Universidade de São Paulo
Escola de Engenharia de São Carlos

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES

LUCIANO GARDANO ELIAS BUCHARLES

CRITÉRIOS PARA AVALIAÇÃO PERICIAL DA MACRO E MICROTEXTURA DE PAVIMENTO ASFÁLTICO EM LOCAL DE ACIDENTE DE TRÂNSITO

São Carlos / SP
2014

Universidade de São Paulo
Escola de Engenharia de São Carlos

LUCIANO GARDANO ELIAS BUCHARLES

CRITÉRIOS PARA AVALIAÇÃO PERICIAL DA MACRO E MICROTEXTURA DE PAVIMENTO ASFÁLTICO EM LOCAL DE ACIDENTE DE TRÂNSITO

Tese apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Doutor em Engenharia.

Área de concentração:
Engenharia de Transportes

Orientador:
Prof. Associado José Leomar Fernandes Júnior

São Carlos / SP
2014

Universidade de São Paulo
Escola de Engenharia de São Carlos

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Gardano Elias Bucharles, Luciano
G918c Critérios para avaliação pericial da macro e microtextura de pavimento asfáltico em local de acidente de trânsito / Luciano Gardano Elias Bucharles; orientador José Leomar Fernandes Júnior. São Carlos, 2014.

Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes e Área de Concentração em Infra-Estrutura de Transporte -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2014.

1. Pavimentação asfáltica. 2. Macrotextura. 3. Microtextura. 4. Aderência pneu/pavimento. 5. Acidente de trânsito. 6. Segurança viária. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Engenheiro **LUCIANO GARDANO ELIAS BUCHARLES**

Título da tese: "Critérios para avaliação pericial da macro e microtextura de pavimento asfáltico em local de acidente de trânsito"

Data da defesa: 28/03/2014

Comissão Julgadora:	**Resultado:**
Prof. Associado **José Leomar Fernandes Júnior (Orientador)** (Escola de Engenharia de São Carlos/USP)	APROVADO
Profa. Dra. **Ana Paula Furlan** (Escola de Engenharia de São Carlos/USP)	Aprovado
Profa. Dra. **Eliane Viviani** (Universidade Federal de São Carlos/UFSCar)	APROVADO
Profa. Dra. **Bárbara Stolte Bezerra** (Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"/UNESP-Bauru)	Aprovado
Prof. Dr. **John Kennedy Guedes Rodrigues** (Universidade Federal de Campina Grande/UFCG)	APROVADO

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes:
Prof. Associado **Antônio Nélson Rodrigues da Silva**

Presidente da Comissão de Pós-Graduação:
Prof. Titular **Denis Vinicius Coury**

À minha mãe Marilena, ao
meu pai José Elias (*in memoriam*), aos meus
irmãos Sérgio, Andrea e
Daniela, e à Rachel, esposa.

AGRADECIMENTOS

Ao **Prof. Dr. José Leomar Fernandes Júnior**, meu orientador, pela amizade, apoio, paciência e incentivo durante a realização deste trabalho.

À **Marilena Gardano Elias Bucharles**, mãe, pela vida dedicada aos filhos, sempre com muito amor e carinho.

Ao **José Elias Bucharles Filho**, pai, que para sempre mora no meu coração.

Aos meus irmãos **Sérgio**, **Andrea** e **Daniela**, que sempre estiveram ao meu lado em todas as etapas da vida.

À **Rachel Nicolini**, esposa, que apoiou e acompanhou o desenvolvimento dos estudos, sempre com muita paciência.

Aos funcionários do Departamento de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos, em especial às **Sras. Beth** e **Heloisa**, pela ajuda oferecida constantemente.

RESUMO

BUCHARLES, Luciano Gardano Elias. Critérios para avaliação pericial da macro e microtextura de pavimento asfáltico em local de acidente de trânsito. 2014. 153 p. Tese (Engenharia de Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo (EESC/USP), São Carlos, 2014.

Muito embora a micro e a macrotextura dos pavimentos sejam importantes para o tráfego seguro, principalmente em condição de pista molhada e com velocidades superiores a 50 km/h, nos locais de acidentes de trânsito no Brasil esses parâmetros não são avaliados quando das perícias técnicas. Assim, o objetivo principal desta tese é estabelecer critérios de avaliação de pavimentos asfálticos que possam integrar um protocolo para a perícia técnica em locais de acidentes de trânsito. Foi baseada em coleta de dados de micro e de macrotextura dos revestimentos asfálticos em três rodovias no Estado do Paraná, num total de 106 locais, e em quatro vias urbanas na cidade de Londrina/PR, num total de 148 locais, todas com velocidades permitidas iguais ou superiores a 50 km/h, especificamente em trechos onde ocorreram acidentes de trânsito, o que permitiu a determinação da aderência na interface pneu/pavimento, se os valores encontram-se dentro das faixas de aceitabilidade do DNIT, da ANTT e da ARTESP e se houve efetiva contribuição do pavimento para a ocorrência e para a severidade dos acidentes. Dos 106 acidentes rodoviários analisados, em 19 deles as alturas médias de mancha de areia, parâmetro empregado para avaliar a macrotextura, apresentaram-se com valor inferior ao mínimo recomendado (0,60 mm), enquanto que dos 148 acidentes ocorridos em vias urbanas, 22 ocorreram em trechos com alturas médias de mancha de areia também inferiores ao valor mínimo recomendado. Nesses casos também foram realizados ensaios de microtextura, com uso do pêndulo britânico, e posteriormente foram calculados os valores do Índice de Atrito Internacional (*International Friction Index*, IFI) na interface pneu/pavimento. Os resultados e as análises deste trabalho indicam que uma melhor condição de macrotextura pode reduzir entre 6% e 19% as energias cinéticas envolvidas nos acidentes em rodovias e de 3% a 11% em vias urbanas, com real possibilidade de redução tanto das avarias produzidas nos veículos quanto, principalmente, das lesões nas vítimas. Dada a importância da micro e da macrotextura, recomenda-se que o protocolo de avaliação de pavimentos para perícias técnicas em locais de acidentes de trânsito em rodovias e em vias urbanas estabeleça a realização dos ensaios de Pêndulo Britânico e de Mancha de Areia em até 24 horas após o evento e que a área a ser levantada contemple toda a extensão das marcas de frenagem dos veículos envolvidos ou, no caso de inexistência de marcas, que compreenda uma extensão de 10 a 70 metros, respectivamente para vias com velocidade máxima permitida de 40 km/h e de 120 km/h. Espera-se, complementarmente, que um protocolo com critérios simples e objetivos, como o desenvolvido neste trabalho, permita a adoção de políticas públicas preventivas, de maior alcance e periodicidade, com as avaliações não somente nos trechos onde ocorrem acidentes, mas ao longo das vias.

Palavras-Chave: Pavimentação asfáltica; Macrotextura; Microtextura; Aderência pneu/pavimento; Acidente de trânsito; Segurança viária.

ABSTRACT

BUCHARLES, Luciano Gardano Elias. Criteria for the expert evaluation of macro and micro texture of the asphalt pavement at traffic accident sites. 2014. 153 p. Thesis (Transportation Engineering) – São Carlos School of Engineering – São Paulo University (EESC/USP), São Carlos, 2014.

Although the micro and macro textures of pavements are important factors for safe driving, especially on wet tracks and with speeds above 50km/h, such parameters are not even evaluated during technical inspections in traffic accident sites in Brazil. Thus, the main purpose of this thesis is to establish criteria for the evaluation of asphalt pavements that may become integral part of a protocol for technical inspection in traffic accident sites. This work is based on the collection of data concerning the micro and macro texture of asphalt pavements on three roads in the State of Paraná, totaling 106 locations, and on four urban streets in the city of Londrina, State of Paraná, totaling 148 locations. All such locations have a speed limit of equal to or higher than 50km/h, especially on the sites where traffic accidents occurred, which allowed for the determination of the tire/pavement adherence, and whether the values found were in accordance with the acceptable levels established by DNIT, ANTT and ARTESP, and whether there was effective contribution on the part of the pavement for the occurrence as well as the severity of the accidents. Out of the 106 road accidents that were analyzed, it was observed that in 19 of them the average heights of the sand spot, a parameter used to evaluate the macro-texture, were lower than the minimum value recommended (0,60 mm), while out of the 148 accidents taken place in urban streets, 22 took place in areas where the average heights of the sand spot were also lower than the recommended minimum value. In the case of the accidents that occurred in places where the heights of the sand spots were lower than the minimum recommended, micro texture essays were also carried out by use of the *British Pendulum Tester*, and later the values of the *International Friction Index (IFI)* were calculated. The results and the analyzes of this work indicated that a better condition in the macro texture would reduce the kinetic energies involved in road accidents between 6% and 19%, and from 3% to 11% on urban streets, with the real possibility of minimizing both damages caused to the vehicles and especially the lesions on the victims. Given the importance of micro and macro textures, it is recommended that the protocol for the evaluation of pavements for the purpose of technical inspection in traffic accident sites both on roads and urban streets require the carrying out of the British Pendulum Tester and the Sand Spot within 24 hours of the time of the accident and that the area to be tested should include the entire extension of the braking skid marks of the vehicles involved in the accident, or, in the case of inexistence of such marks, covering 10 to 70 meters, respectively, for locations where the permitted maximum speed is 40km/h, and for locations where the permitted maximum speed is 120km/h. It is additionally expected that a protocol having simple yet objective criteria, such as the ones developed in this work, will allow for the adoption of preventive public policies, having greater scope and periodical applications, not only on sites where accidents take place, but also on the entirety of roads and streets.

Key Words: Asphalt pavement; Macro-texture; Micro-texture; Adherence of tire to pavement; Traffic accident; Road safety.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Mortes por bilhão de quilômetros 3
Figura 1.2 - Produção de veículos no Brasil para vendas internas e externas período 2001-2011 3
Figura 2.1 - Atrito por adesão e devido à perda por histerese 11
Figura 2.2 - Deslocamento da água conforme conceito das 3 zonas 13
Figura 2.3 - Microtextura e macrotextura 17
Figura 2.4 - Superfície em função da macro e microtextura 17
Figura 2.5 - Sequência de realização do ensaio de mancha de areia 26
Figura 2.6 - Diagrama esquemático do ensaio de mancha de areia 27
Figura 2.7 - Ensaio de mancha de graxa 28
Figura 2.8 - Ensaio com o drenômetro LTP-EPUSP 29
Figura 2.9 - Exemplo de perfilômetro a laser 29
Figura 2.10 - *Mini Texture Meter* 30
Figura 2.11 - Equipamento pêndulo britânico 31
Figura 2.12 - Equipamento pêndulo britânico 31
Figura 2.13 - Equipamento pêndulo britânico sendo utilizado 31
Figura 2.14 - Equipamento pêndulo britânico sendo utilizado 31
Figura 2.15 - Equipamento pêndulo britânico sendo utilizado 31
Figura 2.16 - *Dynamic friction tester em operação* 32
Figura 2.17 - *Mu-meter* sendo utilizado 33
Figura 2.18 - *Sideways force coefficient routine investigation machine* 33
Figura 2.19 - Equipamento *grip tester* sendo utilizado 34
Figura 2.20 - Leito asfáltico com defeito característico de desgaste 44
Figura 2.21 - Leito asfáltico com agregados polidos 45
Figura 2.22 - Leito com exsudação do ligante asfáltico 45
Figura 2.23 - Fluxograma de serviços periciais em acidentes de trânsito 63
Figura 3.1 - Fotografia ilustrativa da PR-090, no trecho pesquisado 68
Figura 3.2 - Resultados dos ensaios de mancha de areia na faixa de sentido Ibiporã – Alvorada do Sul 69
Figura 3.3 - Resultados dos ensaios de mancha de areia na faixa de sentido Alvorada do Sul – Ibiporã 69
Figura 3.4 - Fotografia ilustrativa da PR-323, no trecho pesquisado 71
Figura 3.5 - Resultados dos ensaios de mancha de areia na faixa de sentido Londrina – Divisa com o Estado de São Paulo 72

Figura 3.6 - Resultados dos ensaios de mancha de areia na faixa de sentido Divisa com o Estado de São Paulo – Londrina 72

Figura 3.7 - Fotografia ilustrativa da PR-445, no trecho pesquisado 74

Figura 3.8 - Resultados dos ensaios de mancha de areia na faixa de sentido Mauá da Serra – Divisa com o Estado de São Paulo 75

Figura 3.9 - Resultados dos ensaios de mancha de areia na faixa de sentido Divisa com o Estado de São Paulo – Mauá da Serra 75

Figura 3.10 - Fotografia ilustrativa da Avenida Dez de Dezembro 78

Figura 3.11 - Resultados dos ensaios de mancha de areia na faixa de sentido BR-369 – PR-445 79

Figura 3.12 - Resultados dos ensaios de mancha de areia na faixa de sentido PR-445 – BR-369 79

Figura 3.13 - Fotografia ilustrativa da Avenida Juscelino Kubitschek 81

Figura 3.14 - Resultados dos ensaios de mancha de areia na faixa de sentido Av. Rio Branco – Av. Santos Dumont 82

Figura 3.15 - Resultados dos ensaios de mancha de areia na faixa de sentido Av. Santos Dumont – Av. Rio Branco 82

Figura 3.16 - Fotografia ilustrativa da Avenida Leste-Oeste 84

Figura 3.17 - Resultados dos ensaios de mancha de areia na faixa de sentido Av. Dez de Dezembro – Av. Brasília 85

Figura 3.18 - Resultados dos ensaios de mancha de areia na faixa de sentido Av. Brasília – Av. Dez de Dezembro 85

Figura 3.19 - Fotografia ilustrativa da Avenida Tiradentes 88

Figura 3.20 - Resultados dos ensaios de mancha de areia na faixa de sentido Av. Rio Branco – BR-369 88

