro para se avaliar a funcionalidade dos pavimentos quanto à irregularidade.

3.3.3.3. Perfilômetro

Trata-se de um sistema de medição do perfil longitudinal de um pavimento rodoviário, realizado com o auxílio de medidores de distância sem contato (a laser), de aceleração vertical do veículo (acelerômetros) e de um sistema preciso de medição de deslocamento/velocidade. Tudo gerenciado por um sistema microprocessado que coordena a aquisição dos dados e os envia a um computador portátil, em tempo real, através de uma porta do tipo USB.

O sistema é capaz de realizar as medições no período noturno à frequência de aproximadamente 1700 medidas por segundo, em cada um dos sensores (trabalhando com 5 módulos laser e 2 acelerômetros). A velocidade de deslocamento do veículo pode variar durante as medições e não tem um limite superior, o que permite – de acordo com as condições de segurança – que o levantamento seja realizado a 120 km/h, por exemplo. Recomenda-se, entretanto, que os levantamentos sejam realizados a velocidades superiores a 30 km/h.

Os medidores de distância a laser funcionam por triangulação, ou seja, um feixe laser de média potência é apontado perpendicularmente ao pavimento e tem sua posição registrada por um sensor especial, para o qual o reflexo do laser no pavimento é direcionado. Na figura seguinte é possível se entender o funcionamento deste tipo de medidor. Os pontos 1, 2 e 3 representam distâncias possíveis do veículo até o pavimento e sua representação no sensor especial.

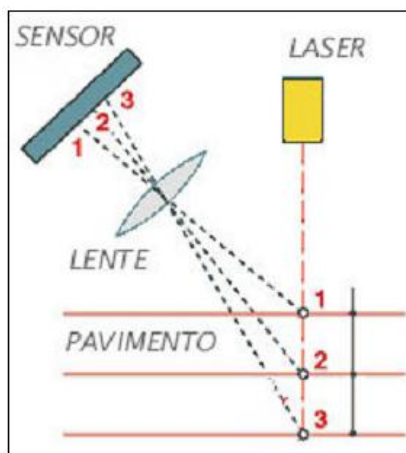


Figura 9: Esquema de transmissão de dados
 (fonte: www.cibermetrica.com.br/index.html)

Cada um dos medidores de distância laser tem internamente um sistema eletrônico microcontrolado, que gerencia a execução e a transmissão dos dados de cada medida de acordo com as solicitações do sistema gerenciador. O curso útil de cada sensor é de 200 mm e a sensibilidade das medidas é de 0,2 mm.

Os sensores de aceleração vertical ficam instalados dentro de dois dos módulos laser e são responsáveis pelo registro da aceleração vertical do veículo, realizado na mesma frequência com que se realizam as medições de distância. Essa informação, depois de processada, permitirá conhecer a posição relativa do veículo ao longo de todo o levantamento, o que permite a correção das medidas de todos os sensores, que é o perfil entregue pelo equipamento.

O sistema de medição do deslocamento do veículo é composto por um sensor acoplado à roda, que gera 1200 pulsos por rotação, permitindo o acompanhamento preciso do deslocamento e, conseqüentemente, da velocidade.

O sistema gerenciador é o sistema eletrônico microcontrolado ao qual todos os sensores (laser, aceleração e deslocamento) são conectados. Esse sistema controla a requisição/recebimento das informações a cada um dos sensores e consolida tais informações para o envio ao computador.

O Perfilômetro Laser foi desenvolvido para ser instalado em diferentes tipos de veículos, podendo ser transportado sem maiores dificuldades e montado no local da execução dos trabalhos, utilizando como pontos de fixação na parte traseira do veículo, os locais onde normalmente são aparafusados os engates para reboque.



Foto 23: Fixação de equipamento em veículos
(fonte: www.cibermetrica.com.br/index.html)

Os primeiros passos para a instalação do equipamento no veículo de passeio que será destinado à realização das medições são: a fixação dos suportes traseiro e do sistema de medição de distância em uma das rodas traseiras, e a conexão de um cabo para a alimentação do sistema à bateria do veículo.

Com a montagem básica descrita acima, o técnico de campo acompanhado de um motorista deve se dirigir ao trecho a ser levantado para então finalizar a montagem do equipamento. É neste momento que deve ser fixada ao veículo a viga que servirá de suporte aos sensores e que pode ser montada em um comprimento adequado às medidas pretendidas, que varia de 200 a 300 cm.

Com a viga posicionada, devem ser posicionados e fixados os módulos Laser em número e em posições que respeitem as características da via e das informações que se pretende extrair. Em seguida deve ser fixado o sensor de

deslocamento no suporte da roda e por fim devem ser conectados os cabos no sistema de gerenciamento.

O sistema é ligado e seu funcionamento é verificado através do computador. Estando todas as partes operando sem erros, é realizada a “zeragem” dos sensores em relação a um plano imaginário nivelado, com o auxílio de um dispositivo especial e dessa forma o equipamento está pronto para a realização das medições.

A operação do equipamento deve ser feita no período noturno em dias sem chuva, por um operador técnico e um motorista, opcionalmente auxiliados por 1 ou 2 veículos batedores, dependendo do comprimento da viga de suporte aos sensores requerido para o serviço. Para a barra montada com o comprimento máximo (300 cm) é recomendada a presença de 2 veículos batedores, um à frente e outro atrás do veículo de medição.

A calibração do sensor de deslocamento é feita concomitantemente ao levantamento, mediante a inclusão da localização de algumas das placas quilométricas e/ou de alguns marcos com distância conhecida. Esta metodologia apresenta uma vantagem muito grande à utilização de odômetros tradicionais, uma vez que desta maneira é muito mais fácil localizar posteriormente os trechos medidos em campo, permitindo intervenções mais pontuais.

Durante o levantamento, além de o operador técnico poder visualizar as medições dos sensores em tempo real, ele também pode registrar no sistema todas as observações que julgar pertinente, tais como: uma ultrapassagem, a passagem por obras de arte, ou outras ocorrências que possam alterar os perfis e conseqüentemente os valores de Irregularidade em relação àqueles calculados para trechos anteriores e posteriores.

Finalizada a coleta de dados de campo, os arquivos com os registros devem ser processados por algoritmos específicos para que, levando-se em conta os dados da aceleração, possam ser obtidos os perfis levantados por cada um dos módulos.

Determinados os perfis, tais dados são novamente processados para que se determine o QI (quociente de irregularidade) e os afundamentos plásticos em uma ou nas duas trilhas de roda, conforme o caso.

Em relação a outros métodos, o perfilômetro apresenta as seguintes vantagens nos casos abaixo:

a) Na Medida de Irregularidade

- É um sistema de medida primário que mede o perfil do pavimento (similar à medida com nível e mira para os comprimentos de onda que interessam para o cálculo de índices de irregularidade). A irregularidade é calculada posteriormente, usando-se a equação com a qual se calcula a irregularidade de um trecho medido com nível e mira.
- As medições não são afetadas pela velocidade do veículo, que pode variar durante a medição, entretanto não são recomendadas velocidades inferiores a 30 km/h.
- As medidas independem de trechos de calibração. O que é calibrado num perfilômetro laser são os sensores laser e os acelerômetros, sendo que tal calibração pode ser facilmente checada antes do início de cada levantamento.
- As medidas de irregularidade podem ser feitas sobre as trilhas de roda, o que normalmente não acontece em um medidor tipo resposta, que está atrelado a um eixo de veículo de passeio.
- O sistema gera medidas de irregularidade independentes em cada uma das trilhas de roda.
- O registro do perfil do pavimento é útil na determinação dos locais, dentro de cada trecho, nos quais se encontram as deformações causadoras de irregularidades, permitindo correções mais pontuais.
- A localização posterior dos trechos levantados é facilitada pela metodologia usada na medida da distância, que leva em conta os marcos presentes na rodovia.

b) Na Medida do Afundamento Plástico em Trilhas de Roda

- Representa muito menos risco aos técnicos que a realizariam caminhando ao longo dos trechos.
- Representa grande economia de tempo e de recursos, pois a medição desta variável em campo requer a formação de uma ou mais equipes, dada a baixa produtividade do levantamento feito a pé.
- Não impõe interferência ao tráfego que, ao contrário, seria desviado ou interrompido temporariamente, causando aborrecimentos aos usuários e diminuição da segurança.
- Permite medidas muito mais confiáveis, pois são calculados valores médios, a cada 10 metros, de muitas medições ao longo de toda a pista, e não somente uma medida cada 20 ou 40 metros.
- É fornecido como resultado, além da média, o Desvio Padrão, permitindo aos técnicos a análise da variação da medida de cada uma das médias.

3.3.3.4. Integrador IPR/USP

O integrador IPR/USP é um medidor de irregularidade tipo resposta, constituído por um veículo de passeio médio onde são instalados equipamentos desenvolvidos pelo IPR (Instituto de Pesquisas Rodoviárias) e pela USP (Universidade de São Paulo). São eles: Sensor de deslocamentos verticais e um quantificador de irregularidade (um hodômetro e um totalizador). Um medidor de tipo resposta fornece leituras dos deslocamentos verticais do eixo traseiro do veículo em relação à sua carroceria.

Antes de executar a medição, recomenda-se calibrar o sistema medidor, em conformidade com norma específica (DNER-PRO 164/94). Tanto o operador quanto o motorista devem ser habilitados pelo IPR para execução do referido ensaio.

A superfície da rodovia é percorrida pelo sistema medidor e suas leituras são preenchidas em uma ficha padrão, também normatizada. O levantamento deve ser feito obedecendo-se a condição imposta pela rodovia em questão. Para rodovias de pista simples, deve ser feito em pelo menos um dos sentidos; para rodovias com pistas duplas, pelo menos em uma das faixas das duas pistas; para rodovias com a terceira faixa, deve ser feito o levantamento nesta faixa.

A velocidade de tráfego do veículo que carrega o equipamento deve ser igual a uma das velocidades usadas para calibração e deve estar no intervalo de 50 km/h a 80 km/h, com variação não superior a 2 km/h em valor absoluto. O intervalo de leitura deve ser de 320 m.

Outras condições necessárias para um levantamento bem sucedido são:

- O levantamento deve ser executado à luz do dia e sem chuva;
- O operador não deve levantar mais de 450 km por dia.

No caso de rodovia com grande movimento, a velocidade deve ser reduzida adequadamente. Para casos onde a velocidade sofra variação, a primeira leitura deverá ser desprezada. As condições das rodovias estudadas também influenciam na execução do levantamento. Rodovias medianamente deterioradas, a velocidade deve ser reduzida. Já para rodovias extremamente deterioradas, o ensaio não deve ser feito.