Figura 3.21 - Resultados dos ensaios de mancha de areia na faixa de sentido BR-369 – Av. Rio Branco 89

Figura 4.1 - Fotografia do dia do acidente analisado na Rodovia PR-445 108

Figura 4.2 - Fotografia do dia do acidente analisado na Rodovia PR-445 108

Figura 4.3 - Fotografia do dia do acidente analisado na Rodovia PR-445 108

Figura 4.4 - Fotografia do dia do acidente analisado na Rodovia PR-445 108

Figura 4.5 - Fotografia do local, tomada 11 meses depois do acidente 108

Figura 4.6 - Fotografia do local, tomada 11 meses depois do acidente 108

Figura 4.7 - Fotografia do local, tomada 11 meses depois do acidente 109

Figura 4.8 - Fotografia do local, tomada 11 meses depois do acidente 109

Figura 4.9 - Protocolo para avaliação pericial da macro e microtextura do pavimento asfáltico em local de acidente de trânsito 110

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 - Custos médios de acidentes de trânsito, por gravidade..... 2
Tabela 1.2 - Fatores contribuintes de acidentes 4
Tabela 1.3 - Fatores contribuintes de acidentes 4
Tabela 1.4 - Fatores contribuintes de acidentes 5
Tabela 1.5 - Fatores contribuintes de acidentes 5
Tabela 2.1 - Hidroplanagem: total e parcial, modelo das três zonas..... 13
Tabela 2.2 - Classificação de textura 17
Tabela 2.3 - Velocidade de danos (Vd) em função dos tipos de avarias 20
Tabela 2.4 - Velocidade de danos (Vd) em função da intensidade das avarias..... 20
Tabela 2.5 - Velocidades máximas permitidas para vias rurais (rodovias) 23
Tabela 2.6 - Velocidades máximas permitidas para vias rurais (estradas) 23
Tabela 2.7 - Velocidades máximas permitidas para vias urbanas 23
Tabela 2.8 - Valores de **a** e **b** para o cálculo do Sp 35
Tabela 2.9 - Equipamentos que foram calibrados para o cálculo do F_{60} 36
Tabela 2.10 - Faixas de classificação do IFI 38
Tabela 2.11 - Faixas de classificação do IFI para agências reguladoras..... 38
Tabela 2.12 - Faixas de classificação do IFI para perícias 38
Tabela 2.13 - Níveis de serventia..... 40
Tabela 2.14 - Classes de microtextura..... 46
Tabela 2.15 - Classes de microtextura..... 46
Tabela 2.16 - Classes de microtextura para perícias..... 47
Tabela 2.17 - Classes de microtextura para agências reguladoras 47
Tabela 2.18 - Valores limites propostos pelo Comitê Marshall..... 48
Tabela 2.19 - Classes de macrotextura 48
Tabela 2.20 - Valores de IFI (F_{60}) 49
Tabela 2.21 - Valores recomendados para micro e macrotextura..... 50
Tabela 2.22 - Valores recomendados para o atrito 50
Tabela 2.23 - Valores recomendados para textura 50
Tabela 2.24 - Valores recomendados para atrito 51
Tabela 2.25 - Valores recomendados para micro e macrotextura (obras novas) 51
Tabela 2.26 - Valores de atrito (microtextura) para intervenção 51

Tabela 2.27 - Valores recomendados para investigação de textura 52

Tabela 2.28 - Valores recomendados para investigação de atrito 52

Tabela 2.29 - Níveis de investigação em termos de *IFI* (S_p; F_{60}) para velocidades maiores que 70km/h 53

Tabela 2.30 - Níveis de investigação em termos de *IFI* (S_p; F_{60}) para velocidades menores que 70km/h 53

Tabela 2.31 - Valores mínimos recomendados para textura (obras novas) 54

Tabela 2.32 - Valores mínimos recomendados para resistência à derrapagem (obras novas) 54

Tabela 2.33 - Extensão de avaliação do pavimento a partir da API, para ambos os sentidos de tráfego (leito de rolamento em nível) 60

Tabela 3.1- Classificação quanto à macrotextura (ensaio de mancha de areia) 66

Tabela 3.2 - Classificação quanto à microtextura para perícias (ensaio de pêndulo britânico) 66

Tabela 3.3 - Alturas de mancha de areia nos locais dos acidentes de trânsito (PR-090) 69

Tabela 3.4 - VRD nos locais de acidentes de trânsito que apresentaram HS inferior ao mínimo recomendado (PR-090) 70

Tabela 3.5 - Alturas de mancha de areia nos locais dos acidentes de trânsito (PR-323) 73

Tabela 3.6 - VRD nos locais de acidentes de trânsito que apresentaram HS inferior ao mínimo recomendado (PR-323) 73

Tabela 3.7 - Alturas de mancha de areia nos locais dos acidentes de trânsito (PR-445) 76

Tabela 3.8 - VRD nos locais de acidentes de trânsito que apresentaram HS inferior ao mínimo recomendado (PR-445) 77

Tabela 3.9 - Alturas de mancha de areia nos locais dos acidentes de trânsito (Av. Dez de Dezembro) 80

Tabela 3.10 - VRD nos locais de acidentes de trânsito que apresentaram HS inferior ao mínimo recomendado (Av. Dez de Dezembro) 81

Tabela 3.11 - Alturas de mancha de areia nos locais dos acidentes de trânsito (Av. Juscelino Kubitschek) 83

Tabela 3.12 - VRD nos locais de acidentes de trânsito que apresentaram HS inferior ao mínimo recomendado (Av. Juscelino Kubitschek) 84

Tabela 3.13 - Alturas de mancha de areia nos locais dos acidentes de trânsito (Av. Leste-Oeste) 86

Tabela 3.14 - VRD nos locais de acidentes de trânsito que apresentaram HS inferior ao mínimo recomendado (Av. Leste-Oeste) 87

Tabela 3.15 - Alturas de mancha de areia nos locais dos acidentes de trânsito (Av. Tiradentes) 89

Tabela 3.16 - VRD nos locais de acidentes de trânsito que apresentaram HS inferior ao mínimo recomendado (Av. Tiradentes) 90

Tabela 4.1 - Velocidades e energias cinéticas envolvidas nos acidentes rodoviários nos trechos com altura de mancha de areia inferior a 0,60 mm 91

Tabela 4.2 - Velocidades e energias cinéticas envolvidas nos acidentes rodoviários nos trechos com altura de mancha de areia superior a 0,60 mm 92

Tabela 4.3 - Valores de HS, VRD e IFI nos locais dos acidentes com valores de altura de mancha de areia inferiores ao mínimo recomendado (rodovias) 96

Tabela 4.4 - Velocidades e energias cinéticas envolvidas nos acidentes urbanos nos trechos com altura de mancha de areia inferior a 0,60mm 98

Tabela 4.5 - Velocidades e energias cinéticas envolvidas nos acidentes urbanos nos trechos com altura de mancha de areia superior a 0,60mm 99

Tabela 4.6 - Valores de HS, VRD e IFI nos locais dos acidentes com valores de altura de mancha de areia inferiores ao mínimo recomendado (vias urbanas)..... 104

Tabela 4.7 - Ensaios de mancha de areia repetidos nos locais dos acidentes com valores inferiores ao mínimo recomendado (rodovias)..... 106

Tabela 4.8 - Ensaios de mancha de areia repetidos nos locais dos acidentes com valores inferiores ao mínimo recomendado (vias urbanas)..... 107

LISTA DE ABREVIATURAS

AASHTO	*American Association of State Highway and Transportation Officials*
ABPv	Associação Brasileira de Pavimentação
ANFAVEA	Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores
ANTT	Agência Nacional de Transportes Terrestres
API	Área Provável de Impacto
ARTESP	Agência de Transportes do Estado de São Paulo
ASTM	*American Society for Testing and Materials*
CAL	Coeficiente de Atrito Longitudinal
CAT	Coeficiente de Atrito Transversal
CBUQ	Concreto Betuminoso Usinado a Quente
CTB	Código de Trânsito Brasileiro
DENATRAN	Departamento Nacional de Trânsito
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
EP	Estradas de Portugal
EPUSP	Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
IFI	*International Friction Index*
IMBQ	Índice de Mortes por Bilhão de Quilômetros
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
LTP	Laboratório de Tecnologia de Pavimentação
MEMS	*Micro-Electro-Mechanical Systems*
NASA	*National Aeronautics and Space Administration*
NCHRP	*National Cooperative Highway Research Program*
NHTSA	*National Highway Traffic Safety Administration*
OFT	*Outflow Time*
OMS	Organização Mundial da Saúde
PIB	Produto Interno Bruto
PSI	Libras por Polegada ao Quadrado
SAMU	Serviço de Atendimento Móvel de Urgência
SIATE	Serviço Integrado de Atendimento ao Trauma em Emergência
SCRIM	*Sideways Force Coefficient Routine Investigation Machine*
SGP	Sistemas de Gerência de Pavimento
TWI	*Tire Wear Index*

LISTA DE SÍMBOLOS

μ	Coeficiente de atrito
A	Área
d	Distância de frenagem
F	Força de atrito
f	Coeficiente de atrito longitudinal pneu/pavimento
g	Aceleração da gravidade
h	Inclinação longitudinal do leito
N	Força normal
D_m	Diâmetro médio
E_c	Energia cinética
H_g	Altura média de mancha de graxa
H_m	Altura média de mancha de areia
m	Massa
P	Pressão de enchimento dos pneus
$\vec{P}$	Quantidade de movimento linear
u	Velocidade do veículo depois da colisão
v	Velocidade do veículo antes da colisão
V	Volume
V_d	Velocidade de danos
V_f	Velocidade de frenagem
V_{min}	Velocidade mínima
V_{med}	Velocidade média

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 1
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS 1
1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO 8

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 10
2.1 ANÁLISE FÍSICA DO ATRITO NA INTERFACE PNEU/PAVIMENTO 10
2.2 O FENÔMENO DA HIDROPLANAGEM 11
2.2.1 Hidroplanagem Dinâmica 13
2.2.2 Hidroplanagem Viscosa 15
2.2.3 Hidroplanagem de Borracha Revertida 15
2.3 TEXTURA DO PAVIMENTO 16
2.3.1 Drenagem Superficial do Pavimento 18
2.3.2 Bandas de Rodagem 18
2.3.3 Precipitação no Local do Acidente 18
2.3.4 Velocidade do Veículo 19
2.3.5 Energia Envolvida no Acidente 22
2.3.6 Limites Legais de Velocidade 23
2.4 MACROTEXTURA DO PAVIMENTO 25
2.4.1 Mancha de Areia 26
2.4.2 Mancha de Graxa 27
2.4.3 Drenômetro LTP-EPUSP 28
2.4.4 Perfilômetro a Laser 29
2.4.5 *Mini Texture Meter* 30
2.5 MICROTEXTURA DO PAVIMENTO 30
2.5.1 Pêndulo Britânico 31
2.5.2 *Dynamic Friction Tester - DFT* 32
2.5.3 *Mu-Meter* 32
2.5.4 *Sideways Force Coefficient Routine Investigation Machine - SCRIM* 33
2.5.5 *Grip Tester* 34
2.6 *INTERNATIONAL FRICTION INDEX* - IFI 34
2.6.1 Cálculo do IFI 35

2.6.2 Classificação de Aderência Pneu/Pavimento pelo IFI 37
2.7 CARACTERÍSTICAS DA CAMADA DE ROLAMENTO NAS CONDIÇÕES DE TRAFEGABILIDADE 39
2.8 DEFEITOS DE SUPERFÍCIE DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS 41
2.8.1 Defeitos 42
2.8.2 Defeitos de Superfície de Pavimentos Asfálticos com Interferência no Atrito na Interface Pneu/Pavimento 43
2.9 RECOMENDAÇÕES DE SEGURANÇA QUANTO À ADERÊNCIA DO REVESTIMENTO 45
2.9.1 Brasil 45
2.9.2 Estados Unidos da América 49
2.9.3 Suíça 50
2.9.4 Austrália 50
2.9.5 Espanha 51
2.9.6 Nova Zelândia 52
2.9.7 Portugal 54
2.10 SISTEMÁTICA PARA ATENDIMENTO DE ACIDENTES DE TRÂNSITO 54
2.10.1 Acidentes Rodoviários 55
2.10.2 Acidentes Urbanos 56
2.10.3 Determinação da Área de Análise 57
2.10.4 Momento da Realização dos Ensaios 60
2.11 ASPECTOS PERICIAIS EM ACIDENTES DE TRÂNSITO 61

3 PESQUISA DE CAMPO E RESULTADOS 64
3.1 RODOVIAS ESTADUAIS NO ESTADO DO PARANÁ 67
3.1.1 Rodovia Estadual PR-090 67
3.1.2 Rodovia Estadual PR-323 71
3.1.3 Rodovia Estadual PR-445 74
3.2 VIAS URBANAS NA CIDADE DE LONDRINA / PR 78
3.2.1 Avenida Dez de Dezembro 78
3.2.2 Avenida Juscelino Kubitschek 81
3.2.3 Avenida Leste-Oeste 84
3.2.4 Avenida Tiradentes 87

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS 91

4.1 ANÁLISE DOS PAVIMENTOS EM LOCAIS DE ACIDENTES RODOVIÁRIOS COM VALORES DE ALTURA DE MANCHA DE AREIA INFERIORES AO RECOMENDADO PELO DNIT, ANTT E ARTESP 91

4.1 ANÁLISE DOS PAVIMENTOS EM LOCAIS DE ACIDENTES URBANOS COM VALORES DE ALTURA DE MANCHA DE AREIA INFERIORES AO RECOMENDADO PELO DNIT, ANTT E ARTESP 97

4.3 ÁREA DE ANÁLISE 105

4.4 MOMENTO DE REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS 105

4.5 PROTOCOLO PARA AVALIAÇÃO PERICIAL DA MACRO E MICROTEXTURA DE PAVIMENTO ASFÁLTICO EM LOCAL DE ACIDENTE DE TRÂNSITO 110

5 CONCLUSÕES 111

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 113

APÊNDICES 118

Apêndice A - Questionário sobre pavimento asfáltico apresentado a peritos criminais do Brasil e do exterior, a fim de verificar a avaliação da macro e microtextura de pavimento asfáltico em local de acidente de trânsito 119

Apêndice B - Ofício ao DER/PR solicitando informações sobre as estruturas dos pavimentos rodoviários das três rodovias onde foram realizadas as avaliações 121

Apêndice C - Ofício à Secretaria de Obras e Pavimentação da Prefeitura Municipal de Londrina/PR solicitando informações sobre as estruturas dos pavimentos rodoviários das quatro avenidas onde foram realizadas as avaliações 153

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A Organização Mundial da Saúde – OMS (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2010) define acidente como sendo "um evento independente do desejo do homem, causado por uma força externa, alheia, que atua subitamente e deixa ferimentos no corpo e na mente". Pode-se considerar um acidente, portanto, um evento não intencional e que causa ferimentos ou danos. Permanecendo na mesma linha de raciocínio, acidente de trânsito pode ser definido como uma colisão ou incidente entre um ou mais veículos, com pelo menos um deles em movimento, em uma via urbana ou rural (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2010).

Além da perda de vidas humanas, os acidentes de trânsito geram elevados custos materiais. Os custos envolvidos em um acidente de trânsito podem decorrer de: congestionamento, danos a veículos, custo operacional de elementos do sistema de atendimento, perda de rendimentos futuros, gestão de seguros, danos ao patrimônio público, custos funerais, custos médico-hospitalares, custos subjetivos de pesar, dor e sofrimento e custos administrativos de processos judiciais.

Segundo estudos do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), o Brasil gasta, anualmente, cerca de 1% do Produto Interno Bruto (PIB) com os danos pessoais e materiais advindos de acidentes de trânsito (BRASIL, 2004a). No ano de 2012, o custo foi de aproximadamente 50 bilhões de reais, sendo 38 bilhões em acidentes rodoviários e 12 bilhões em acidentes em perímetros urbanos (FERRAZ et al., 2012).

Por óbvio, quanto maior o número de acidentes, maiores os gastos envolvidos com as vítimas e com todos os aspectos relacionados. Apenas no ano de 2000, os custos envolvidos com acidentes de trânsito, somente em rodovias norte-americanas, foram estimados em aproximadamente US$ 231 bilhões (NOYCE et al., 2005; NATIONAL HIGHWAY TRAFFIC SAFETY ADMINISTRATION, 2004 apud HALL, 2008).

O Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN) e o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) realizaram um estudo que verificou que o custo médio de um acidente varia conforme a gravidade, podendo chegar, em valores atualizados, a mais de seiscentos mil reais para cada vítima fatal (Tabela

1.1) (BRASIL, 2006a). Nesta tabela os valores originais são de dezembro de 2005, sendo atualizados até o mês de janeiro de 2013.

Nível de Gravidade do Acidente	Nº de Casos	Custo Total (R$/dez/05)	%	Custo Médio (R$/dez/05)	Custo Médio (R$/jan/13)
Sem Vítima	68.423	1.152.269.508	17,7	16.840,00	25.348,00
Com Vítima (lesão)	36.966	3.180.258.879	48,8	86.032,00	129.496,00
Com Vítima (fatal)	5.210	2.179.556.664	33,5	418.341,00	629.688,00
Todos	**110.599**	**6.512.085.051**	**100,0**	**58.880,00**	**88.627,00**

Tabela 1.1 - Custos médios de acidentes de trânsito, por gravidade.
Fonte: Adaptado de Brasil (2006a).

Anualmente, morrem mais de 1,3 milhão de pessoas em decorrência de acidentes de trânsito, sendo de quase 50 milhões o número de pessoas lesionadas em todo o mundo (SANY; NAVIN, 2004; WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2009). Apenas em rodovias, entre os anos de 1990 e 2003, ocorreram mais de 6 milhões de acidentes, resultando em 3 milhões de pessoas lesionadas e 42 mil mortes nos Estados Unidos da América (NOYCE et al., 2005; NATIONAL HIGHWAY TRAFFIC SAFETY ADMINISTRATION, 2004 apud HALL, 2008).

Muito embora os países em desenvolvimento contenham apenas 20% da frota de automóveis do mundo, aproximadamente 90% das mortes no trânsito ocorrem justamente nestes países (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2009). Ocasionaram tais números nos países em desenvolvimento, entre outros, os seguintes fatores (FERRAZ et al., 2012): falta de cultura de segurança no trânsito, resultando em motoristas imprudentes; vias mal projetadas e com conservação inadequada; frota antiga e sem manutenção; legislação inadequada; ausência de fiscalização eficiente; frota excessiva de motocicletas e assemelhados, uma vez que as motocicletas, em números absolutos, envolvem-se mais em acidentes de trânsito quando comparados a outros tipos de veículos; socorro médico precário, ocasionando uma demora no atendimento das vítimas.

É o que se observa quando se comparam os números de países desenvolvidos com o Brasil. O índice de mortes por bilhão de quilômetros percorridos pela frota de veículos rodoviários (IMBQ) é o parâmetro mais adequado

para fazer essa comparação. A Figura 1.1, elaborada por Ferraz et al. (2012), mostra que o índice brasileiro é até 12 vezes superior a de países desenvolvidos, sendo de 52,46 enquanto o da Suécia é de 4,40.

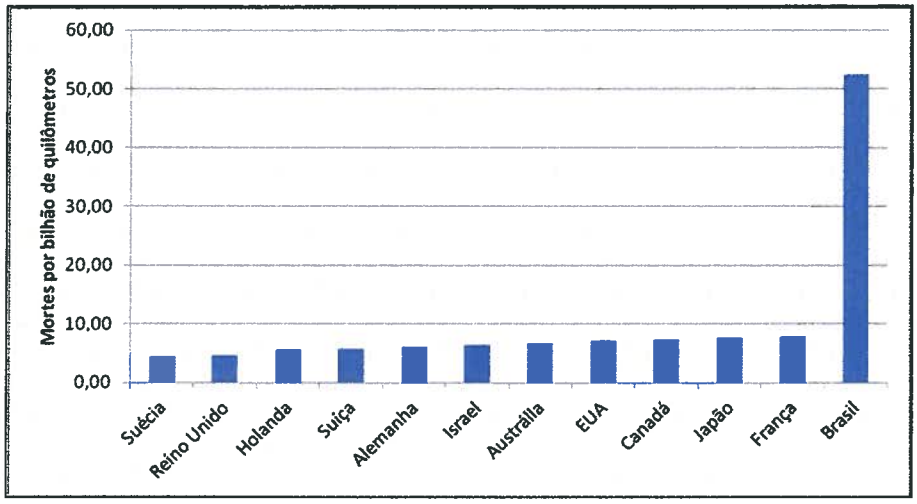


Figura 1.1 - Mortes por bilhão de quilômetros.
Fonte: Ferraz et al. (2012).

O aumento da frota de veículos em circulação tende a elevar o número de acidentes, uma vez que a malha viária não acompanha o mesmo ritmo de crescimento da indústria automobilística. No Brasil, segundo a Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA, 2014), nos últimos doze anos houve um incremento superior a 100% na produção anual de veículos, sendo fabricados mais de três milhões e setecentos mil veículos em 2013 (Figura 1.2).

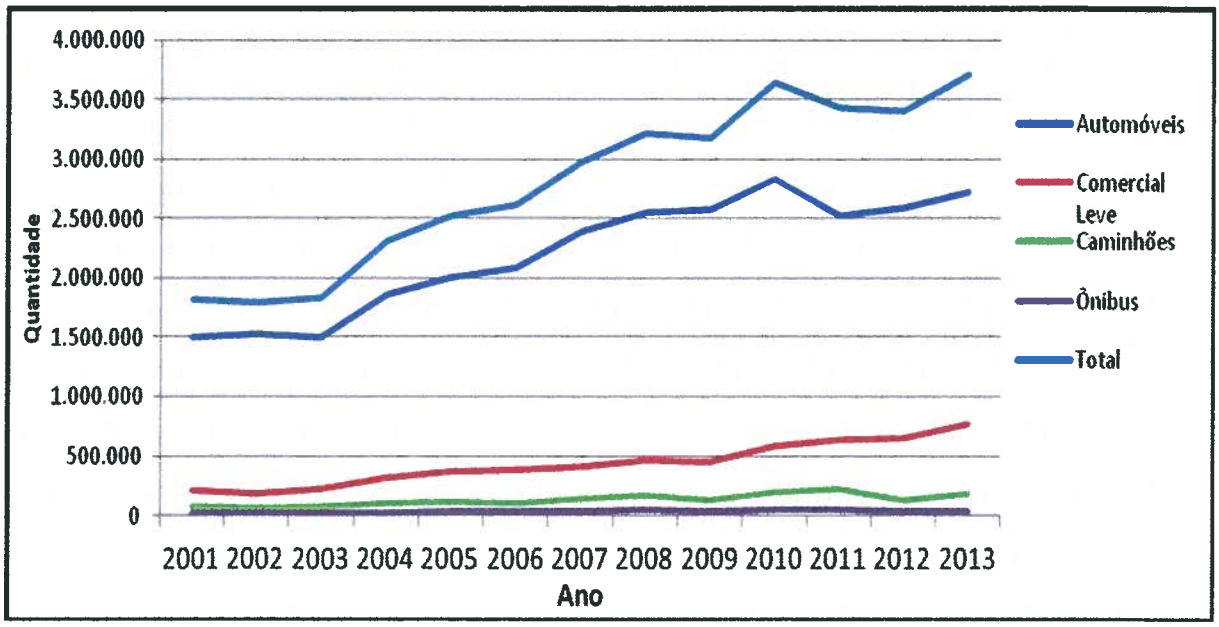


Figura 1.2 - Produção de veículos no Brasil para vendas internas e externas, período 2001-2013.
Fonte: Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (2014).

Os acidentes de trânsito podem ocorrer por três fatores, isolados ou combinados: humano, via e veículo. Estudo realizado por Sany e Navin (2004) indicou porcentagens semelhantes às levantadas por Sabey (1980), após análise de 2.042 acidentes. Muito embora os dados apontem uma preponderância do fator humano, observa-se uma contribuição (isolada ou combinada) significativa das vias para a ocorrência de acidentes, da ordem de 28% (Tabelas 1.2 e 1.3).

Fator	% Individuais	Fator Via (%)	Fator Humano (%)	Fator Veículo (%)
Humano	66,50		66,50	
Via	3,50	3,50		
Veículo	3,50			3,50
Humano + Via	23,50	23,50	23,50	
Humano + Veículo	2,00		2,00	2,00
Via + Veículo	0,25	0,25		0,25
Humano + Via + Veículo	0,75	0,75	0,75	0,75
TOTAL	**100,00**	**28,00**	**92,75**	**6,50**

Tabela 1.2 - Fatores contribuintes de acidentes.
Fonte: Modificado de Sany e Navin (2004).

Fator	% Individuais	Fator Via (%)	Fator Humano (%)	Fator Veículo (%)
Humano	65,00		65,00	
Via	2,50	2,50		
Veículo	2,50			2,50
Humano + Via	24,00	24,00	24,00	
Humano + Veículo	4,50		4,50	4,50
Via + Veículo	0,25	0,25		0,25
Humano + Via + Veículo	1,25	1,25	1,25	1,25
TOTAL	**100,00**	**28,00**	**94,75**	**8,50**

Tabela 1.3 - Fatores contribuintes de acidentes.
Fonte: Adaptado de Sabey (1980).

Tratam-se de resultados similares aos apresentados por Wienwille et al. (2002 apud FERRAZ, 2012), conforme se observa na Tabela 1.4, mas um pouco diferentes dos valores obtidos, no Brasil, por Scaringella (apud FERRAZ, 2012) (Tabela 1.5), onde o fator via é de 37%.

Fator	% Individuais	Fator Via (%)	Fator Humano (%)	Fator Veículo (%)
Humano	65,00		65,00	
Via	2,00	2,00		
Veículo	2,00			2,00
Humano + Via	25,00	25,00	25,00	
Humano + Veículo	5,00		5,00	5,00
Via + Veículo	0,00			
Humano + Via + Veículo	1,00	1,00	1,00	1,00
TOTAL	**100,00**	**28,00**	**96,00**	**8,00**

Tabela 1.4 - Fatores contribuintes de acidentes.
Fonte: Adaptado de Wienwille et al. (apud FERRAZ, 2012).

Fator	% Individuais	Fator Via (%)	Fator Humano (%)	Fator Veículo (%)
Humano	44,00		44,00	
Via	0,00			
Veículo	0,00			
Humano + Via	29,00	29,00	29,00	
Humano + Veículo	19,00		19,00	19,00
Via + Veículo	0,00			
Humano + Via + Veículo	8,00	8,00	8,00	8,00
TOTAL	**100,00**	**37,00**	**100,00**	**27,00**

Tabela 1.5 - Fatores contribuintes de acidentes.
Fonte: Adaptado de Scaringella (apud FERRAZ, 2012).

Importante observar que o índice de 28%, nas estatísticas internacionais, e de 37%, na estatística nacional, independe das condições de umidade da via, muito embora sejam proporcionalmente mais frequentes e graves os acidentes ocorridos com pavimentos molhados. Estudos norte-americanos indicam que aproximadamente 14% de todos os acidentes com vítimas fatais ocorrem com pistas molhadas (POTTINGER; YAGER, 1986; KUEMMEL et al., apud HALL et al., 2008), número quatro vezes superior ao de acidentes que ocorrem em pistas secas (WAMBOLD; HENRY; HEGMON, 1986).