A calibração, de acordo com a Norma, deve ser precedida de algumas atividades preliminares, a fim de garantir a correta operação do sistema. Uma carga de 883N (com erro admissível de 9,8N) deve ser posicionada entre os bancos dianteiro e traseiro do veículo, simulando assim a presença de uma pessoa. A quantidade de ímãs na roda bem como suas posições deve ser verificada. Os ímãs devem estar afastados do sensor 6 mm com erro admissível de 0,5mm.

3.4. Metodologia de tratamento de dados

A execução de um ensaio resulta em uma série de medidas que devem ser organizadas, interpretadas e criticadas através de um tratamento estatístico. Este geralmente permite a extração de maior número de informações e de conclusões mais realistas sobre o fenômeno estudado.

Antes de fazer uma medida, é importante conhecer bem a grandeza cujo valor é procurado (unidade, ordem de grandeza, estabilidade no tempo e no espaço, etc.). Essa grandeza pode ser mal definida por natureza ou em função de um parâmetro exterior que varia, isto é, qualquer causa (temperatura, pressão, campo elétrico, campo magnético, tempo, tipo de aparelho utilizado, etc.) que pode afetar o valor da grandeza física.

As características dos instrumentos de medida também são importantes, principalmente para definir os vínculos entre o instrumento e a grandeza que ele mede. As principais são:

- Intervalo de mensuração: pode ser limitado por causa das "grandezas de influência" que modificam as características do instrumento e que são geralmente mencionadas pelo fabricante (temperatura, campo elétrico, campo magnético, etc.);
- Sensibilidade: depende do nível de detecção de pequenas variações da medida;
- Fineza: refere-se à influência do aparelho sobre a grandeza sendo medida;
- Rapidez de resposta: é a qualidade que expressa sua capacidade de seguir as variações temporais de uma grandeza física medida. Limitada pelas massas, momento de inércia, viscosidade dos fluidos, capacidades caloríficas e elétricas, indutância e as correntes induzidas;
- Fidelidade: caracterizada pela capacidade de reproduzir suas medidas.

Os dados disponíveis são raramente exatos, pois são baseados em experiências ou estimativas. Os processos numéricos empregados na obtenção dos resultados geram erros cuja análise num resultado numérico é fundamental. Existem basicamente cinco tipos de erros:

- Erro sistemático: devido, principalmente, a fatos independentes do operador. São constantes em grandeza e sinal, nunca se compensam e podem ser eliminados, em parte, usando-se um aparelho de boa qualidade e padronizando-o da melhor maneira possível;
- Erros acidentais ou indeterminados: devido ao operador: Estes erros são variáveis em grandeza e sinal e se compensam quando o número de medidas é grande. Quando se repete uma medida os erros acidentais geralmente não conservam a mesma magnitude e o mesmo sinal. Em consequência, com a ajuda de cálculos aproximados, de informações suficientes sobre as características dos instrumentos utilizados e de métodos adequados, é possível então obter para uma grandeza um conjunto de valores no qual se admite encontrar o "valor verdadeiro";
- Erros semi-acidentais: devidos à maneira de trabalhar ou devidos à aparelhagem. Estes erros são constantes em sinal, mas de grandeza variável;
- Erro verdadeiro: é a diferença entre o valor medido de uma grandeza e o valor real;
- Erro aparente, afastamento, discrepância ou resíduo: é a diferença entre o valor medido e o valor mais provável.

Cada ensaio deve ser realizado de maneira similar para garantir a repetibilidade e conseqüentemente minorar erro. Para isso o ideal é seguir os procedimentos e padrões estabelecidos em normas, cujo conteúdo engloba especificações sobre o tratamento estatístico dos resultados de cada ensaio.

4. PISTA CONCEITUAL

Nesta etapa será dada ênfase aos estudos que garantam a viabilidade física (geométrica) que atenda às expectativas de utilização da pista bem como à delimitação do estado da arte que será desenvolvido no projeto.

4.1. Concepção

O processo de concepção de qualquer projeto é composto, essencialmente, por quatro etapas-chave: estabelecer o objetivo, conhecer as premissas, planejar e definir as ações futuras.

Neste caso, deseja-se projetar uma pista com diferentes revestimentos asfálticos, e, uma vez atingido este objetivo, espera-se que a mesma possibilite um estudo comparativo entre as misturas nela empregadas.

Para viabilizar tais objetivos, precisou-se elencar toda a informação e dados disponíveis que possam ser necessários ao projeto. Assim, foram estudados os principais ensaios passíveis de realização para a comparação funcional, as misturas a serem aplicadas como revestimento e as restrições e cuidados para execução. De posse desses dados, para estabelecer as características da pista foi possível criar uma metodologia, que se encontra apresentada, iniciando-se pela definição das dimensões da mesma (concepção geométrica).

4.2. Expectativas de utilização da pista

Espera-se que a geometria da pista projetada permita a aplicação de diversas misturas ao longo de sua extensão de modo que as dimensões de cada trecho sejam tais que viabilizem a realização de ensaios de avaliação funcional (aderência e ruído) para uma posterior comparação das mesmas. Como a qualidade da camada de revestimento de um pavimento depende basicamente de sua execução e idade, os ensaios de irregularidade não serão considerados na pista conceitual.

4.3. Estudo de viabilidade física (geométrica)

Inicialmente serão ordenados os aspectos físicos que podem limitar, ou até invalidar, a realização dos ensaios desejados. Também servirão de embasamento técnico para a definição das dimensões dos trechos de aplicação de diferentes misturas para caráter analítico-comparativo entre misturas asfálticas para pavimentação.

Posteriormente à listagem e à descrição destes limitantes, será realizada a análise comparativa dos mesmos com o intuito de se determinar os valores geométricos absolutos a serem adotados para avaliação de viabilidade do projeto e posterior dimensionamento dos trechos.

4.3.1. Limitantes de ensaio

Para a realização da pista conceitual levou-se em conta as limitações e exigências para a execução ideal dos ensaios estudados, proporcionando a viabilização dos mesmos. Vale ressaltar que os limitantes decorrentes dos ensaios para medição de irregularidades podem ser adaptáveis, dependendo

das características do local de aplicação da pista, pois não são fatores determinantes do tipo de mistura.

4.3.1.1. Comprimento

A definição do comprimento adequado para a realização dos ensaios desejados no escopo deste trabalho deve considerar os seguintes fatores:

- Recuo mínimo necessário para garantir aceleração e frenagem para as velocidades de ensaio;
- Comprimento especificado nas normas de ensaio (distância a ser percorrida em velocidade pré-determinada para fins de medição);

4.3.1.2. Largura

A definição da largura adequada para a realização dos ensaios desejados no escopo deste trabalho deve considerar o seguinte fator:

- Largura especificada nas normas de ensaio (verificar a possibilidade de implantar faixas paralelas de diferentes revestimentos).

4.3.1.3. Declividade

A definição da declividade adequada para a realização dos ensaios desejados no escopo deste trabalho deve considerar os seguintes fatores:

- Altas declividades exigem torque maior, resultando em aumento do ruído “residual” (gerado pelo motor);
- Declividade especificada nas normas de ensaio (por ventura as normas podem exigir a realização dos ensaios em superfícies planas);

- Declividade mínima, a partir de 0,35%, destinada a drenagem segundo o DNIT (2007).

4.3.1.4. Superelevação

A definição da superelevação adequada para a realização dos ensaios desejados no escopo deste trabalho deve considerar o seguinte fator:

- Superelevação mínima, a partir de 2,0%, destinada a drenagem segundo o DNIT (2007).

4.3.2. Análise dos Limitantes de Ensaio

Com base nas considerações feitas acima, é possível determinar os valores limitantes em cada aspecto físico que envolve o projeto geométrico dos trechos experimentais. Os dados obtidos na revisão bibliográfica dos ensaios de medição de ruído e aderência, bem como os valores mínimos recomendados pelo DNIT (2007) para a garantia de drenagem estão apresentados na tabela 6:

Tabela 6: Valores dos limitantes dos ensaios de medição de ruído e aderência

Ensaio	Comprimento (m)	Largura (m)	Declividade (%)	Superelevação (%)
Método coast-by	20	20	**	**
Método CPX	Dimensionado de acordo velocidade	27,5	**	**
Medição interna de ruído	Dimensionado de acordo velocidade	40	**	**
Mancha de areia	*	*	*	*
Pêndulo Britânico	*	*	*	*
Mu-Meter	**	**	**	**
Drenômetro	*	*	*	*
Nível-e-mira	**	**	**	**
MERLIN	Dimensionado de acordo com o diâmetro da roda	**	**	**
Perfilômetro	Dimensionado de acordo velocidade	**	**	**
Integrador IPR/USP	320	**	**	**

(fonte: autores)

* Ensaio pontuais e estáticos que não apresentam exigências nem limitações geométricas.

** Ensaio que não possuem restrições especificadas em norma

A partir da análise dos dados tabelados acima, pode-se estabelecer as dimensões necessárias para que a pista atenda seus propósitos e, conseqüentemente, encontrar um lugar que comporte o empreendimento. Seguem-se algumas considerações:

- Os ensaios sugeridos para a avaliação da aderência, uma vez que são ensaios pontuais e estáticos, não apresentam limitantes geométricos que impeçam sua realização. Portanto, estes ensaios podem ser executados independentemente do comprimento e da largura de cada trecho da pista. Apenas existe a necessidade da superfície não ser demasiadamente inclinada, o que impediria o nivelamento do equipamento do Pêndulo Britânico, limitado pela altura dos pés de sua base, e também o ensaio do Drenômetro;
- A medição interna de ruído ao veículo requer que a distância do veículo até obstáculos que possam refletir o som seja de no mínimo 20 metros em todas as direções;
- No caso do método Coast-By, é necessário que a pista atenda às especificações da figura 3;
- Quanto às necessidades da via para que sejam atendidas as especificações do ensaio de avaliação do ruído no pneu pelo método da ISO 10844:1994 denominado de Close-proximity, verificou-se que o comprimento da pista precisa ser dimensionada considerando a velocidade de realização do ensaio (entre 80 km/h e 110 km/h); por ser relativamente alta, é preciso garantir recuos seguros para aceleração e frenagem;
- Novamente é importante lembrar que, apesar de apresentarem algumas restrições, os ensaios de irregularidade serão somente realizados para definir a necessidade de intervenção em trechos existentes. Sendo assim, seus limitantes não interferem no dimensionamento da pista conceitual.

4.4. Metodologia de execução

As obras de pavimentação, assim como qualquer empreendimento em construção civil, possuem suas peculiaridades executivas que devem ser asseguradas com um controle tecnológico adequado.