Os acidentes devido à hidroplanagem geralmente acontecem em situações especiais, com a combinação de alguns fatores, tais como velocidade, espessura da lâmina d'água, pressão hidrodinâmica, textura do pavimento e condições dos sulcos dos pneus, o que exige, portanto, uma análise mais aprofundada antes do estabelecimento da causa. Estudos relatados por Wambold, Henry e Hegmon

(1986), a partir da análise de 500 acidentes, todos em pistas molhadas, indicaram quatro situações que se repetiram na maioria dos casos:

a) Os pavimentos apresentavam pequena macrotextura (macrotextura fechada);
b) As profundidades dos sulcos dos pneus eram pequenas;
c) Os valores dos coeficientes de atrito eram baixos;
d) As velocidades dos veículos imediatamente antes dos acidentes eram altas.

A análise do pavimento é de fundamental importância para verificar não só as condições de segurança da via como, também, de conforto e economia. No que se refere à segurança, em especial a aderência pneu/pavimento, tem-se que a verificação é feita por meio da mensuração do coeficiente de atrito nesta interface, podendo a textura superficial também ser considerada como fator determinante da aderência (APS, 2006).

Muito embora não haja, no Brasil, norma específica que indique os valores mínimos a serem adotados para as camadas de rolamento, diversos editais para concessão e exploração de rodovias federais (DNER, 2000) e manuais de restauração de pavimentos asfálticos (DNIT, 2006a) recomendam faixas de manchas de areia e valores mínimos do Pêndulo Britânico, ensaios estes devidamente normatizados e aceitos para mensuração, respectivamente, da macro e da microtextura do pavimento (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL, 2001b, 1998).

A Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT), em seus programas de exploração de rodovias pela iniciativa privada, menciona que a resistência à derrapagem é uma característica intrínseca do contato entre os pneus e o pavimento, devendo ser avaliados os defeitos de superfície macroscópicos (desgaste e exsudação) e microscópicos (polimento dos agregados) em todos os segmentos considerados críticos (AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES, 2010), tanto em nível de rede quanto em nível de projeto.

Na mesma linha, a Agência de Transportes do Estado de São Paulo (ARTESP) estabelece, em seus editais de concessão de rodovias estaduais, o

atendimento às Normas Britânicas HD 15/87 e HD 36/87, ambas do Departamento de Trânsito de Londres, com parâmetros mínimos exigidos.

Outro aspecto importante refere-se à sistemática de atendimento de acidentes de trânsito rodoviários e urbanos. Os agentes públicos que comparecem para avaliação dos acidentes, em especial os policiais rodoviários (federais e estaduais, em rodovias), os policiais militares (em vias urbanas) e os peritos criminais (federais e estaduais), não contemplam, em seus exames, qualquer avaliação das condições de aderência e atrito na interface pneu/pavimento.

Por meio de questionário (Apêndice A) apresentado a peritos criminais de todos os estados do Brasil, durante a realização do IV Congresso Internacional de Criminalística (Gramado/RS, 2011), a fim de conhecer a realidade brasileira, constatou-se que nos locais de acidentes de trânsito com vítimas fatais não são realizadas análises técnicas no pavimento asfáltico, em especial no que se refere às condições de aderência na interface pneu/pavimento. Os peritos criminais de todos os estados brasileiros confirmaram que nenhuma avaliação da macro ou microtextura do pavimento é realizada em casos de acidentes de trânsito.

Essa foi a mesma situação observada em outros oito países, sendo três da América do Sul (Argentina, Uruguai e Paraguai), quatro da Europa (Itália, Portugal, Espanha e Inglaterra) e um da América do Norte (Estados Unidos), onde, também por meio de entrevista realizada com peritos estrangeiros durante o mesmo congresso, observou-se que não são analisadas as características do asfalto no local do acidente.

As situações anteriormente retratadas são bastante preocupantes, uma vez que os referidos agentes públicos são, dentro das suas áreas de competência, os responsáveis por determinar as causas dos acidentes. Assim, nos casos em que há suspeita de perda de controle direcional do veículo por alguma situação existente na superfície do pavimento, especialmente com pista molhada, nenhuma avaliação quantitativa das condições da camada de rolamento é realizada, comprometendo as conclusões sobre as causas dos acidentes.

Aps (2006), em suas considerações complementares, mencionou que os dados coletados em locais de acidentes de trânsito geralmente não são precisos, uma vez que é bastante difícil o registro de todos os acidentes que acontecem em determinados trechos de uma rodovia, sendo que apenas os acidentes com vítimas

apresentam registros mais precisos, diferentemente daqueles onde ocorrem apenas danos materiais.

Ainda em suas considerações complementares, Aps (2006) informa que a avaliação da influência das características geométricas de uma via na ocorrência de acidentes de trânsito são basicamente realizadas em seções pilotos, o que, por óbvio, não reflete a realidade da rodovia analisada. Concluindo, Aps (2006) reforçou a necessidade de que mais avaliações quantitativas e qualitativas sejam realizadas no que se refere às condições de textura e de atrito do pavimento em relação aos acidentes de trânsito registrados em uma determinada via.

A ausência da avaliação do pavimento, no Brasil, decorre de três fatores:

a) Desconhecimento técnico dos agentes envolvidos (raros são os profissionais que atendem acidentes que apresentam capacitação técnica para proceder aos referidos exames, pois poucos são graduados em engenharia civil);
b) Falta de equipamentos padronizados para avaliação da textura das camadas de rolamento de rodovias e vias urbanas (os Estados e a União não fornecem equipamentos para mensuração dos valores da textura do pavimento, no local dos acidentes);
c) Ausência de uma sistemática técnica que determine a forma de realização dos ensaios, em locais de acidentes de trânsito, para avaliação da textura da camada de rolamento, em especial no que se refere ao momento de realização dos exames e o local exato para tal determinação.

1.2 Objetivos do Trabalho

O **objetivo central** desta tese é estabelecer critérios de avaliação de pavimentos asfálticos em locais de acidentes de trânsito, a fim de verificar se os valores da macrotextura e da microtextura, na interface pneu/pavimento, encontram-se dentro das faixas de aceitabilidade e valores mínimos recomendados, determinando se houve efetiva contribuição do pavimento para a ocorrência e severidade dos acidentes.

Assim, para atingir o objetivo central deste trabalho foram definidos os seguintes **objetivos específicos**:

a) Verificar se há correlação entre a ocorrência dos acidentes de trânsito pesquisados e as condições de aderência dos pavimentos, ou seja, se uma possível baixa aderência na interface pneu/pavimento foi determinante para a ocorrência dos referidos acidentes;
b) Determinar se a gravidade dos acidentes de trânsito que ocorreram em condições insuficientes de aderência do pavimento poderia ser diminuída caso as vias tivessem sido construídas e mantidas em operação com pelo menos os valores mínimos de macrotextura e microtextura recomendados pelo DNIT, pela ANTT e pela ARTESP.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ANÁLISE FÍSICA DO ATRITO NA INTERFACE PNEU/PAVIMENTO

Força de atrito é a força tangencial resistente que atua na interface entre dois corpos, resultante da ação de uma força externa em um corpo que se move ou tende a se mover sobre outro (norma de terminologia G 40-02, da ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL, 2001c). Como consequência, o coeficiente de atrito é o valor decorrente da divisão desta força tangencial pela força normal aplicada a estes corpos, podendo ser representado pela Equação 2.1.

$$\mu = \frac{F}{N} \tag{2.1}$$

Onde:

μ = coeficiente de atrito;

F = força de atrito;

N = força normal.

A mobilidade e a dirigibilidade de um veículo automotor ficam diretamente condicionadas à aderência das bandas de rodagem com a superfície da camada de rolamento do pavimento. No meio rodoviário observa-se que o coeficiente de atrito na interface pneu/pavimento é composto por duas parcelas (Figura 2.1):

a) O atrito por adesão, decorrente da atração molecular das superfícies de contato (forças de *van der Waals*);
b) O atrito devido à perda por histerese, decorrente da deformação cíclica da superfície dos pneus em virtude da aspereza do pavimento, ou seja, é a perda de energia durante um ciclo de deformação e recuperação do material.

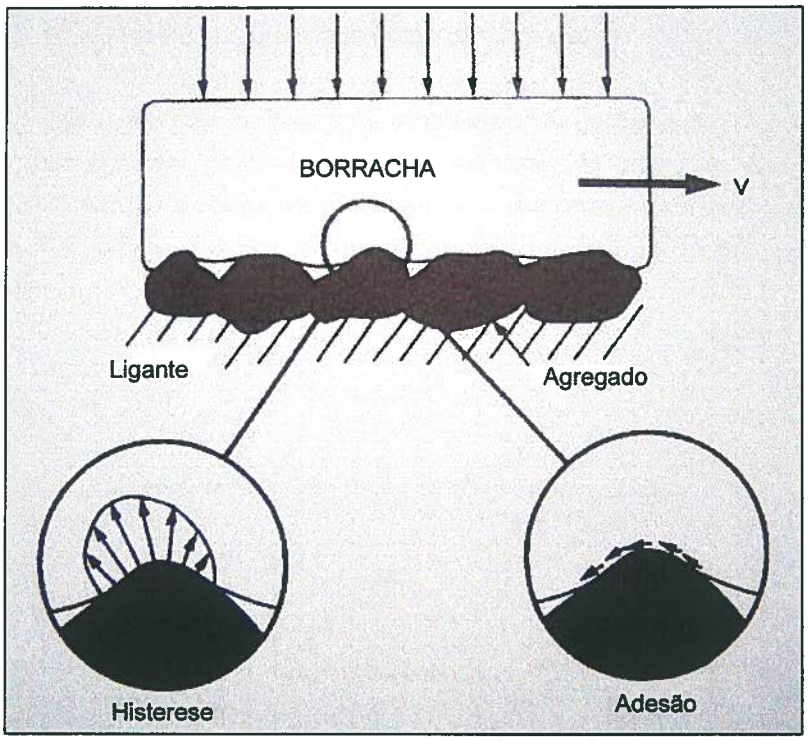


Figura 2.1 - Atrito por adesão e devido à perda por histerese.
Fonte: Santos (2004).

Quando há o atrito do pneu do veículo com a superfície do pavimento podem ocorrer duas situações distintas: rolamento ou deslizamento do pneu sobre o pavimento. E existem dois tipos de coeficientes de atrito: longitudinal e transversal.

O Coeficiente de Atrito Longitudinal (CAL) refere-se à força desenvolvida na área de contato pneu/pavimento quando se arrasta uma roda travada. O ensaio para determinação deste coeficiente simula a resistência ao deslizamento em frenagens emergenciais ou quando um veículo é freado, acelerado ou desacelerado no sentido longitudinal.

Já o Coeficiente de Atrito Transversal (CAT) refere-se à força desenvolvida na área de contato pneu/pavimento perpendicular ao plano de rotação da roda, formando um ângulo em relação à sua direção de rotação. O ensaio para determinação deste coeficiente simula a resistência ao deslizamento transversal necessário para manter o veículo em curvas ou derrapagens.

2.2 O Fenômeno da Hidroplanagem

A presença de lâmina d'água sobre a pista faz surgir pressões hidrodinâmicas na área de contato do pneu com o pavimento, as quais aumentam

com a velocidade desenvolvida pelo veículo. Dependendo da textura do pavimento, os valores das pressões hidrodinâmicas podem ser de tal magnitude que tenderão a levantar os pneus sobre uma onda que se forma a sua frente.

Assim, o fenômeno da hidroplanagem ocorre quando a resultante proveniente das pressões hidrodinâmicas é superior ao valor da carga aplicada aos pneus pelo peso do veículo. Nestas condições, o atrito é reduzido a valores insuficientes para manter a dirigibilidade do veículo. Os pneus deslizarão sem manter contato direto com o pavimento, perdendo o controle direcional e a capacidade de frenagem. Para retomar o controle direcional do veículo o condutor deverá reduzir sensivelmente a velocidade, a fim de que as rodas voltem a transmitir os esforços necessários ao pavimento (APS, 2006).

Durante a hidroplanagem o coeficiente de atrito, que é da ordem 0,8 em uma superfície de concreto asfáltico seco, decresce para 0,3 a baixas velocidades, podendo até mesmo atingir zero a altas velocidades (NEGRINI NETO, 2009).

Pesquisas realizadas pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) demonstram que existem três zonas distintas de contato do pneu com o pavimento molhado, sendo que a porcentagem destas áreas dependerá da velocidade desenvolvida, da textura do pavimento, da pressão interna dos pneus e da manobra que estará sendo realizada (SILVA; RODRIGUES FILHO, 1981):

Zona 1 (Z1): denominada "zona molhada", é a região da área de contato recoberta por uma espessa lâmina d'água, sujeita à hidroplanagem dinâmica. Nesta zona o pneu em movimento empurra a água para frente, formando uma onda (Figura 2.2 e Tabela 2.1).

Zona 2 (Z2): denominada "zona de transição ou intermediária", é a região da área de contato recoberta por uma delgada lâmina d'água, sujeita à hidroplanagem viscosa. Nesta zona o pneu passa a ter contato parcial com o pavimento devido à pequena espessura da lâmina d'água (Figura 2.2 e Tabela 2.1).

Zona 3 (Z3): denominada "zona seca ou de contato", é a região da área de contato teoricamente sem a presença de água. Nesta zona ocorre o contato direto entre o pneu e o pavimento, contribuindo para a desaceleração e para o controle do veículo (Figura 2.2 e Tabela 2.1).