A metodologia executiva deve seguir as especificações de serviço normatizadas pelos órgãos regulamentadores, como o DNIT na esfera nacional. Tais especificações não serão abordadas neste trabalho, pois seriam tratadas como transcrições literais das normas e manuais.

O conceito do projeto em questão envolve a elaboração de um experimento, sendo fundamental o atendimento de todas as exigências técnicas executivas, evitando práticas errôneas comuns, com o objetivo de garantir a excelência da obra.

Os principais cuidados durante a execução:

- Controle da fresagem – concordância com a espessura a ser removida, definida em projeto;
- Tratamento dos defeitos – preenchimento dos buracos, tratamento das trincas, aplicação de selantes, etc.;
- Limpeza da superfície pós-fresagem – garantir a remoção da maior parte dos detritos gerados pela etapa;
- Controle na aplicação da pintura de ligação – garante aderência entre a camada fresada e a nova mistura;
- Controle tecnológico da mistura – através de ensaios laboratoriais, determinar a concordância da mistura usinada com o estabelecido em projeto e controle da temperatura da mistura asfáltica no lançamento;
- Controle de regularidade da retro-acabadora – para evitar a transmissão das irregularidades recomenda-se a utilização de fios-guia posicionados com precisão por equipe de topografia;
- Controle de compactação – verificação do número de passagens e controle da pressão dos rolos pneumáticos.

5. ALOCAÇÃO DA PISTA CONCEITUAL – RODOVIA SP70 – AYRTON SENNA

5.1. Escolha do Local

A escolha de um local adequado para a implantação da pista experimental deve respeitar as restrições impostas a todos os métodos de ensaio estudados. Além disso, deve ser suficientemente longa para que todas as misturas possam estar presentes em trechos com comprimentos iguais, evitando que haja qualquer distorção geométrica entre eles.

O local escolhido e adequado à realização da pista conceitual encontra-se na Rodovia SP 070 – Ayrton Senna – entre os marcos do Km 38 e Km 40, aproximadamente, na região de Itaquaquetuba, ilustrado na figura abaixo.



Figura 10: Rodovia Ayrton Senna
(fonte: Google)

O trecho consiste em uma reta de 1600 metros de comprimento, entre os viadutos observados na figura 10. Considerando as restrições impostas pelas normas que regem os ensaios de aderência e ruído, pode-se aproveitar o

comprimento acima citado para a subdivisão em 4 (quatro) trechos onde serão aplicadas diferentes misturas asfálticas.

As restrições encontradas para o dimensionamento dos segmentos devem-se às normas de ruído, irregularidade e aderência.

Para o ensaio de ruído, deve-se garantir uma largura livre de interferências laterais de 40 metros, sendo 20 para cada lado. O comprimento é definido com base na velocidade.

A execução de ensaios de aderência não apresenta restrições quanto a comprimento ou largura por ser pontual

Finalmente, para a verificação da irregularidade, existe uma restrição variável quanto ao comprimento no Método MERLIN, em função do diâmetro da roda utilizada; indicativamente, uma roda aro 26 exige um comprimento aproximado de 450 m. Entretanto, o ensaio é adaptável e pode ser realizado com o comprimento mínimo de 200 m. Isto, associado ao fato de os ensaios de irregularidade não serem considerados na escolha das misturas, justifica a não adoção de 450 m como dimensão característica do trecho.

Breve histórico

A concessão da Rodovia SP-70, à época denominada Rodovia dos Trabalhadores, data de 1979. O Decreto concedia a DERSA o direito de construção e exploração da via. A construção do primeiro trecho, entre São Paulo e Guararema foi construído em 22 meses, entre junho de 1980 e abril de 1982. Esse trecho tem 50 quilômetros, aos quais foram acrescidos 5 relativos à interligação com a Via Dutra.

A demanda pela existência de uma rodovia nos moldes da Ayrton Senna surgiu para desafogar o tráfego na rodovia Presidente Dutra (BR-116) no seu trecho mais movimentado, entre as cidades de São Paulo e Guarulhos, intensificada ainda pela inauguração do Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos,

em 1985. É, também, uma alternativa ao Vale do Paraíba e Litoral Norte, além de Rio de Janeiro.

O prolongamento da Rodovia Ayrton Senna além da cidade de Guararema foi inaugurado no final de 1994, sob a denominação de Rodovia Carvalho Pinto, ainda SP-70. Sua extensão de cerca de 70 quilômetros é conectada às rodovias Dom Pedro I, Tamoios e Ayrton Senna.

O principal papel cumprido pelo sistema da SP-70 é a interligação com o Porto de São Sebastião, escoando a produção industrial do Vale do Paraíba e, novamente, desafogando a demanda da rodovia Presidente Dutra (BR-116).

Caracterização do local

A rodovia Ayrton Senna liga São Paulo a Guararema, tem extensão de 48,3 quilômetros, iniciando no 11,92 – interligação com a Marginal do Rio Tietê, e terminando em Guararema, no 60,3. Sua atual configuração apresenta duas praças de pedágio: uma localizada em Itaquaquecetuba no km 32 e outra em Guararema, no km 57. O volume diário médio (VDM) com base no mês de Agosto de 2008, fornecidos pela DERSA, é de 22.729 veículos

5.2. Misturas a serem utilizadas

Uma vez estabelecida a pretensão de estudar o desempenho funcional da camada de rolamento de pavimentos, abordando os aspectos de aderência, ruído e irregularidade, assim como uma avaliação do conforto pelo usuário, chegou-se a um seleto grupo de misturas asfálticas que podem oferecer o nível de desempenho esperado. São elas: SMA – Stone Matrix Asphalt, CPA – Camada Porosa de Atrito e BBTM – Béton Bitumineux Très Mince. Feito um estudo mais detalhado sobre cada uma delas, conclui-se que possuem potencial em contribuir para os fins desejados.

Além das misturas acima citadas, é fundamental que se possua um trecho executado com mistura convencional (CBUQ – Concreto Betuminoso Usinado a Quente). Esta servirá como parâmetro de referência para dos demais trechos.

5.3. Dimensões dos Trechos

No retilíneo de 1600 m, serão feitas 4 (quatro) subdivisões de 400 m, sendo uma para cada mistura asfáltica em estudo. A largura da pavimentação deverá obedecer ao total da seção, equivalente a três faixas de rolamento naquele local.

A seção tipo da rodovia, conforme informações fornecidas pela DERSA, está ilustrada na figura 11. O fato de o projeto da pista conceitual estar baseado em uma rodovia existente torna razoável assumir que os aspectos estruturais estão garantidos. A numeração dos trechos exibida na figura 12 representa a ordem das misturas citada anteriormente.