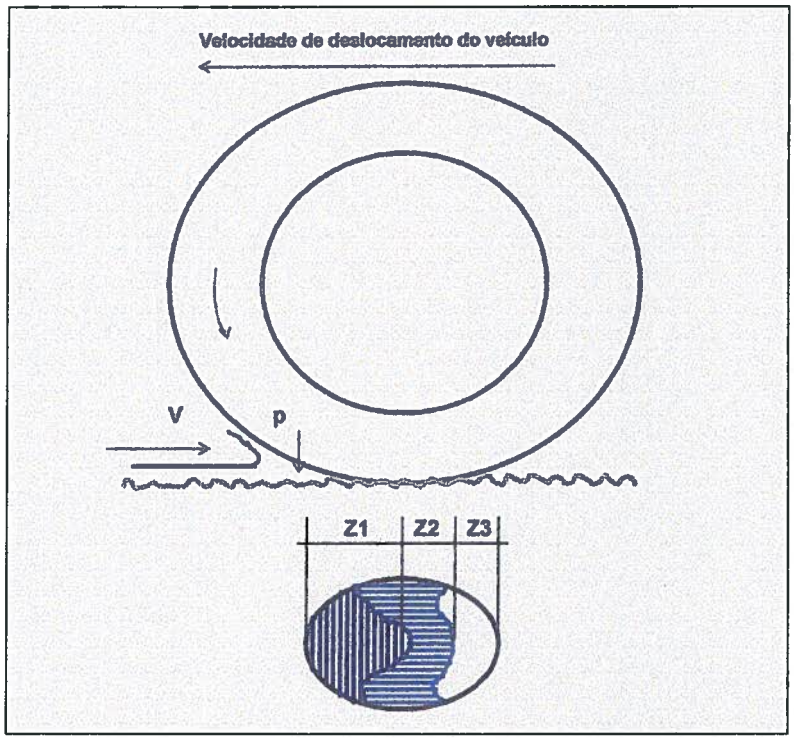


Figura 2.2 - Deslocamento da água conforme conceito das 3 zonas.
Fonte: Aps (2006).

Parâmetros	Hidroplanagem Total	Hidroplanagem Parcial	Contato
Zona	Z1	Z2	Z3
Condição do pavimento	Molhado	Úmido	Seco
Tipo de Interação	Deslizamento	Contato parcial	Rolamento
Propriedade relevante	Macrotextura	Microtextura	Macro e Micro
Fenômeno ocorrente	Hidroplanagem dinâmica	Hidroplanagem Viscosa	Atrito

Tabela 2.1 - Hidroplanagem: total e parcial, modelo das três zonas.
Fonte: Aps (2006).

2.2.1 Hidroplanagem Dinâmica

Ocorre quando há deposição de água na pista em uma profundidade igual ou superior a 2,5 mm. A água atua de forma a erguer a banda de rodagem, evitando o contato do pneu com a pista de rolamento. As condições técnicas para a ocorrência da hidroplanagem dinâmica são a necessidade de alta velocidade de tráfego do veículo, a presença de água acumulada com profundidade igual ou

superior a 2,5 mm e o pavimento apresentando uma macrotextura fechada. Assim, considerando-se que as condições para a ocorrência de hidroplanagem dinâmica são extremas, o fenômeno é, em geral, de curta duração.

Os parâmetros para determinação da velocidade mínima necessária de início da hidroplanagem dinâmica, desde que atingidos os requisitos anteriormente descritos, foram obtidos a partir da realização de testes experimentais realizados com aparelhos medidores de aceleração, resultando na Equação 2.2 (NEGRINI NETO, 2009):

$$V\min = 14{,}26 \times \sqrt{P} \tag{2.2}$$

Onde:

$V\min$ = velocidade mínima, em km/h;

P = pressão de enchimento dos pneus, em PSI (libras por polegada ao quadrado).

Já a equação para determinação da velocidade média na qual ocorre a hidroplanagem dinâmica, obtida pelos mesmos testes experimentais, é observada na Equação 2.3:

$$Vmed = 16{,}70 \times \sqrt{P} \tag{2.3}$$

Onde:

$Vmed$ = velocidade média, em km/h;

P = pressão de enchimento dos pneus, em PSI (libras por polegada ao quadrado).

Conforme Negrini Neto (2009), a hidroplanagem dinâmica de curta duração é a grande responsável pela perda da estabilidade direcional de um veículo em trânsito. Em termos físicos, o automóvel, ao ter um ou mais dos pneus sujeitos à ocorrência do fenômeno, sofre uma distribuição desigual das forças de atrito, gerando torque não nulo em relação ao centro de massa, o que ocasiona um desvio brusco do veículo de sua rota original. Esta situação ocorre independentemente do estado dos pneus, bastando que a profundidade da camada de água existente seja superior às profundidades dos sulcos das bandas de rodagem.

A hidroplanagem dinâmica ainda apresenta outra característica: no caso de sustentação do fenômeno por manutenção de condições altamente favoráveis, a velocidade do veículo pode reduzir em relação à mínima velocidade de início do fenômeno (Equação 2.2) que mesmo assim a hidroplanagem permanecerá atuando.

2.2.2 Hidroplanagem Viscosa

Diferentemente da hidroplanagem dinâmica, que necessita de uma mínima espessura de camada de água para ocorrer, a hidroplanagem viscosa, que ocorre mais frequentemente, pode acontecer quando a pista se encontra lisa e umedecida, ou seja, quando a camada de água que a recobre tem espessura da ordem de centésimos de milímetros.

Neste caso, considerando-se as suas propriedades viscosas, a água passa a funcionar como um lubrificante, tornando a pista escorregadia e gerando pressões hidrostáticas que cessam o atrito na interface pneu/pavimento, erguendo os pneus do veículo.

Observa-se, assim, que as características de macro e microtextura do pavimento interferem diretamente na possibilidade de ocorrência da hidroplanagem viscosa. O fenômeno é tanto mais provável de ocorrer quanto mais lisa for a microtextura e quanto mais fechada for a macrotextura. Se a macrotextura da pista for aberta, a água não irá se distribuir como um filme contínuo, impedindo o fenômeno.

Outra característica importante é que não existem velocidades ou pressões dos pneus que sejam mais ou menos favoráveis à ocorrência do fenômeno. Testes dinâmicos demonstraram que a hidroplanagem viscosa ocorre para vários valores destas grandezas, ocasionando perda de dirigibilidade e baixíssima eficiência de frenagem (NEGRINI NETO, 2009).

2.2.3 Hidroplanagem de Borracha Revertida

Fenômeno que pode ocorrer com velocidades extremamente baixas (da ordem de 30 km/h), a hidroplanagem de borracha revertida é mais comum nos processos de pouso de aeronaves, sendo extremamente rara em acidentes de trânsito. Caracteriza-se quando o pneu, estático, derrapa por uma longa distância na

pista, gerando significativa quantidade de calor. Por conseguinte, a água que se encontra nos sulcos do pneu é aquecida até o seu estado de vapor. Este vapor, em contato com a borracha, formará um pequeno filme negro que o selará no interior dos sulcos do pneu, gerando pressões de tal ordem que tendem a erguer a banda de rodagem da pista, reduzindo o coeficiente de atrito a valores praticamente desprezíveis (NEGRINI NETO, 2009).

O fenômeno recebe o nome de borracha revertida devido ao ataque do pneu pelo calor, que retorna ao seu estado pré-vulcanizado, formando um depósito negro na pista e tornando a superfície de pneu pegajosa.

2.3 TEXTURA DO PAVIMENTO

A resistência à derrapagem de veículos em uma via constituída por pavimento flexível está relacionada à dissipação de energia que ocorre durante o processo de derrapagem, sendo que a quantidade de energia do veículo que é transferida à superfície do pavimento, por meio da interação pneu/pavimento, pode se dar por duas formas (O'FLAHERTY, 2002):

a) Dissipação de energia na forma de calor devido ao atrito que ocorre entre a banda de rodagem do pneu e a superfície de rolamento;
b) Dissipação de energia relacionada à capacidade de deformação dos pneus de acordo com a forma das partículas dos agregados que compõem a mistura asfáltica empregada na camada superior do pavimento.

Considerando-se os dois processos de dissipação de energia, observa-se que as texturas das misturas asfálticas empregadas nas camadas de rolamento interferem diretamente no atrito na interface pneu/pavimento e, por conseguinte, na resistência à derrapagem proporcionada aos veículos pelo pavimento.

Existem três classes de textura de pavimento: microtextura, macrotextura e megatextura (WAMBOLD et al., 1995). Os limites entre os domínios de escalas de irregularidades de superfícies de pavimentos rodoviários foram estabelecidos por meio de critérios de comprimento de ondas (horizontal) e amplitude (vertical) (Tabela 2.2).

Domínio	Intervalo de Dimensões	
	Horizontal ↔	Vertical ↕
Microtextura	0 – 0,5 mm	0 – 0,2 mm
Macrotextura	0,5 mm – 50 mm	0,2 mm – 10 mm
Megatextura	50 mm – 500 mm	1 mm – 50 mm
Irregularidade	0,5 m – 50 m	1 mm – 20 cm

Tabela 2.2 - Classificação de textura.
Fonte: American Society for Testing and Material (1997a).

As combinações entre micro e macrotextura resultam em quatro tipos distintos de texturas: rugosa e aberta; rugosa e fechada; polida e aberta; polida e fechada (Figuras 2.3 e 2.4).

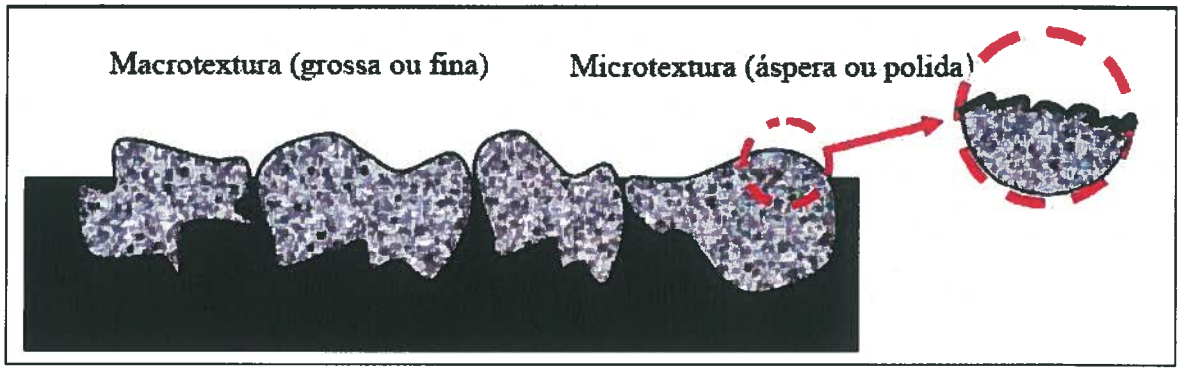


Figura 2.3 - Microtextura e macrotextura.
Fonte: Santos (2004).

Microtextura	Macrotextura	Superfície	Tipo de Textura
Rugosa	Aberta		Rugosa e Aberta
	Fechada		Rugosa e Fechada
Polida ou Lisa	Aberta		Polida e Aberta
	Fechada		Polida e Fechada

Figura 2.4 - Superfície em função da macro e microtextura.
Fonte: Aps (2006).

Observa-se, assim, que a superfície de rolamento depende das características conjuntas da macro e microtextura, que podem conduzir a um tráfego seguro ou a acidentes por derrapagem em situações de frenagem ou manobras emergenciais, principalmente em pavimentos molhados.

Ainda como fatores relevantes para análise da textura do pavimento e, consequentemente, para a realização da presente pesquisa, observa-se a necessidade de se verificar os seguintes itens: drenagem superficial do pavimento, bandas de rodagem, precipitação no local do acidente, velocidade do veículo, energia envolvida no acidente e os limites legais de velocidade.

2.3.1 Drenagem Superficial do Pavimento

O sistema de drenagem superficial do pavimento tem por objetivo remover rapidamente a água pluvial precipitada, a fim de resguardar a integridade do pavimento e a segurança na condução do veículo. A inexistência de sistemas adequados de drenagem superficial ao longo de uma rodovia acarreta o acúmulo de água sobre o leito asfáltico, fator este preocupante e que interfere decisivamente na ocorrência da hidroplanagem, especialmente nos trechos em curva.

2.3.2 Bandas de Rodagem

O desenho da banda de rodagem, as condições de desgaste desta banda, a largura e a pressão de enchimento do pneu interferem na ocorrência da hidroplanagem, especialmente no que se refere ao escoamento da água pluvial e às velocidades mínimas e médias de ocorrência deste fenômeno. O *Tire Wear Index* (TWI) serve de parâmetro para constatar se o pneu encontra-se em condições de utilização, sendo que o sulco deve ter uma profundidade mínima de 1,6 mm.

2.3.3 Precipitação no Local do Acidente

A intensidade da chuva precipitada permitirá lâminas de água maiores ou menores sobre o leito asfáltico, podendo, inclusive, ultrapassar as condições de drenagem superficial previamente projetadas para aquele trecho da via. Avalia-se a

precipitação a partir da estação meteorológica mais próxima ao local do acidente, apresentando-se os valores de chuva em milímetros por hora.

2.3.4 Velocidade do Veículo

A velocidade de tráfego do veículo é de fundamental importância para verificar se é possível ocorrer o fenômeno da hidroplanagem ou se a possibilidade maior é da ocorrência de uma simples perda direcional do veículo por parte do motorista. No presente estudo foram calculadas as velocidades e as energias cinéticas apenas dos automóveis envolvidos nos acidentes. Nos casos mais comuns, os cálculos são divididos em três componentes:

a) Desaceleração do veículo, resultante do atrito dos pneus contra o leito da pista (gerando, em alguns casos, marcas de frenagem). Deve ser determinada a inclinação do pavimento e o valor do coeficiente de atrito dinâmico entre os pneumáticos do veículo e o pavimento. Essa parcela é calculada por meio da formulação clássica da dinâmica (BEUX, 1996) (Equação 2.4):

$$Vf(km/h) = 3{,}6 \times \sqrt{2 \times g \times d \times (f \pm h)} \qquad (2.4)$$

Onde:
g = aceleração da gravidade (9,81 m/s²);
d = distância de frenagem (em metros);
f = coeficiente de atrito longitudinal entre os pneumáticos e o pavimento;
h = inclinação longitudinal do leito, no local da frenagem.