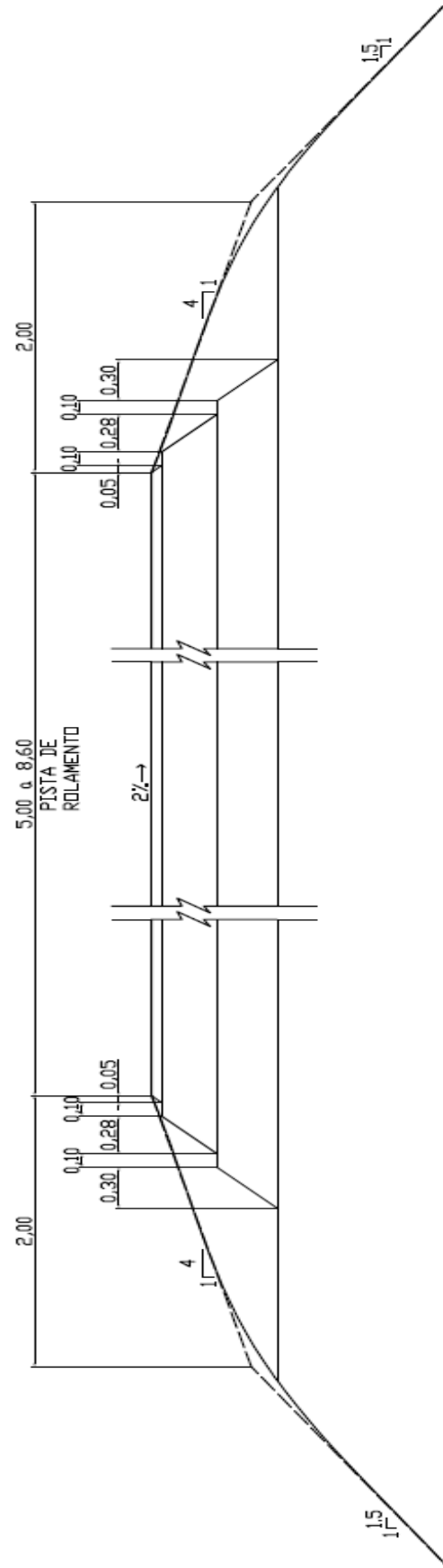


Figura 11: Seção Transversal

5.3.1. Planta

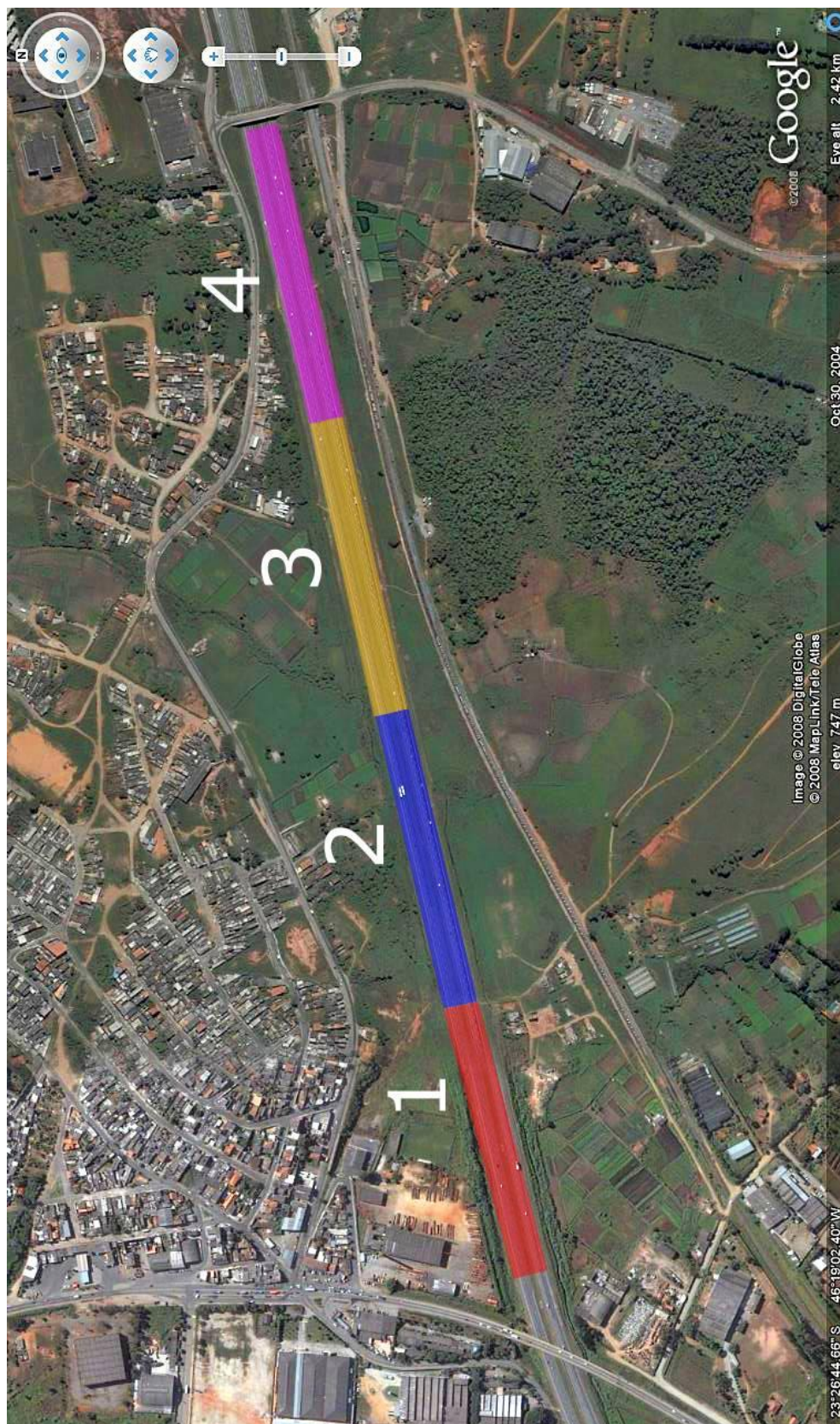


Figura 12: Planta da pista conceitual dividida

6. FERRAMENTA PARA ESCOLHA DE REVESTIMENTO ASFÁLTICO

Após terem sido atingidos os objetivos primordiais apresentados do Trabalho de Formatura, este capítulo apresentará sucintamente a elaboração de uma ferramenta para a escolha do revestimento asfáltico mais adequado para um determinado cenário com base em dados a serem coletados após a execução da pista.

O objetivo deste capítulo é contemplar apenas a idéia geral da ferramenta, com sua modelagem básica, sem se aprofundar em análises estatísticas experimentais. Considerando ainda que não existam dados para sua aplicação, devido à inexistência da pista experimental para realização dos ensaios, coleta e tratamento de informações, não há a possibilidade de verificar e analisar a eficácia da ferramenta proposta.

Desta maneira, este trabalho limita-se a definir as diretrizes básicas na elaboração e modelagem da ferramenta, bem como uma simulação por meio de dados hipotéticos meramente ilustrativos.

A ferramenta para a escolha do revestimento asfáltico será uma matriz de decisão que deverá ponderar os resultados de ensaios, previamente ajustados em escala adequada a ser discutida posteriormente, com as prioridades de intervenção do cenário analisado. Todos os aspectos e considerações envolvidas no desenvolvimento dessa matriz serão discutidos a seguir, ao longo desse capítulo.

6.1. Levantamento de dados

O início da modelagem da matriz engloba a compilação dos resultados a serem obtidos na pista experimental. Neste procedimento, não basta apenas coletar dados e aplicá-los diretamente em uma matriz de decisão.

Dois pontos são críticos nessa etapa:

- O controle e tratamento estatístico para validação do experimento; e
- A aplicação de escalas de avaliação dos resultados para a utilização dos resultados na matriz de decisão final, caso contrário seriam comparados diferentes tipos de dados oriundos de ensaios distintos.

As considerações a respeito dos assuntos levantados acima serão realizadas a seguir. Contudo, ressalva-se que o objetivo deste trabalho não é obter a modelagem final da ferramenta. Os assuntos serão tratados de forma global, sem o devido embasamento científico baseado em pesquisa bibliográfica. Tais estudos deverão ser mais aprofundados futuramente, em outro momento mais oportuno, com a execução da pista já realizada.

6.1.1. Considerações para validação experimental

Sendo a matriz de decisão um experimento com muitas variáveis, deverão ser utilizados métodos estatísticos para analisar os dados, de modo que os resultados e conclusões sejam objetivos e não de opinião. Se o experimento for planejado e realizado, o tipo de método estatístico exigido não será complexo. Excelentes pacotes estatísticos estão disponíveis para ajudar na análise de dados, e métodos gráficos simples desempenham um papel importante na interpretação desses. A análise dos resíduos e a verificação da validade do modelo são também importantes.

Além dessas considerações básicas, existem outras que não cabem ser ditas neste trabalho. Como explicado, anteriormente, o objetivo deste capítulo ao propor a matriz de decisão para escolha de mistura asfáltica a partir dos dados obtidos através de uma pista experimental não é modelá-la por completo, mas criar diretrizes básicas para direcionar estudos futuros.

Desta forma, fica novamente a ressalva de que os cuidados a serem tomados deverão ser objeto de estudo estatístico mais profundo, sendo que o conteúdo deste item apenas contempla os critérios mínimos de realização de medidas, com atenções às suas características e estimativas de erros.

6.1.2. Compilação de resultados dos ensaios

Os dados coletados e devidamente tratados, relativos a cada um dos ensaios a serem desenvolvidos na pista experimental, deverão ser compilados em forma de tabela para melhor visualização. O modelo está apresentado abaixo, na tabela 7.

Tabela 7: Modelo de tabela para preenchimento dos dados coletados

MISTURAS ASFÁLTICAS	A1 (HS)	A2 (BPN)	A3 (μ)	A4 (s)	R1 (dB)	R2 (dB)	R3 (dB)
SMA							
CPA							
BBTM							
Convencional							

Legenda (Ai – Ensaios de aderência / Ri – Medição de ruído):

A1: Mancha de Areia

R1: Método Coast-By

A2: Pêndulo Britânico

R2: Método Close Proximity

A3: Mu-Meter

R3: Medição no interior do veículo

A4: Drenabilidade

A tabela exibida é a estrutura básica da matriz de decisão. Ela contempla apenas aspectos técnicos relacionados ao desempenho funcional das sugestões de misturas asfálticas a serem implantadas na pista experimental.

Entretanto, na prática, a decisão final também é ponderada pela composição de custo e pela durabilidade da mistura.

O presente trabalho não contemplou estes aspectos pelo fato de o foco dos estudos ser a concepção e análise sob os aspectos técnicos do projeto. Assim, a complementação da tabela, e conseqüentemente da matriz de decisão, com esses dois itens fica como sugestão para estudos posteriores.

6.2. Modelagem da matriz de decisão

Existem diversos modos para criação de um método de decisão, desde simples matrizes somatórias de notas sem ponderação, a sofisticados modelos matemáticos como as diversas variáveis do Método de Análise Hierárquica (AHP – Analytic Hierarchy Process).

O modelo apresentado neste trabalho é uma matriz de decisão que atribui pesos aos ensaios que serão aplicados aos resultados obtidos nas medições a serem realizadas na pista experimental.

6.2.1. Nivelamento dos resultados por meio de diferentes escalas para cada tipo de ensaio

O princípio básico que envolve a aplicação de uma matriz de decisão é a criação de escalas de comparação, sem as quais se torna inviável ponderar valores de grandezas distintas. Dessa maneira, a proposta levantada é buscar valores na bibliografia que estipulem valores máximos e mínimos aceitáveis para cada ensaio previsto.

Os valores limites, máximo e mínimo, deverão ser referenciados para uma escala de 0 (zero), para péssimo a 10 (dez), para ótimo. Essas escalas

deverão ser utilizadas para interpolar os resultados dos ensaios e desta forma nivelá-los para uma nota de avaliação adimensional.

6.2.2. Diretrizes básicas para ponderação dos ensaios

Os pesos dos ensaios que farão parte da matriz de decisão deverão seguir algumas diretrizes básicas para o modelo sugerido:

- Valores mais elevados para os ensaios prioritários;
- Aplicação de valores inteiros, cujo valor máximo deverá ser igual a quantidade de ensaios considerado, no caso, de 1 (um) a 7 (sete);
- Não deverá ser aplicado o mesmo valor de peso para ensaios diferentes.

A estipulação dos pesos deverá ser resultado de uma avaliação de necessidades de uma via (ou trecho específico de uma via) sob aspectos funcionais de aderência e ruído. Essas necessidades irão caracterizar um cenário que, por sua vez, será utilizado para atribuir os pesos adequadamente.

Para caracterização adequada das necessidades associadas à funcionalidade da via, foi elaborada uma metodologia simples e prática:

- a) Análise de acidentes no trecho: levantamento de número, condições climáticas e localização de acidentes através da obtenção de dados oficiais da polícia rodoviária e/ou órgão responsável pela rodovia;
- b) Questionário de satisfação dos usuários: deverá abordar a avaliação pessoal de conforto dos usuários motorizados e marginais.

6.2.3. Formato e diretrizes básicas para a aplicação da matriz de decisão

Após a normalização dos resultados dos ensaios serão geradas as notas interpoladas (N) de acordo com cada escala dos ensaios. As notas deverão ser transferidas para a matriz de decisão.

O modelo esquemático da matriz de decisão cuja estrutura se baseia na tabela 7 está representado na tabela 8. Nela cada coluna de ensaio foram inseridas outras três “sub-colunas”. A primeira deverá ser preenchida pelos pesos (P) atribuídos a cada ensaio; a segunda deverá conter as notas interpoladas (N); e por último, na terceira coluna, deverão ser inseridos os valores das notas ponderadas, isto é, o resultado do produto do peso da primeira coluna com as notas da segunda coluna ($P \cdot N$).

Ao final da repetição desse processo para todos os ensaios e misturas, na última coluna da matriz de decisão deverão ser somados os valores das notas ponderadas pelos pesos de cada ensaio ($P \cdot N$). A mistura asfáltica que apresentar maior valor nesta somatória final será a mais adequada dentre as alternativas para o cenário estipulado.

MISTURAS ASFÁLTICAS	A1			A2			A3			A4			R1			R2			R3			TOTAL $\sum P*N$
	P	N	P*N	P	N	P*N	P	N	P*N	P	N	P*N	P	N	P*N	P	N	P*N	P	N	P*N	
SMA																						
CPA																						
BBTM																						
Convencional																						

Legenda (Ai – Ensaios de aderência / Ri – Medição de ruído):

N: Nota após aplicação de escalas de comparação

A1: Mancha de Areia

A2: Pêndulo Britânico

A3: Mu-Meter

A4: Drenabilidade

P: Peso, critério de ponderação

R1: Método Coast-By

R2: Método Close Proximity

R3: Medição no interior do veículo

Tabela 8: Simulação numérica da matriz de decisão aplicada ao cenário hipotético

6.3. Simulação de aplicação da matriz de decisão

Com o objetivo de ilustrar a funcionalidade da matriz de decisão formulada neste trabalho, a seguir será composto um cenário hipotético, discriminando as necessidades de um trecho meramente ilustrativo, para ponderação dos ensaios e aplicação da ferramenta sugerida pelo trabalho.