Os valores dos coeficientes de atrito (f) entre os pneumáticos e os pavimentos podem, a exemplo do que foi feito neste trabalho, ser determinados por meio de um acelerômetro acoplado a um microcontrolador.

b) Danos no veículo, ou seja, qual a parcela da velocidade desenvolvida que resultou em forças suficientes para produzir as deformações apresentadas. Quando um veículo se envolve em um acidente, uma parcela da energia cinética é convertida em trabalho mecânico para a produção das avarias.

É possível, pelas avarias ocorridas no veículo, projetar a velocidade dos danos, comparando-as visualmente com os resultados de testes de resistência ao impacto, levados a efeito pela indústria automobilística. Os danos advindos dos testes realizados pelas montadoras são organizados em tabelas, em função das velocidades dos testes, por intensidade e por tipo de deformação.

Quanto à tipificação das avarias, a velocidade de danos tem por base os valores descritos na Tabela 2.3 (ARAGÃO, 2011).

Tipo de Avarias	Vd (km/h)
Entortar para-choque na porta	5
Entortar para-choque no centro	10
Entortar para-choque na saia	15/20
Amassar para-lama	05/10
Amassar para-lama rasgando	10
Amassar para-lama arrancando	15
Afundar a grade do radiador	30/35
Afundar a grade do radiador e a colméia	40/45
Arrancar suspensão	40/45
Arrancar roda diretriz	40/45
Partir longarina	50/60
Arrancar motor dos calços	60/70
Arrancar roda motriz	50/60

Tabela 2.3 - Velocidade de danos (Vd) em função dos tipos de avarias.
Fonte: Aragão (2011).

A velocidade de danos pode ser atribuída pela intensidade das avarias, em uma escala com o módulo de velocidade escalar crescente, para veículos de porte médio (gênero automóvel), sendo os danos classificados, subjetivamente, em leves, médios, graves e gravíssimos (Tabela 2.4) (ARAGÃO, 2011).

Intensidade das Avarias	Vd (km/h)
Leve	0/20
Média	20/40
Grave	40/60
Gravíssima	Acima de 60

Tabela 2.4 - Velocidade de danos (Vd) em função da intensidade das avarias.
Fonte: Aragão (2011).

Importante informar que a estimativa da velocidade de danos também poderia ser realizada por meio de cálculos a partir da intensidade e localização das avarias. Ocorre que no Brasil, infelizmente, as montadoras não disponibilizam aos peritos criminais os coeficientes de deformação plástica, por região, dos veículos aqui fabricados.

c) Posição final exata do veículo. Pelo princípio da conservação da quantidade de movimento linear é possível determinar qual a parcela da velocidade utilizada para conduzir o veículo até a respectiva posição de repouso.

Este princípio decorre da 2ª Lei de Newton (RESNICK e HALLIDAY, 1983), também conhecida como "Princípio Fundamental da Dinâmica": *A aplicação de uma força a um corpo acarreta a variação temporal da quantidade de movimento deste corpo*. Em outras palavras, esta lei infere que a aplicação de uma força a um corpo produz uma aceleração de mesma direção e sentido da força e de módulo proporcional a ela.

Quando esta força externa que age sobre um corpo é nula, ocorre a conservação do momento linear, não havendo variação conforme o tempo. Considerando-se um sistema isolado, formado, por exemplo, por dois veículos (**A** e **B**), se nenhuma força externa agir sobre o sistema, ou ainda se a resultante de todas as forças externas atuantes for nula, o momento linear total será constante, independente do que possa estar ocorrendo entre os veículos (NEGRINI NETO, 2003).

Assim, se os dois veículos seguem uma determinada trajetória em que ocorrerá uma colisão, o momento linear do sistema se manterá constante, conforme Equações 2.5 e 2.6 (NEGRINI NETO, 2003).

$$\sum_{i=A,B} \vec{P}_i \Rightarrow \vec{P}_A + \vec{P}_B = \vec{P}'_A + \vec{P}'_B \qquad (2.5)$$

Onde:

$\vec{P}_A$ = quantidade de movimento linear do veículo **A**, antes da colisão;

$\vec{P}_B$ = quantidade de movimento linear do veículo **B**, antes da colisão;

$\vec{P}'_A$ = quantidade de movimento linear do veículo **A**, depois da colisão;

$\vec{P}'_B$ = quantidade de movimento linear do veículo **B**, depois da colisão.

Ou seja:

$$m_A\vec{v}_A + m_B\vec{v}_B = m_A\vec{u}_A + m_B\vec{u}_B \tag{2.6}$$

Onde:

m_A = massa do veículo **A**;
m_B = massa do veículo **B**;
$\vec{v}_A$ = velocidade do veículo **A**, antes da colisão;
$\vec{v}_B$ = velocidade do veículo **B**, antes da colisão;
$\vec{u}_A$ = velocidade do veículo **A**, depois da colisão;
$\vec{u}_B$ = velocidade do veículo **B**, depois da colisão.

2.3.5 Energia Envolvida no Acidente

Conforme Negrini Neto e Kleinübing (2012), a estrutura física de determinado veículo envolvido em um acidente de trânsito interfere na intensidade, na forma e na profundidade variável dos danos. Todavia, independente da estrutura veicular, os autores afirmam que a intensidade das avarias e, por consequência, a gravidade das lesões dos ocupantes, têm relação direta com a velocidade desenvolvida pelo veículo.

No estudo de acidentes de trânsito, a energia cinética, dentre as diversas modalidades de energia, é a mais importante, uma vez que considera os parâmetros massa (veículo e ocupantes) e velocidade em sua determinação (Equação 2.7):

$$Ec = \frac{mv^2}{2} \tag{2.7}$$

Onde:

m = somatório da massa do veículo e dos ocupantes;
v = velocidade do veículo.

Analisando-se a Equação 2.7, observa-se que a velocidade desenvolvida pelo veículo influencia significativamente no aumento ou na redução da energia envolvida no sistema, ou seja, na intensidade das avarias veiculares e, principalmente, nas lesões das vítimas. Assim, mesmo pequenas reduções de velocidade podem resultar em decréscimos importantes da energia do sistema, impactando positivamente na severidade das lesões apresentadas pelas vítimas.

2.3.6 Limites Legais de Velocidade

Em todo acidente de trânsito é de fundamental importância que os valores de velocidades permitidas sejam adequadamente apontados. No Brasil, as velocidades máximas e mínimas permitidas para vias urbanas e rurais são definidas pelo Código de Trânsito Brasileiro (CTB), Lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997 (BRASIL, 1997).

O artigo 61 do CTB indica que a velocidade máxima permitida para uma determinada via será indicada por meio de sinalização, obedecidas às características técnicas e as condições de trânsito do local. O §1º do mesmo artigo determina quais serão as velocidades máximas permitidas para trechos onde não existir sinalização, tanto nas vias urbanas quanto nas vias rurais, conforme se observa nas Tabelas 2.5 (vias rurais – rodovias), 2.6 (vias rurais – estradas) e 2.7 (vias urbanas).

Tipo de veículo	V máxima (km/h)
Automóveis, camionetas, motocicletas	110
Ônibus e microônibus	90
Demais veículos	80

Tabela 2.5 - Velocidades máximas permitidas para vias rurais (rodovias).
Fonte: Brasil (1997).

Tipo de veículo	V máxima (km/h)
Todo tipo de veículo	60

Tabela 2.6 - Velocidades máximas permitidas para vias rurais (estradas).
Fonte: Brasil (1997).

Tipo de via	V máxima (km/h)
Trânsito rápido	80
Arterial	60
Coletora	40
Local	30

Tabela 2.7 - Velocidades máximas permitidas para vias urbanas.
Fonte: Brasil (1997).

Já o § 2º do mesmo artigo informa que "o órgão ou entidade de trânsito ou rodoviário com circunscrição sobre a via poderá regulamentar, por meio de sinalização, velocidades superiores ou inferiores àquelas estabelecidas no parágrafo anterior" (BRASIL, 1997). Ou seja, havendo sinalização de trânsito, os limites de velocidade podem ser alterados, em trechos específicos da via, quer urbana, quer rural.

Tanto as definições dos tipos de vias quanto das sinalizações permitidas encontram-se no Anexo I do CTB, sendo as mais importantes, para o presente trabalho, as seguintes:

> **Via urbana**: ruas, avenidas, vielas, ou caminhos e similares abertos à circulação pública, situados na área urbana, caracterizados principalmente por possuírem imóveis edificados ao longo de sua extensão;
>
> **Via de trânsito rápido**: aquela caracterizada por acessos especiais com trânsito livre, sem interseções em nível, sem acessibilidade direta aos lotes lindeiros e sem travessia de pedestres em nível;
>
> **Via arterial**: aquela caracterizada por interseções em nível, geralmente controlada por semáforo, com acessibilidade aos lotes lindeiros e às vias secundárias e locais, possibilitando o trânsito entre as regiões da cidade;
>
> **Via coletora**: aquela destinada a coletar e distribuir o trânsito que tenha necessidade de entrar ou sair das vias de trânsito rápido ou arteriais, possibilitando o trânsito dentro das regiões da cidade;
>
> **Via local**: aquela caracterizada por interseções em nível não semaforizadas, destinada apenas ao acesso local ou a áreas restritas;
>
> **Via rural**: estradas e rodovias;
>
> **Estrada**: via rural não pavimentada;
>
> **Rodovia**: via rural pavimentada;
>
> **Sinais de trânsito**: elementos de sinalização viária que se utilizam de placas, marcas viárias, equipamentos de controle luminosos, dispositivos auxiliares, apitos e gestos, destinados exclusivamente a ordenar ou dirigir o trânsito dos veículos e pedestres;
>
> **Sinalização**: conjunto de sinais de trânsito e dispositivos de segurança colocados na via pública com o objetivo de garantir sua utilização adequada, possibilitando melhor fluidez no trânsito e maior segurança dos veículos e pedestres que nela circulam;
>
> **Placas**: elementos colocados na posição vertical, fixados ao lado ou suspensos sobre a pista, transmitindo mensagens de caráter permanente e, eventualmente, variáveis, mediante símbolo ou legendas pré-reconhecidas e legalmente instituídas como sinais de trânsito (BRASIL, 1997).

Assim, os sinais de trânsito, por definição, são os elementos de sinalização viária que utilizam placas, marcas, equipamentos de controle luminosos, entre outros, para ordenar ou dirigir o trânsito dos veículos e pedestres.

A sinalização é o conjunto de sinais de trânsito e dispositivos de segurança colocados na via pública com o objetivo de garantir sua utilização adequada, possibilitando melhor fluidez no trânsito e maior segurança dos veículos e pedestres que nela circulam.

Por fim, o artigo 62, também do CTB, aponta que "a velocidade mínima não poderá ser inferior à metade da velocidade máxima estabelecida, respeitadas as condições operacionais de trânsito e da via." (BRASIL, 1997). Todavia, há que se ressaltar que não há, na prática, qualquer tipo de fiscalização das velocidades mínimas desenvolvidas por veículos automotores, quer seja em rodovias, quer seja em vias urbanas, muito embora sejam recorrentes os casos de veículos trafegando com velocidades inferiores aos mínimos estabelecidos, ocasionando um número significativo de acidentes, em especial colisões traseiras.

2.4 MACROTEXTURA DO PAVIMENTO

Bernucci et al. (2008) entendem que a macrotextura afeta diretamente a aderência entre o pavimento asfáltico e a banda de rodagem do pneu do veículo, em especial para velocidades de tráfego superiores a 50 km/h. Soares e Micaelo (2011) afirmam, ainda, que a macrotextura é a característica mais importante do pavimento para a análise da hidroplanagem. Ong e Fwa (2008) informam, também, que pavimentos com macrotextura fechada conduzem a baixas velocidades de ocorrência de hidroplanagem.

Assim, a macrotextura do pavimento deve apresentar um adequado potencial de drenagem superficial, eliminando a água pelos seus microcanais. A macrotextura depende basicamente da graduação do agregado que compõe a mistura asfáltica utilizada na camada de rolamento. Essa escala de textura pode ser classificada como sendo do tipo aberta (agregados graúdos) ou do tipo fechada (agregados finos). O tipo de macrotextura pode ser determinado por métodos volumétricos, por perfilômetros ou por drenômetros.

A avaliação da macrotextura do pavimento pode ser realizada por vários métodos de ensaio normatizados, dentre os quais se destacam os cinco elencados neste trabalho.

2.4.1 Mancha de Areia

O ensaio de "mancha de areia" (ASTM E 965-96) (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL, 2001b) é o mais utilizado, no Brasil, para avaliar a macrotextura de pavimentos. Este ensaio consiste em preencher os vazios da textura superficial do pavimento com um volume conhecido de 25.000 mm^3 ± 150 mm^3 de areia natural limpa e seca, uniforme, de grãos arredondados, que passam na peneira de abertura 0,3 mm e ficam retidos na peneira de abertura 0,15 mm.

A superfície do pavimento deve ser limpa com o auxílio de uma escova de mão macia, sendo a areia posteriormente espalhada sobre a superfície seca por meio de um disco de espalhamento com diâmetro entre 60 e 75 mm (Figura 2.5). O ensaio deve ser interrompido quando surgirem algumas pontas de agregados (Figura 2.6).

Em seguida é medido o diâmetro formado pelo círculo de areia em três direções distintas, fazendo-se a média. Com o valor do diâmetro, calcula-se a altura media de mancha de areia pela Equação 2.8.