Para tornar viável a simulação numérica da matriz de decisão, também foi realizado um breve estudo complementar para aquisição de valores de referência. Contudo, ressalta-se o fato desta etapa, assim como boa parte da elaboração da ferramenta, ter sido desenvolvida superficialmente, sem a formulação de uma base bibliográfica sólida.

Por esse motivo a simulação apresentada aqui não deve ser considerada uma aplicação funcional da matriz de decisão, sendo recomendada a realização de estudos mais aprofundados após a execução da pista experimental e a aquisição dos resultados reais que ela apresentar para a formulação de uma ferramenta funcional para tomada de decisão.

6.3.1. Determinação de escalas para normalização dos resultados

As escalas determinadas nessa simulação numérica apesar de baseadas em bibliografia sólida e confiável, não devem ser adotadas como final para utilização futura desta matriz de decisão, pois não houve estudos de validação. Ressalta-se o fato de ausência de bibliografia normativa bem definida para alguns ensaios.

a) Mancha de areia

Tabela 9: Escalas para a normalização dos ensaios

Textura superficial	Limites de valores HS (mm)		Aplicação do revestimento
	Mínimo	Máximo	
Muito fina	< 0,2		Não deve ser utilizado
Fina	0,2	0,4	Reservado para zonas urbanas com $V < 80$ km/h
Média	0,4	0,8	Indicado para vias com $80 \text{ km/h} < V < 120 \text{ km/h}$
Grossa	0,8	1,2	Indicado para vias rápidas com $V > 120 \text{ km/h}$
Muito grossa	> 1,2		Indicado em casos especiais

Fonte: Pasquet (1968)

b) Pêndulo Britânico

Tabela 10: Escalas para a normalização dos ensaios

Pêndulo Britânico	
CLASSIFICAÇÃO	LIMITES
PERIGOSA	< 25
MUITO LISA	25 – 31
LISA	32 – 39
INSUFICIENTEMENTE RUGOSA	40 – 46
MEDIANAMENTE RUGOSA	47 – 54
RUGOSA	55 – 75
MUITO RUGOSA	> 75

Fonte: (ABPv, 1998)

c) Mu-Meter

Tabela 11: Escalas para a normalização dos ensaios

VELOCIDADE	MÍNIMO	MANUTENÇÃO	PROJETO
65 km/h	0,42	0,52	0,72
95 km /h	0,26	0,38	0,66

Fonte: (FAA, 2004)

d) Drenômetro

Segundo FERREIRA (2002), parece não existir parâmetros normativos para este ensaio quanto ao tempo a ser adotado como ideal para o escoamento da água sobre a superfície dos pavimentos asfálticos. A escala será adotada de acordo com as medidas encontradas na bibliografia.

e) Método *Coast-By*

Segundo a OMS (Organização Mundial da Saúde), o limite de conforto do nível de ruído máximo é de 65 dB. A mesma OMS diz que a partir de 75 dB, os níveis de ruído são extremamente prejudiciais a saúde.

A ABNT, segundo a norma NBR 10152 (1987), estipula que o nível de ruído para conforto para diversos ambientes é de 35 dB.

f) Método *Close Proximity*

Como neste método a medida do nível de ruído é realizada bem próxima da fonte de emissão, o pneu, é necessário um estudo acústico mais profundo para determinar a faixa de conforto acústico equivalente à medição realizada na fonte. Com o intuito de se obter uma faixa coerente, foi somado o valor de 5 dB aos limites do método anterior.

g) Método no interior do veículo

Foi adotada a mesma faixa de conforto para os níveis de ruído adotados no método *Coast-By*.

Desta maneira, as escalas para normalização dos resultados dos ensaios estão resumidas na tabela 12.

Tabela 12: Escalas para a normalização dos ensaios

ESCALA	A1	A2	A3	A4	R1	R2	R3
ótimo (~10)	1,20	75	0,66	2	35	40	35
péssimo (~0)	0,20	25	0,26	10	75	80	75

6.3.2. Preenchimento ilustrativo da tabela de resultados e normalização dos resultados para notas de avaliação

A simulação da matriz de decisão proposta depende do preenchimento da tabela 7. Neste ponto, não há como realizar esta etapa com metodologia científica para validar os dados coletados devido aos motivos levantados ao longo deste capítulo.

Desta forma, os valores para resultados de ensaios apresentados abaixo na tabela 13 são meramente ilustrativos. Para uma estimativa mais próxima da realidade, foi desenvolvida a seguinte metodologia:

- a) Pesquisa bibliográfica: buscar por resultados de ensaios em vias onde foram utilizadas as misturas analisadas;
- b) Coleta de resultados: obtenção de resultados aleatoriamente na pesquisa bibliográfica e determinação da média para cada par ensaio/mistura;
- c) Estimativa linear: aproximação para valores não encontrados na bibliografia.

Os valores para aderência foram obtidos através dos resultados de ensaios apresentados nas teses de APS (2006) e FERREIRA (2006). Para referenciar a ordem de grandeza e a relação entre os resultados das diferentes misturas para ensaios de medição de ruído foi utilizado o trabalho de MEUNIER (2001).

Tabela 13: Tabela de resultados ilustrativos estimados com base na bibliografia

MISTURAS ASFÁLTICAS	A1 (HS)	A2 (BPN)	A3 (μ)	A4 (s)	R1 (dB)	R2 (dB)	R3 (dB)
SMA	0,81	64	0,57	3,84	66	73	48
CPA	1,08	71	0,65	3,50	63	70	46
BBTM	1,16	72	0,61	2,35	67	74	49
Convencional	0,57	55	0,32	8,56	71	79	52

Legenda (Ai – Ensaios de aderência / Ri – Medição de ruído):

A1: Mancha de Areia

R1: Método Coast-By

A2: Pêndulo Britânico

R2: Método Close Proximity

A3: Mu-Meter

R3: Medição no interior do veículo

Utilizando as escalas indicadas no item 6.3.1., podemos interpolar os valores dos resultados acima, gerando a tabela 14 abaixo, com as notas normalizadas para uma escala de 0 a 10.

Tabela 14: Resultados interpolados pelas escalas

MISTURAS ASFÁLTICAS	A1 (HS)	A2 (BPN)	A3 (μ)	A4 (s)	R1 (dB)	R2 (dB)	R3 (dB)
SMA	6,10	7,80	7,75	7,70	2,33	1,75	6,66
CPA	8,80	9,20	9,75	8,13	2,98	2,48	7,14
BBTM	9,60	9,40	8,75	9,56	2,06	1,45	6,46
Convencional	3,70	6,00	1,50	1,80	1,02	0,30	5,70

6.3.3. Simulação do cenário (rodovia hipotética)

Em um cenário hipotético, a Rodovia Escola Politécnica (SP-361), serão apresentadas as necessidades locais que justifiquem a intervenção e a necessidade de utilização de uma mistura asfáltica de alto desempenho (não convencional).

A rodovia não apresenta problemas estruturais ou irregularidade acentuada, desta forma, a análise técnica contemplará apenas os aspectos relacionados à aderência e ruído, conforme o levantamento das necessidades a seguir. O trecho analisado atravessa o perímetro urbano da cidade Universitária, predominantemente residencial. Existe um histórico de acidentes constantes no local

6.3.3.1. Levantamento das necessidades sócio-econômico-ambientais

O levantamento das necessidades locais deve ser realizado utilizando diversas metodologias complementares para realizar adequadamente a futura distribuição de pesos. Para a Rodovia Escola Politécnica, o cenário foi identificado através da metodologia sugerida no item 6.2.2.

a) Análise de acidentes no trecho:

Foi identificado um aumento significativo de acidentes em dias de chuva intensa;

b) Resultado do questionário de satisfação dos usuários:

- Os usuários motorizados reclamam de:
 - Dificuldade de direção com pista molhada;
 - Má visibilidade em situações de chuva intensa (spray).
- Os usuários marginais reclamam de:
 - Ruído intenso.

6.3.3.2. Ponderação

Analisando o cenário levantado, foi possível identificar como necessidade prioritária a melhoria da aderência em dias de chuva. Essa conclusão baseia-se no elevado número de acidentes é confirmada pela percepção do usuário na dificuldade em guiar com a pista molhada. Assim, os ensaios de Pêndulo

Britânico (A2) e Mu-Meter (A3) assumem maior importância na escolha do pavimento mais apropriado para a situação.

Foi detectada a insatisfação dos usuários marginais com relação ao intenso ruído gerado pelo tráfego, desta forma os ensaios de medição de ruído *Coast-By* (R1) e *Close Proximity* (R2) assumem prioridade de segunda ordem.

Por último, a existência de spray leva à necessidade de um pavimento com boa capacidade drenante e de escoamento de águas pluviais, atribuindo o último peso prioritário para o ensaio de drenabilidade (A4).

Compilando essas considerações, é possível organizar os pesos como o apresentado na tabela 15:

Tabela 15: Distribuição de pesos

ENSAIO	PESO
A1	2*
A2	7
A3	6
A4	3
R1	5
R2	4
R3	1*

Observação: Para os ensaios restantes, A1 – Mancha de Areia e R3 – Medição de ruído no interior do veículo, foi atribuído peso maior ao ensaio A1 por estar diretamente associado à necessidade apontada como prioritária: a aderência.

6.3.4. Indicação da mistura mais adequada.

Depois de feitas todas as considerações, além de estimados os valores hipotéticos que caracterizam os resultados dos ensaios e o cenário de necessidades do trecho analisado da Rodovia Escola Politécnica, é possível realizar a simulação numérica da matriz de decisão modelada e proposta no item 6.2.3.

A matriz de decisão para escolha de mistura asfáltica mais adequada para a situação hipotética apresentada, devidamente preenchida com os pesos, notas normalizadas e devidos cálculos está apresentada a seguir na tabela 16.

Analisando o resultado da última coluna da matriz de decisão, a simulação, utilizando os dados hipotéticos apresentados, indica que a melhor alternativa para o trecho analisado da Rodovia Escola Politécnica é o CPA, com 196,80 de nota ponderada final na avaliação.

MISTURAS ASFÁLTICAS	A1			A2			A3			A4			R1			R2			R3			TOTAL Σ P*N
	P	N	P*N	P	N	P*N	P	N	P*N	P	N	P*N	P	N	P*N	P	N	P*N	P	N	P*N	
SMA	2	6,10	12,20	7	7,80	54,60	6	7,75	46,50	3	7,70	23,10	5	2,33	11,63	4	1,75	7,00	1	6,66	6,66	161,68
CPA		8,80	17,60		9,20	64,40		9,75	58,50		8,13	24,38		2,98	14,89		2,48	9,90		7,14	7,14	196,80
BBTM		9,60	19,20		9,40	65,80		8,75	52,50		9,56	28,69		2,06	10,28		1,45	5,80		6,46	6,46	188,72
		3,70	7,40		6,00	42,00		1,50	9,00		1,80	5,40		1,02	5,10		0,30	1,20		5,70	5,70	75,80

Legenda (Ai – Ensaio de aderência / Ri – Medição de ruído):

N: Nota após aplicação de escalas de comparação

A1: Mancha de Areia

A2: Pêndulo Britânico

A3: Mu-Meter

A4: Drenabilidade

P: Peso, critério de ponderação

R1: Método Coast-By

R2: Método Close Proximity

R3: Medição no interior do veículo

Tabela 16: Simulação numérica da matriz de decisão aplicada ao cenário hipotético

7. Conclusão

O presente trabalho de formatura possibilitou a familiarização dos alunos com processos comuns da carreira profissional e acadêmica em engenharia civil. As atividades cotidianas realizadas por profissionais dessa área envolvem pesquisas; propostas de soluções; adaptações; projetos em diferentes níveis de detalhamento; análise e verificação da execução dos projetos; planejamento de utilização e manutenção das obras concluídas.

No início das atividades, o grupo enfrentou dificuldades para defender um tema específico na área de pavimentação, enquanto a coordenação da disciplina exigia multidisciplinaridade. A familiaridade dos elaboradores deste trabalho com as disciplinas de Engenharia de Transportes e Pavimentos canalizou os esforços para que o tema escolhido fosse aceito pelos coordenadores da disciplina.

O escopo do trabalho foi limitado a propor um projeto de pista executada com quatro diferentes tipos de misturas asfálticas (SMA, CPA, BBTM e CBUQ). O local escolhido foi a via principal do Instituto de Pesquisa Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. (IPT), pois a proximidade dessa pista com o IPT se revelou conveniente à realização de estudos futuros pela Instituição e por outros centros de pesquisa, inclusive a Escola Politécnica da USP.

A revisão bibliográfica sobre as misturas asfálticas e os ensaios relevantes à avaliação funcional foi feita apoiada em normas e acervo científico, exemplificando claramente que o processo de pesquisa, comum nas atividades de um engenheiro civil, é fundamental.

Com base na revisão bibliográfica, foi verificado que as dimensões e as áreas adjacentes da via principal do IPT não se adequavam ao projeto idealizado. Concluiu-se, assim, que a construção da pista neste local era injustificada do ponto de vista técnico. Isso caracteriza claramente outro processo de engenharia, que é a avaliação da viabilidade técnica de um projeto.

Diante das conclusões do 1º semestre, um empecilho foi criado: a dificuldade em dar continuidade ao mesmo projeto no 2º semestre, já que seria difícil encontrar outro local com fácil acesso aos dados necessários para o projeto da pista experimental. Dessa forma, optou-se pela elaboração de um projeto conceitual.

A pista experimental foi projetada atendendo às dimensões mínimas exigidas pelas normas dos ensaios revisados e a avaliação funcional das misturas asfálticas foi sugerida através de um modelo de matriz de decisão. Essa ferramenta de análise indicaria a mistura mais adequada no que tange o desempenho funcional em um caso real. A idéia da “pista conceitual” e da matriz de decisão são exemplos de como se viabilizar um projeto, fornecendo uma ferramenta para a avaliação consistente das alternativas propostas.

O modelo de matriz de decisão foi proposto, porém com base em dados hipotéticos. Um cenário foi criado para exemplificar o uso desta matriz. Por conta disso, o presente trabalho cria possibilidades de estudos complementares, uma vez que, com o surgimento de novas tecnologias em misturas asfálticas e em ensaios, será possível incrementar a matriz de decisão.

Ao longo do desenvolvimento do trabalho surgiram diversas situações típicas na carreira de um engenheiro civil. A obtenção de uma proposta para a avaliação funcional das misturas asfálticas estudadas reflete que os objetivos do trabalho foram atingidos.

7.1. Recomendações

Em um balanço final, algumas questões relevantes voltam a ser levantadas por terem sido tratadas superficialmente, como no caso das análises estatísticas, dos métodos executivos e, em destaque, de grande parte dos aspectos envolvidos na modelagem da matriz de decisão.

Apesar da definição de um tema específico, surgiram muitas alternativas, idéias e assuntos complementares ao longo de todo o desenvolvimento do trabalho. Entretanto, a importância de cada assunto recém-descoberto era diretamente proporcional a sua complexidade na obtenção de referências bibliográficas e ao seu desenvolvimento.

Assim, com a impossibilidade de desenvolver todos os assuntos, devido à restrição de tempo, apenas alguns itens foram trabalhados mais profundamente. Para os demais, listados a seguir, ficam recomendações para um desenvolvimento mais adequado em trabalhos futuros:

- Matriz de decisão:
 - Planejamento do experimento;
 - Estimativa de custos e análise de durabilidade;
 - Teste e comparação de diferentes modelos de decisão;
 - Pesquisa complementar para o desenvolvimento das escalas de normalização dos resultados.
- Outros estudos baseados na pista experimental:
 - Estudo de correlações entre diferentes ensaios;
 - A partir destas correlações, determinar uma escala de classificação para o ensaio de drenabilidade;
 - Criação de novos parâmetros (ou até ensaios) de avaliação e classificação de pavimentos.

8. BIBLIOGRAFIA

ÁLVARES JUNIOR, O. de M., O Desafio do Controle do Ruído em Rodovias. Disponível em: <<http://www.anbio.org.br/artigos/art04.htm>> Acesso em 05 mai. 2008.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E301-93 (1996)**: Standard Test Method for Measuring Surface Frictional Properties Using the British Pendulum Tester. West Conshohocken: ASTM Standards, 2001, vol. 04.03, 5 p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E965-96 (2001)**: Standard Test Method for Measuring Surface Macro texture Depth Using a Volumetric Technique. West Conshohocken: ASTM Standards, 2001, vol. 04.03, 5 p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E670-94 (2000)**: Standard Test Method for Side Force Friction on Paved Surfaces using the Mu-meter. Road and Paving Materials; Vehicle Pavement Systems: ASTM Standards, 2000, vol. 04.03.

APS, M. **Classificação da aderência pneu-pavimento pelo índice combinado IFI – International Friction Index para revestimentos**. 2006. 179p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

ARTESP. Viaoeste: **Tecnologia internacional é aplicada no pavimento da Castello Branco**. Disponível em: <<http://www.artesp.sp.gov.br/noticias/noticias.asp?idNoticia=1146>> Acesso em 05 Mai. 2008.

BARELLA, Rodrigo Maluf (2008). **Contribuição para a avaliação longitudinal de pavimentos com perfilômetros inerciais**. Tese (Doutorado), USP, São Paulo, 2008. 362p.

BIANCHETTO, H. D. Disminución del Ruido Mediante el Uso de Pavimentos Porosos In: XXIX Reunión del Asfalto, Comisión Permanente del Asfalto, 1996, Mar del Plata, Argentina. **Vigésima Novena Reunión del Asfalto**. Comisión Permanente del Asfalto, Argentina, 1996. v.2. p.539 – 558.

BRASIL. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico. Divisão de Capacitação Tecnológica. **Manual de projeto geométrico de rodovias rurais** – Rio de Janeiro, 1999. 195 p. (IPR. Publi., 706).

BRASIL. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias **Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos** – 2ª Ed. - Rio de Janeiro, 2005. 310 p. (IPR. Publ., 720).

BRITISH STANDARDS. **BS EN 14231:2003**: Natural Stone Test Methods – Determination of the Slip Resistance by Means of the Pendulum Tester. European Committee for Standardization: British Standards, 2003.

Cibermétrica – Perfilômetros industriais e medidores a laser. Disponível em <<http://www.cibermetrica.com.br/index.html>>.

DA SILVA, P. B. **Estudo em laboratório e em campo de misturas asfálticas SMA 0/8S**. 2005. 132p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

DOS SANTOS, E. L. **Análise histórica de medição de atrito das pistas do Aeroporto Santos Dumont – RJ**. 2004. 123p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica. São José dos Campos.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **RT-03.25:** Avaliação da macrotextura de pavimentos viários através do ensaio de mancha de areia. Belo Horizonte, 2005. 5p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 005/2003:** Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos - terminologia. Rio de Janeiro, 2003. 12p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 061/2004:** Pavimento rígido – defeitos - terminologia. Rio de Janeiro, 2004. 13p.

FERREIRA, P. N. **Estudo de utilização de revestimentos asfálticos delgados a quente para pavimentos tipo BBTM no Brasil.** 2006. 200p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

FETRANCESC – SC: Liderança trágica. Disponível em <http://www.fetrancesc.com.br/index.php?codwebsite=&codpagina=00017839&codnoticia=0000011556> Acesso em 05 Mai. 2008.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Impactos sociais e econômicos dos acidentes de trânsito nas rodovias brasileiras** – Relatório Executivo – Brasília: IPEA/DENATRAN/ANTP, 2006.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARTIZATION. Acoustics: Measurement of noise inside motor vehicles – **ISO 5128:1980.** 1980.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARTIZATION. Acoustics: Specification of test tracks for the purpose of measuring noise emitted by road vehicles – **ISO 10844:1994.** 1994

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARTIZATION. Acoustics: Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise – **ISO 11819:1997. 1997**

IPIRANGA ASFALTOS. **Pioneira na tecnologia SMA para tráfego pesado.** São Paulo. 2005.

IPIRANGA ASFALTOS. **Revestimentos asfálticos de alta performance para tratamento de superfícies.** São Paulo. 2005.

MATOS, F. C. **Gerência da manutenção da superfície de rolamento de vias urbanas utilizando SIG. 2004.** 121p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2004.

MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade.** 4. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2004.

MT – Ministério dos Transportes (1994). **Calibração e controle de sistemas medidores de irregularidade de superfície de pavimento (Sistemas Integradores IPR/USP e Maysmeter).** – Norma Rodoviária – Procedimento – DNER-PRO 164/94.

MT – Ministério dos Transportes (1994). **Medição da irregularidade de superfície de pavimento com sistemas integradores IPR/USP e Maysmeter.** – Norma Rodoviária – Procedimento – DNER-PRO 182/94.