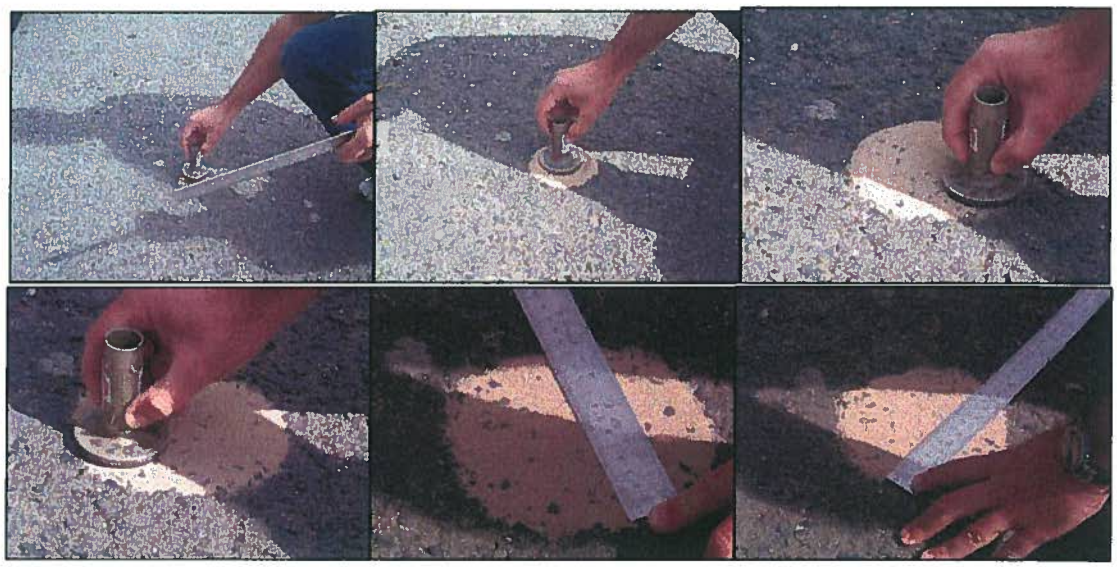


Figura 2.5 - Sequência de realização do ensaio de mancha de areia.
Fonte: Autor.

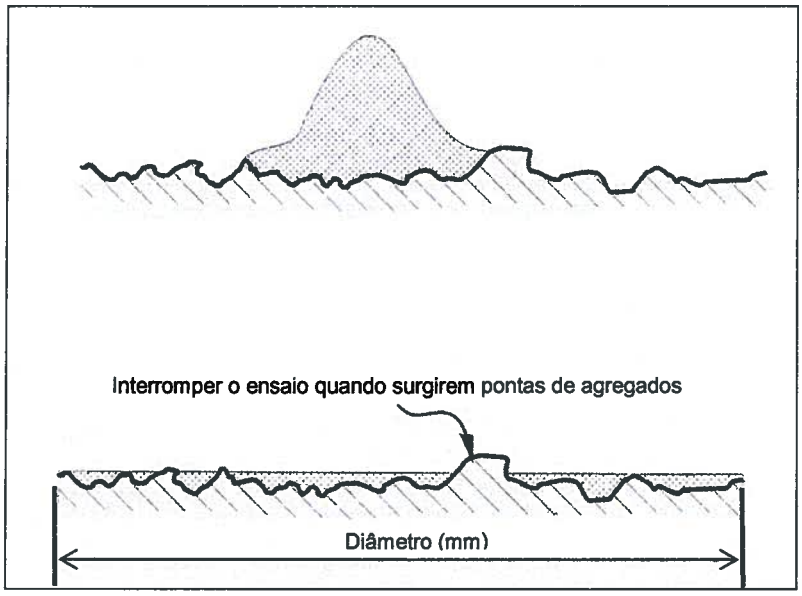


Figura 2.6 - Diagrama esquemático do ensaio de mancha de areia.
Fonte: Austroads (2008).

$$H_m = \frac{4V}{D_m{}^2\pi} \tag{2.8}$$

Onde:

H_m = altura média da mancha de areia, em mm;

V = volume constante de areia (25.000 mm³);

D_m = diâmetro médio do círculo de areia, em mm.

Devem ser realizados pelo menos quatro ensaios para determinar a macrotextura média do pavimento, determinada pela média aritmética de quatro medições do diâmetro da mancha de areia, em quatro pontos distintos, sendo que a macrotextura pode ser classificada, de acordo com a norma ASTM E 965-96, em fina (HS ≤ 0,4 mm), média (0,4 mm < HS < 0,8 mm) e grossa (HS ≥ 0,8 mm).

2.4.2 Mancha de Graxa

O ensaio de mancha de graxa é uma variação do ensaio de mancha de areia, com aplicação mais frequente em pistas de aeroportos. Com um volume conhecido de graxa de uso comum (16.000 mm³), uma área é demarcada por meio de fitas espaçadas de 10 cm, havendo uma terceira fita, disposta perpendicularmente às outras duas, figurando como limite.

A superfície a ser ensaiada deve ser limpa com o auxílio de uma escova de mão com cerdas macias. A graxa é espalhada na superfície por meio de um rodinho, preenchendo os vazios e formando uma área de formato retangular (Figura 2.7).

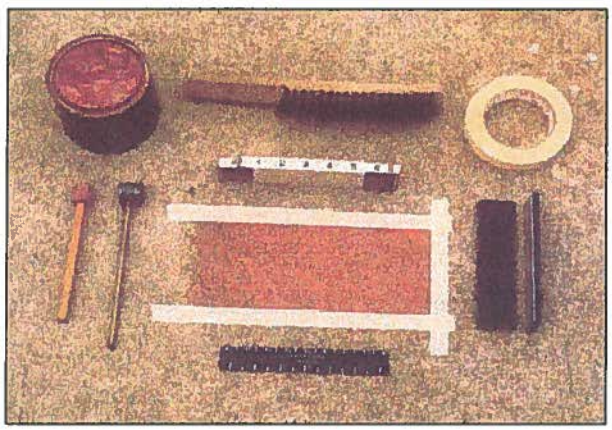


Figura 2.7 - Ensaio de mancha de graxa.
Fonte: Wambold e Henry (2002).

Com o valor da área preenchida pela graxa calcula-se a profundidade média de textura pela Equação 2.9:

$$H_G = \frac{V}{A} \tag{2.9}$$

Onde:

H_G = altura média da mancha de graxa, profundidade média em mm;

V = volume constante de graxa (16.000 mm³);

A = área do retângulo da mancha de graxa, em mm².

2.4.3 Drenômetro LTP-EPUSP

O Laboratório de Tecnologia de Pavimentação (LTP), da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP), desenvolveu um drenômetro que mede o tempo de escoamento de um volume conhecido de água (730 mililitros) contido em um cilindro confeccionado em material plástico transparente, devidamente acoplado a um fundo com um orifício circular com 5 cm de diâmetro, que é colocado em contato direto com a superfície do pavimento (Figura 2.8). Com este ensaio é possível verificar a capacidade drenante da textura do pavimento durante a ocorrência de chuvas (MOMM, 1998).

Figura 2.8 - Ensaio com o drenômetro LTP-EPUSP.
Fonte: Aps (2006).

2.4.4 Perfilômetro a Laser

O perfilômetro a laser é um ensaio preconizado pela norma ASTM E 1845-09 (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL, 2009) e consiste na instalação de um equipamento estacionário em um veículo automotor, podendo também ser empurrado manualmente. O ensaio é realizado com a projeção de um raio laser sobre o pavimento, sendo que o receptor, instalado na viga, mede a altura desse ponto sobre o pavimento. A velocidade de deslocamento para a projeção do raio laser deve ser de até 72 km/h. A Figura 2.9 demonstra um perfilômetro a laser instalado em uma viga na região frontal de um veículo.

Figura 2.9 - Exemplo de perfilômetro a laser.
Fonte: www.engenhariaportugal.com/o-perfilometro-laser-da-estradas-de-portugal.

2.4.5 *Mini Texture Meter*

Normalmente esse equipamento é operado manualmente, realizando as medições da textura da superfície de rodovias, aeroportos e calçadas a uma velocidade compreendida entre 3 e 6 km/h. O funcionamento do equipamento é simples, com a projeção de um raio laser sobre a superfície do pavimento, tendo a distância medida em virtude da reflexão do raio (Figura 2.10). Os resultados saem impressos pelo próprio equipamento.

Figura 2.10 - *Mini Texture Meter.*
Fonte: Choi e Hubner (2008).

2.5 MICROTEXTURA DO PAVIMENTO

Conforme Bernucci *et al.* (2008), a microtextura de um pavimento é fundamental para o rompimento da película de água e para promover um adequado contato do pneu com o pavimento, especialmente para baixas velocidades (até 40 km/h). A microtextura depende basicamente da aspereza dos agregados e das características da mistura betuminosa. Essa escala de textura pode ser classificada por rugosa (agregados possuem arestas vivas) ou polida (agregados são arredondados). O atrito da microtextura pode ser obtido por equipamentos estáticos, de roda oblíqua, de roda bloqueada ou roda parcialmente bloqueada.

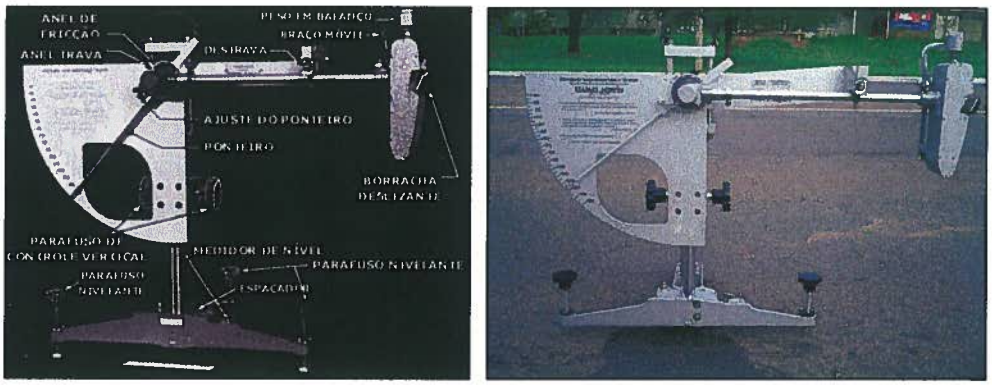
O pavimento deve conter agregados com rugosidade suficiente para romper a lâmina d'água. Existem diversos ensaios que permitem avaliar a microtextura, destacando-se os cinco descritos neste trabalho.

2.5.1 Pêndulo Britânico

Existem diversos ensaios que permitem avaliar a microtextura, sendo o mais conhecido, no Brasil, o do "Pêndulo Britânico", padronizado de acordo com a norma ASTM E 303-93 (ASTM, 1998). Além da avaliação da microtextura, este ensaio permite avaliar as propriedades do atrito superficial do pavimento. O princípio desse ensaio é de avaliar a perda de energia cinética pelo atrito da base de borracha do equipamento com a superfície molhada do pavimento.

O Pêndulo Britânico é formado por um braço pendular que possui, em sua extremidade, uma sapata padronizada de borracha (Figura 2.11). Ao soltar o pêndulo, a borracha é atritada contra a superfície molhada do pavimento, a fim de simular a pior condição da pista, ocorrendo o registro, por meio de um ponteiro existente na haste marca, do Valor de Resistência à Derrapagem (VRD) ou SRT (*Skid Resistent Test*). Importante informar que o primeiro registro é sempre descartado.

Outra característica importante é a fácil locomoção do aparelho, uma vez que as pequenas dimensões e peso o tornam efetivamente portátil, facilitando a utilização em locais de acidentes de trânsito (Figuras 2.11 a 2.15).



Figuras 2.11 e 2.12 - Equipamento pêndulo britânico.
Fonte: Lopes e Fortes (2008).

Figura 2.13 a 2.15 - Equipamento pêndulo britânico sendo utilizado.
Fonte: Giuliani e Rastelli (2005) (esquerda). Bernucci et al (2008) (centro e direita).

2.5.2 *Dynamic Friction Tester - DFT*

Trata-se de um equipamento portátil destinado à medição direta do atrito de superfícies pavimentadas, estando o procedimento descrito na norma ASTM E 1911-98. Há um disco no equipamento que gira na horizontal, em velocidades tangenciais compreendidas entre 20 e 60 km/h (dependendo do modelo), sendo que o contato do disco com a superfície se faz por meio de três corrediças de borracha. Com o contato há a redução da velocidade devido ao atrito gerado na interface, sendo o atrito calculado em função da velocidade. O exame é realizado com o pavimento molhado, sendo que o equipamento é provido de um reservatório que despeja água diretamente na superfície que está sendo ensaiada (Figura 2.16).

Figura 2.16 - *Dynamic Friction Tester* em operação.
Fonte: www.fhwa.dot.gov/publications/focus/11may/11may01.cfm.

2.5.3 *Mu-Meter*

Equipamento composto por três rodas, sendo duas destinadas à mensuração do coeficiente de atrito e uma destinada a medir a distância percorrida. O procedimento de ensaio está descrito na norma ASTM E 670-94, podendo ser realizado tanto em pista seca quanto em pista molhada. Se for este o caso, o equipamento possui espargidor próprio de água, que libera película de espessura média de 1 mm. O Mu-meter é acoplado a um veículo automotor, sendo rebocado a velocidades variadas, sendo a mais comum de 65 km/h (Figura 2.17).

Figura 2.17 - *Mu-meter* sendo utilizado.
Fonte: http://constructoracien.com/reportes/2011/01/coeficiente-de-friccion-mu-meter/.

2.5.4 *Sideways Force Coefficient Routine Investigation Machine - SCRIM*

O equipamento, desenvolvido pelo *Transportation Road Research Laboratory* (TRRL), realiza a medição do coeficiente de atrito por meio de uma roda inclinada de 20 graus em relação ao eixo longitudinal do veículo. O próprio equipamento contem um dispositivo de espargimento de água, liberando uma lâmina de 1 mm de espessura nominal (Figura 2.18).