MT – Ministério dos Transportes. **Método de nível e mira para calibração de sistemas medidores de irregularidade tipo resposta** – Norma Rodoviária – Especificação de Serviço – DNER-ES 173/86. 1986.

Portal da Saúde – Mortes no trânsito aumentam 9% em três anos. Disponível em

http://portal.saude.gov.br/portal/aplicacoes/noticias/noticias_detalhe.cfm?co_s eq_noticia=29276>. Acesso em: 04 Mai. 2008.

PORTO, H. G. **Pavimentos drenantes**. São Paulo. D & Z editora. 1999. 105p.

RIBEIRO, L. M. B. et al. **Medição de macrotextura com equipamento do tipo “outflow meter”**. In: CONINFRA – CONGRESSO DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES, 11p. São Paulo, 2008.

RODRIGUES FILHO, O. S. (2006). **Características de aderência de revestimentos asfálticos aeroportuários – Estudo de caso do Aeroporto Internacional de São Paulo / Congonhas**. Dissertação de Mestrado, USP, São Paulo, 2006. 263p.

SABEY, B. E. **Road Safety and Value for Money**. Crownthorne: Transport and Road Research Laboratory, 1980. (Supplementary Report, 581).

ANEXO A - Avaliação Diagnóstica

A avaliação diagnóstica a seguir tem como objetivos levantar as condições atuais do pavimento da via principal do campus do IPT, considerando as características que interferem no bom desempenho do revestimento. Dessa forma, justificar-se-á sua reabilitação, desejada não somente para fins funcionais, mas também como futuro objeto de pesquisas acadêmicas e tecnológicas.

Metodologia

No dia 7 de maio de 2008 foi realizado o levantamento de campo dos defeitos do pavimento da via principal do IPT. Tal via foi dividida em trechos de aproximadamente 150 metros e cada trecho percorrido a pé para que fossem catalogados os defeitos relevantes ao escopo deste trabalho.

Definiu-se então defeito como uma anomalia observada no pavimento decorrente de problemas na fundação, na execução ou do uso do pavimento (DNIT 005 2003/TER). A relevância dos defeitos divide-se basicamente em:

- As discontinuidades superficiais por eles causadas interferem no nível de conforto através do aumento do ruído;
- Descontinuidades do tipo de revestimento, como no caso de resíduos de pintura e reparos, podem comprometer a aderência do pavimento;
- A drenagem mal projetada e executada cria pontos de acúmulo de água pluvial, prejudicando o tráfego e a durabilidade do pavimento;
- Ondulações e irregularidades em geral na via prejudicam tráfego tanto de veículos quanto de pedestres;

A seguir, são enumerados e descritos os tipos de defeito para observação:

- Fissura de canto: fissura de pequena dimensão que atinge apenas a superfície da placa;

- Desgaste superficial: caracteriza-se pelo descolamento da argamassa superficial, fazendo com que os agregados aflorem na superfície do revestimento do pavimento;
- Quebra localizada: área trincada ou partida em pequenos pedaços, tendo diversas formas, situando-se geralmente entre trincas;
- Quebra de canto: quebras em forma de cunha que surgem nos cantos das placas ou blocos;
- Vazios e ninhos: espaços entre blocos, podem estar preenchidos ou não com vegetação ou outros tipos de materiais;
- Desnível de pavimento – acostamento: degrau formado entre o acostamento e a borda do pavimento, geralmente acompanhado de uma separação dessas bordas;
- Pintura desgastada ou residual;
- Reparos (e resíduos de reparos anteriores): áreas do pavimento original que foram removidas e posteriormente preenchidas com material de enchimento; normalmente “destacam-se” visualmente do pavimento original.

Para identificação dos defeitos das placas de pavimento rígido do trecho 5, foram consultados a norma da DNIT061/2004 – Pavimento Rígido – Defeito – Terminologia.

Levantamento

1º trecho:

Comprimento aproximado: 250 metros;

Pavimento de bloco sextavado pré-moldado de concreto intertravado.

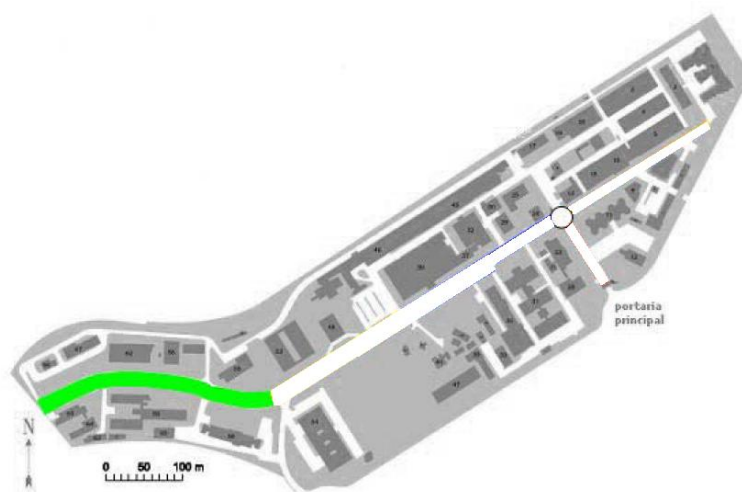


Figura 13: Trecho 1.
(fonte: IPT, 2008)



Foto 24: Desnível transversal.
(fonte: Autores)



Foto 25: Calha de drenagem obstruída por resíduo de material.
(fonte: Autores)



Foto 26: Quebra de Borda, Ninho com vegetação, Desgaste Superficial.
(fonte: Autores)



**Foto 27: Calha de drenagem quebrada.
(fonte: Autores)**

Observações:

Pode-se notar em campo que se trata do trecho menos danificado, o que se pode confirmar no Quadro Estatístico (tabela 7). Este estado de poucos danos na superfície do pavimento é resultado do baixo volume de tráfego em relação aos outros trechos da via. Podem-se observar algumas depressões que não se tratam de danos apenas superficiais e devem ser em decorrência de tubulações subterrâneas. Porém os problemas mais graves são nas canaletas de captação de águas pluviais, que podem não promover drenagem adequada.

2º trecho:

Comprimento aproximado: 250 metros;

Pavimento de bloco sextavado pré-moldado de concreto intertravado.

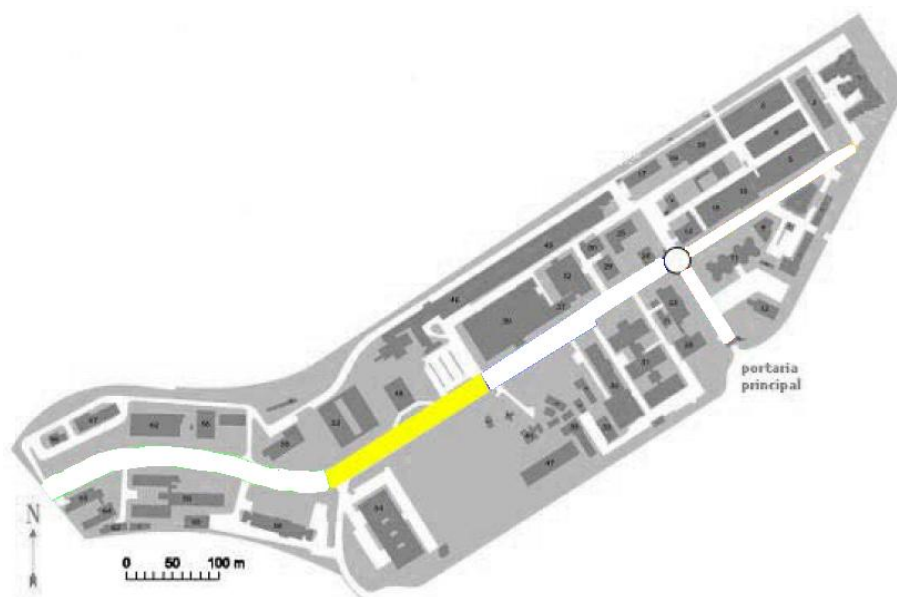


Figura 14: Trecho 2.
(fonte: IPT, 2008)



Foto 28: Desnível de borda e buracos.
(fonte: Autores)



Foto 29: Trinca transversa
(fonte: Autores)



Foto 30: Ninhos preenchidos com asfalto
(fonte: Autores)

Observações:

Pode-se observar que se trata de trecho com poucos danos superficiais e nas camadas inferiores, pois não foi observada nenhuma depressão. Apesar de um maior número de acessos que o trecho anterior.

Mesmo com poucos danos superficiais, são observadas áreas com tentativas anteriores de diminuir o desconforto ao rolamento com recobrimento de asfalto.

Existe uma faixa com blocos que cederam uniformemente, indicando deformação devido à existência de tubulação enterrada

3º trecho:

Comprimento aproximado: 250 metros;

Pavimento de bloco sextavado pré-moldado de concreto intertravado.

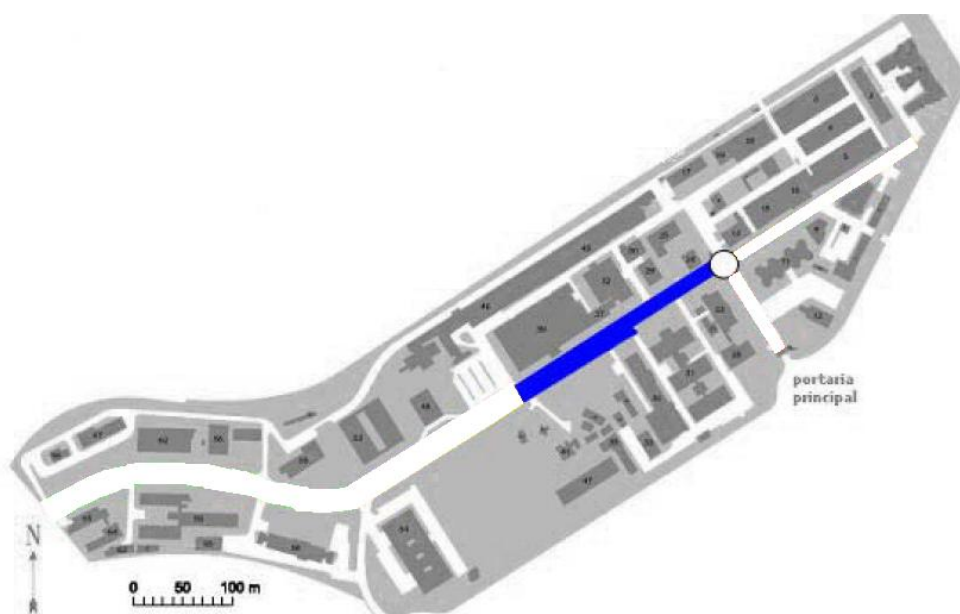


Figura 15: Trecho 3.
(fonte: IPT, 2008)



Foto 31: Ninhos preenchidos de vegetação, blocos com trinca de borda assim como blocos com bordas quebradas, desgaste superficial e blocos cobertos de resíduo de material.
(fonte: Autores)



Foto 32: Lombada com desgaste superficial, quebra de borda, Ninho preenchidos de vegetação e desnível de borda.
(fonte: Autores)



Foto 33: Reforma da superfície do revestimento.
(fonte: Autores)



Foto 34: Resíduo de pintura asfáltica, com buracos devido à falta de blocos.
(fonte: Autores)



**Foto 35: Ausência de blocos, blocos trincados, quebrados e desgastados
(fonte: Autores)**



**Foto 36: Desnível de Borda, desgaste de blocos.
(fonte: Autores)**



Foto 37: Desnível de borda, buraco devido à falta de blocos, assim como a presença de vazio.
(fonte: Autores)

Observações:

Pode-se observar que se trata de um trecho bastante danificado, pois é o segundo trecho de maior número de acessos e tráfego de veículo, sendo apenas menor que o trecho 4 (do acesso da portaria). São observadas áreas de reforma do pavimento, o que aumenta o percentual de danos como pode ser observado no Quadro Estatístico de Danos (tabela 7). A interface de mudança da fase nova com a velha causa desconforto.

Outro item observado foi a existência de uma lombada próxima a rotatória.

Existe um trecho com falta de blocos e resíduos de pintura asfáltica, que causa grande desconforto.

Pode-se observar que este trecho tem menor declividade que os outros trechos, o que pode significar concentração de água, que danifica o pavimento, em especial nas interligações dos acessos.

4º trecho:

Comprimento aproximado: 108 metros;

Pavimento de bloco sextavado pré-moldado de concreto intertravado.



Figura 16: Trecho 4.
(fonte: IPT, 2008)



Foto 38: Bloco quebrado, com ninho preenchido de vegetação.
(fonte: Autores)



**Foto 39: Reforma com substituição de tubulação enterrada, com revestimento diferente do original.
(fonte: Autores)**



**Foto 40: Reforma com substituição de tubulação enterrada, com revestimento diferente do original.
(fonte: Autores)**



**Foto 41: Reforma com substituição de tubulação enterrada, com revestimento diferente do original.
(fonte: Autores)**



**Foto 42: Reforma com remoção de uma lombada, o que deixou muito resíduo sobre a pista, assim como blocos quebrados e trincados.
(fonte: Autores)**



**Foto 43: Reforma com substituição de tubulação enterrada.
(fonte: Autores)**

Observações:

Pode-se observar que é o trecho de maior tráfego de veículos até mesmo de veículos pesados, por isso existem áreas inclusive para passagem de tubulação já passaram por reforma. Porém, não foi utilizado o mesmo material, o que resultou na piora do conforto, neste trecho.

Outro ponto significativo é a tentativa de remoção da lombada da entrada da portaria; cuja recomposição do piso não foi de blocos sextavados.

5º trecho:

Comprimento aproximado: 130 metros

Pavimento rígido (pavimento de concreto de cimento Portland):



Figura 17: Trecho 5.
(fonte: IPT, 2008)



Foto 44: Rotatória – Trinca e quebra da placa de concreto.
(fonte: Autores)



Foto 45: Rotatória – Trinca e quebra da placa de concreto.
(fonte: Autores)



Foto 46: Rotatória – Trinca e quebra da placa de concreto.
(fonte: Autores)



Foto 47: Rotatória – Trinca e quebra da placa de concreto.
(fonte: Autores)



Foto 48: Rotatória – Reforma de substituição de tubulação enterrada.
(fonte: Autores)



Foto 49: Trinca e reforma da tubulação que danificou a placa de concreto.
(fonte: Autores)



Foto 50: Placa de concreto danificada.
(fonte: Autores)



Foto 51: Placa de concreto completamente quebrada com ninho de vegetação.
(fonte: Autores)



Foto 52: Buraco devido à placa de concreto quebrada.
(fonte: Autores)



Foto 53: Reforma de bueiro na placa de concreto.
(fonte: Autores)

Observações:

Pode-se observar que se trata de um trecho de concreto, diferente dos outros de blocos sextavados intertravados.

Neste trecho foi incluída a rotatória, que está bastante danificada, na tentativa de amenizar os problemas foi colocada cobertura de asfalto, o que também não suportou o tráfego pesado.

Mesmo com um tráfego bem reduzido, ou seja, composto somente do tráfego local, o concreto não suportou e se mostra bastante danificado.

Reforma devida à tubulação enterrada também causa grande desconforto.

Neste trecho não existem áreas não danificadas.

Pode-se classificar este trecho com grau de severidade Médio por se tratar apenas de danos superficiais, mas são encontradas quase em toda a superfície do trecho 5.

Para identificação dos defeitos das placas de pavimento rígido do trecho 5, foi consultada a norma da DNIT061/2004 – Pavimento Rígido – Defeito – Terminologia. Porém, não se aplicam uma vez que as placas deste trecho estão em avançado estado de degradação, devendo ser demolidas e recompostas.

Tabela 17: Quadro Estatístico de Danos

Defeito	Soma	Trecho1		Trecho2		Trecho3		Trecho4	
1. Quebra de Borda	50	26	52%	8	16%	11	22%	5	10%
2. Trinca de Borda	41	11	27%	9	22%	18	44%	3	7%
3. Desgaste									
Superficial	16	2	13%	5	31%	9	56%	0	0%
4. Resíduo	13	5	38%	3	23%	5	38%	0	0%
5. Vazio	21	4	19%	17	81%	0	0%	0	0%
6. Ninho	53	20	38%	11	21%	20	38%	2	4%
a. Vegetação	42	12	29%	8	19%	20	48%	2	5%
b. Asfalto	11	8	73%	3	27%	0	0%	0	0%
7. Ondulação	32	1	3%	2	6%	25	78%	4	13%
8. Desnível de Borda	25	6	24%	0	0%	19	76%	0	0%
9. Buraco	6	1	17%	1	17%	4	67%	0	0%
10. Drenagem	8	4	50%	1	13%	3	38%	0	0%
11. Lombada	7	0	0%	2	29%	5	71%	0	0%
12. Trinca									
Transversal	3	0	0%	3	100%	0	0%	0	0%
13. Trinca na Calha									
de Drenagem	1	0	0%	1	100%	0	0%	0	0%
15. Eflorescência	5	0	0%	0	0%	5	100%	0	0%
16. Falta de Blocos	3	0	0%	0	0%	3	100%	0	0%
17. Reforma	9	0	0%	4*	44%	3**	33%	2**	22%
Total	430	100	23%	118	27%	154	36%	58	13%

(fonte: Autores)



Figura 18: Distribuição ilustrativa de defeitos nos trechos 1 e 2.

(fonte: Autores)

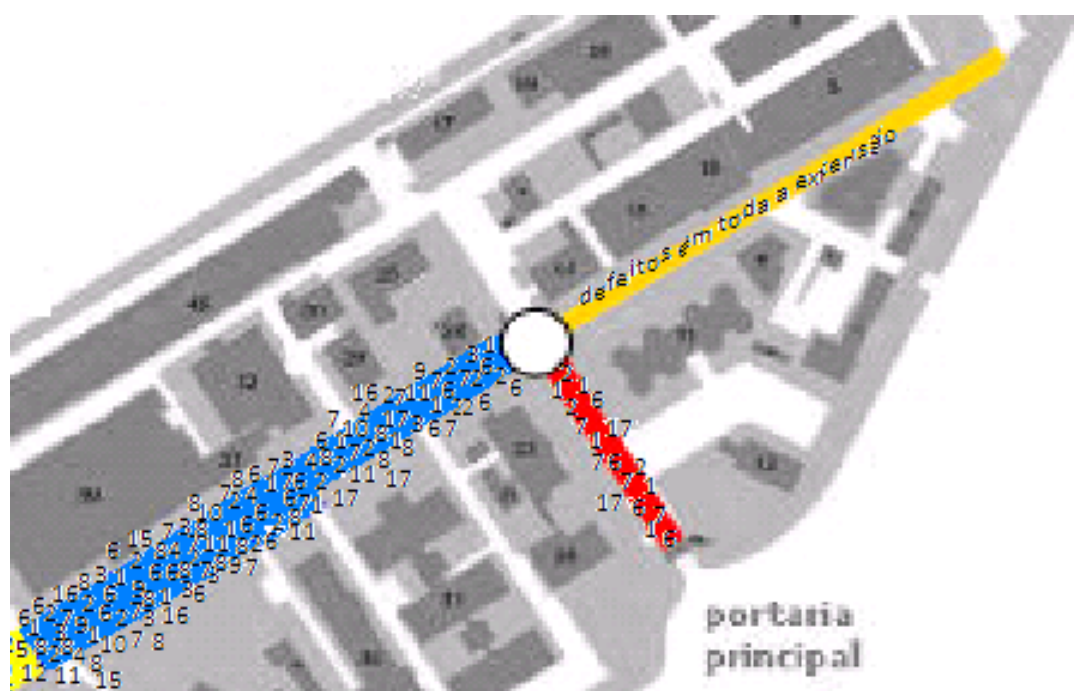


Figura 19: Distribuição ilustrativa de defeitos nos trechos 3, 4 e 5.
(fonte: Autores)

Diagnóstico

No relatório foram incluídas as fotos mais representativas tiradas durante o levantamento. Devido à dificuldade de discriminar todos os defeitos, optou-se por indicar os defeitos mais recorrentes e de maiores magnitudes por trecho.

A partir do levantamento anteriormente apresentado, foi possível detectar a presença de diversos defeitos. A maioria deles apenas do revestimento do pavimento da via principal do campus do IPT. Tais defeitos têm forte impacto no dia-a-dia dos usuários da via na sede do instituto.

Blocos soltos e buracos podem causar acidentes, especialmente com pedestres desatentos; o mau estado das superfícies do revestimento revela o baixo nível de conforto quanto a ruídos e vibrações oferecidos aos usuários, como também degrada o nível de segurança quanto à aderência pneu-pavimento; depressões acumulam águas pluviais favorecendo a ocorrência de aquaplanagem.

Ainda são observados pontos isolados onde apenas reparos superficiais não serão suficientes para solucionar os problemas. São locais onde existem depressões que indicam problemas estruturais nas camadas inferiores do pavimento.

Portanto, existem pontos com alta densidade de defeitos na via em estudo que necessitam de reabilitação do revestimento do pavimento e grande apelo dos usuários para que ocorra algum tipo de intervenção visando conferir maior conforto quanto a ruído e vibrações.