Figura 2.18 - *Sideways force coefficient routine investigation machine.*
Fonte: www.epc.com.hk/product_en_1981.html.

2.5.5 *Grip Tester*

Equipamento composto por um reboque com três rodas, sendo a central responsável pela medida de atrito de modo contínuo, apresentando uma rotação retardada, quando em operação, com uma taxa de deslizamento controlada de 15%, podendo atingir velocidade de deslocamento de até 65 km/h (Figuras 2.19).

Figura 2.19 - Equipamento *Grip Tester* sendo utilizado.
Fonte: www.rugoway.com/Services/Grip_measurement.aspx.

2.6 *INTERNATIONAL FRICTION INDEX* - IFI

Existem diversos ensaios que permitem caracterizar a textura da superfície de um pavimento. Assim, a fim de padronizar os resultados obtidos por ensaios realizados com equipamentos diferentes, a *PIARC* (*Permanent International Association of Roads Congress*), atual *World Road Association*, em 1992, comparou e harmonizou os resultados obtidos pelos diferentes métodos (Wambold *et al.*, 1995).

Com a realização deste experimento, que correlacionou os diversos tipos de equipamentos, foi criado um índice combinado, denominado IFI (*International Friction Index*). O cálculo deste índice foi devidamente regulamentado pela norma *Standard Practice for Calculating International Friction Index of a Pavement Surface* (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL, 2001a).

Por meio de ensaios homologados pela referida norma (Aps, 2006) são obtidas as medidas de macro e microtextura da superfície do pavimento, valores estes utilizados para calcular o valor do índice combinado IFI, que pode ser utilizado para avaliar o adequado momento de intervenção no pavimento, a fim de garantir a segurança para o tráfego de veículos, em especial pela manutenção de uma boa aderência na interface pneu/pavimento.

Os valores do índice combinado IFI podem ser utilizados, ainda, em análises de acidentes de trânsito e em avaliações para gerência de pavimentos (Bernucci *et al.*, 2007).

2.6.1 Cálculo do IFI

O valor do índice IFI relaciona o atrito do pavimento com a velocidade de deslizamento, estimando a constante de referência da velocidade (S_p) e o atrito a uma velocidade de 60 km/h (F_{60}). Assim, os valores do par S_p e F_{60} expressam o valor do IFI de um determinado pavimento, permitindo o cálculo do atrito a qualquer velocidade de deslizamento.

A medida da macrotextura do pavimento (Tx) permite a obtenção da constante de influência da velocidade na curva de referência, por meio da Equação 2.10 (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL, 2001a).

$$Sp = a + b.Tx \tag{2.10}$$

Na Tabela 2.8 constam os valores das constantes **a** e **b**, conforme o método adotado para o levantamento da macrotextura.

Norma	Ensaio	a	b
ASTM E 1845	Perfilômetro Laser	14,2	89,7
ASTM E 965	Mancha de Areia	-11,6	113,6

Tabela 2.8 - Valores de **a** e **b** para o cálculo do Sp.
Fonte: Aps (2006).

Na sequência, deve ser determinada a constante referente à velocidade de deslizamento de 60 km/h (FR_{60}), obtida por meio da Equação 2.11 a partir do valor

de atrito (FRS) mensurado por meio de algum dos equipamentos contemplados em norma. Assim, a medida de atrito (FRS), obtida em qualquer velocidade (S), é convertida para uma medida de atrito a 60 km/h (FR_{60}), por meio do modelo PIARC.

$$FR_{60} = FRS^{[(S-60)/Sp]} \tag{2.11}$$

Os valores assumidos por **S**, velocidade do equipamento utilizado, encontram-se na Tabela 2.4.

Por fim, o atrito harmonizado de referência (FR_{60}) é estimado por meio da Equação 2.12, onde **A**, **B** e **C** são constantes de calibração para cada método de ensaio, conforme Tabela 2.9.

$$FR_{60} = A + B.FR_{60} + C.Tx \tag{2.12}$$

Características	Equipamento	S	A	B	C
	Pneus lisos				
Roda Bloqueada	ASTM E-274 (USA)	65	0,045	0,925	0
	LCPC Skid Trailer (F)	60	0,002	1,008	0
Roda Parcialmente Bloqueada	OSCAR at 86% (N)	52	-0,030	0,864	0
	OSCAR at 20% (N)	12	0,119	0,643	0
	Komatsu Skis Trailer (J)	10	0,042	0,849	0
	DWW Trailer (NL)	43	0,019	0,868	0
	Griptesyer (UK)	9,4	0,082	0,91	0
	Pneus com ranhuras				
Roda Oblíqua	Stradograph (DK)	12,5	0,054	0,77	0
	Odoliograph Wallon (B)	12,9	0,113	0,729	0
	Odoliograph CRR (B)	20,5	0,113	0,746	0
	SCRIM Flemish (B)	20,5	0,049	0,967	0
	SCRIM CEDEX (E)	20,5	0,019	0,813	0
	SCRIM MOPT (E)	20,5	0,032	0,873	0
	SCRIM SEM (D)	20,5	0,017	0,850	0
	SCRIM GEOCISA (E)	20,5	0,021	0,928	0
	SCRIM (F)	20,5	-0,006	0,862	0
	SUMMS (I)	20,5	0,002	0,987	0
	SCRIMTEX (UK)	17,1	0,033	0,872	0

Continua...

Continuação...

Roda Bloqueada	Stuttgarter Reibungsmesser (CH)	60	0,022	0,050	0,082
	Skiddometer (CH)	60	0,026	0,504	0,099
	Stuttgarter Reibungsmesser (A)	60	-0,072	0,767	0,086
	ASTM E-274 (USA)	65	-0,023	0,607	0,098
	Friction Tester (PL)	60	-0,025	0,807	0,068
Pneus com ranhuras					
Roda Parcialmente Bloqueada	Stuttgarter Reibungsmesser (CH)	12	0,141	0,323	0,074
	Skiddometer (CH)	12	0,030	0,918	-0,014
	BV-11 (S)	12	0,040	0,856	-0,016
	Stuttgarter Reibungsmesser (A)	12	0,020	0,867	-0,006
Equipamentos com sapatas					
Estáticos	DF Tester at 60 km/h (J)	60	-0,034	0,771	0
	DF Tester at 20 km/h (J)	20	0,081	0,732	0
	Pendulum Tester BPT USA	10	0,056	0,008	0
	Pendulum Tester BPT (CH)	10	0,044	0,010	0

Tabela 2.9 - Equipamentos que foram calibrados para o cálculo do F60.
Fonte: Aps (2006).

2.6.2 Classificação da Aderência Pneu/Pavimento pelo IFI

O objetivo de ser estabelecido um valor mínimo para o atrito de uma determinada via, seja por norma, seja por recomendação, é garantir as condições de segurança do pavimento, especialmente nas situações de frenagem, de deslizamento transversal (em curvas e derrapagens) e para o tráfego em pista molhada (hidroplanagem). Para tanto, diversos estudos para determinação dos valores de atrito e de textura vêm sendo desenvolvidos, a fim de serem estabelecidas adequadas políticas de gerência de pavimentos.

No que se refere à classificação do IFI, Aps (2006) propõe, em sua 4ª tentativa, sete faixas de classificação (Tabela 2.10). Todavia, no estudo de casos de acidentes de trânsito observa-se que está divisão em sete classes torna-se

impraticável, especialmente nas situações em que o perito é questionado a opinar sobre as condições do pavimento. É difícil a distinção, por exemplo, entre a condição péssima e a muito ruim, assim como entre a ótima e a muito boa. Nestas condições, a sugestão deste trabalho, para as agências reguladoras, é de uma divisão em cinco classes (Tabela 2.11).

Além disso, é importante mencionar que em avaliações de natureza pericial os resultados são posteriormente apreciados pelo Poder Judiciário, interessando basicamente ao Juiz se as condições do leito asfáltico estavam em condições adequadas ou não. Assim, a classificação do IFI, especialmente nos casos de perícias, também como proposta do presente estudo, poderia abranger apenas três classes: ruim, regular e boa (Tabela. 2.12).

Condição	Limites do IFI
Péssimo	< 0,05
Muito Ruim	0,06 a 0,08
Ruim	0,09 a 0,11
Regular	0,12 a 0,14
Bom	0,15 a 0,21
Muito Bom	0,22 a 0,35
Ótimo	> 0,35

Tabela 2.10 - Faixas de classificação do IFI.
Fonte: Aps, 2006.

Condição	Limites do IFI
Muito Ruim	< 0,08
Ruim	0,09 a 0,11
Regular	0,12 a 0,14
Boa	0,15 a 0,21
Muito Boa	> 0,22

Tabela 2.11 - Faixas de classificação do IFI para agências reguladoras.
Fonte: Autor.

Condição	Limites do IFI
Ruim	< 0,12
Regular	0,13 a 0,16
Boa	> 0,17

Tabela 2.12 - Faixas de classificação do IFI para perícias.
Fonte: Autor.

2.7 Características da Camada de Rolamento nas Condições de Trafegabilidade

O objetivo da pavimentação de uma via é garantir a trafegabilidade dos veículos em qualquer época do ano e em condições climáticas diferentes, proporcionando conforto, economia e segurança ao usuário.

Um bom desempenho das camadas formadoras do pavimento e do subleito interfere diretamente na capacidade de suporte e na durabilidade da via, considerando-se, para tal, o padrão da obra e o tipo de tráfego previsto, bem como no conforto ao rolamento e à segurança dos usuários. Assim, durante as fases de dimensionamento, construção ou de manutenção de uma via pública, o projetista deve sempre ter como objetivo garantir que o pavimento atenda às condições de segurança, economia e durabilidade.

Para o usuário da via, o estado de conservação da superfície do pavimento é sempre o aspecto mais importante, uma vez que os defeitos e as irregularidades, por afetarem diretamente no conforto, são percebidos facilmente, diferentemente das condições de segurança, que muitas vezes são percebidas apenas quando da iminência ou ocorrência de um acidente.

O estado de conservação da superfície do pavimento também interfere diretamente nos custos operacionais do veículo, exigindo maiores gastos com a manutenção, com o consumo de combustível e de pneus, além de ampliar o tempo de viagem (BERNUCCI et al., 2008). Assim, quando o pavimento possibilita conforto ao tráfego do usuário, normalmente gera economia nos custos de transporte.

Em 1960, Carey e Irick estabeleceram o primeiro método de avaliação funcional de um trecho de pavimento para as pistas experimentais da *American Association of State Highway Officials* (AASHO), atual *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO).

Este primeiro método foi o da serventia, que é uma atribuição numérica compreendida em uma escala de 0 a 5, resultando da média de notas atribuídas por avaliadores, levando-se em consideração o conforto ao rolamento de um veículo percorrendo um determinado trecho da via, em um dado momento da vida do pavimento. Os cinco níveis de serventia adotados no Brasil pelo DNIT 009/2003 PRO (BRASIL, 2003a) encontram-se na Tabela 2.13.

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

Tabela 2.13 - Níveis de serventia.
Fonte: Brasil (2003a).

Tão importante quanto o aspecto funcional, a avaliação da segurança ao tráfego de uma via contempla a análise de diversos aspectos do pavimento, indo desde a sinalização até o próprio comportamento do motorista.

Dentre as verificações que devem ser feitas no pavimento, citam-se a geometria e a irregularidade superficial, bem como, e extremamente importante, a avaliação do atrito na interface pneu/pavimento, especialmente com a pista molhada, a fim de quantificar a resistência à derrapagem.

Muito embora sejam recorrentes os casos de acidentes de trânsito com pista molhada, poucos são os estudos técnicos, no Brasil, que promovam avaliações e medidas nas rodovias ou vias urbanas, havendo apenas algumas referências aos pavimentos aeroportuários, principalmente das pistas de pouso e decolagem.

Dentre os aspectos mais importantes para garantir uma boa aderência pneu/pavimento, especialmente com o leito molhado, os dois mais importantes são a textura superficial da pista e as características dos pneus (sulcos, largura, pressão de enchimento, dimensões e tipo), muito embora também haja certa dependência da própria habilidade do motorista, da geometria da via e das condições gerais do veículo (estado de funcionamento dos amortecedores, freios e direção).

Assim, uma das principais características do pavimento é que a superfície apresente uma boa aderência com os pneus do veículo, evitando o fenômeno da hidroplanagem, que ocorre quando as bandas de rodagem dos pneus perdem o contato com a superfície de rolamento em virtude da formação de uma lâmina d'água acumulada na superfície. Esta lâmina d'água se interpõe entre o pneu e o pavimento, agindo como um lubrificante que reduz a força de atrito, sendo que o pneu deixa de rolar sobre a superfície, passando a escorregar sobre ela.

Ocorrendo essa situação torna-se necessária uma maior distância para reduzir a velocidade e imobilizar o veículo, além de ocorrer uma possível perda

direcional por parte do condutor. Portanto, a manutenção do contato entre as superfícies é essencial para evitar a hidroplanagem.

Um fator que interfere consideravelmente na redução do atrito é o aumento de velocidade de deslocamento dos pneus em relação ao pavimento, uma vez que se trata de uma interação complexa, dependendo de fatores como a adesão (entre a borracha e o pavimento) e a histerese (decorrente da deformação do pneu provocada pelos agregados presentes na superfície). Além da velocidade do veículo e da espessura da lâmina d'água, outras variáveis influenciam na ocorrência de hidroplanagem: textura do pavimento, sulcos da banda de rodagem do pneu, pressão de enchimento dos pneus, largura dos pneus, entre outras (BERNUCCI et al., 2007). Outro aspecto importante é que a aderência de uma determinada via varia ao longo do tempo, especialmente em função do tráfego e das condições climáticas a que está sujeita. Nestas condições, a avaliação correta da textura superficial do pavimento passa a ser uma ferramenta importante para prevenir acidentes, em especial pela identificação de seções que apresentam níveis baixos de serventia, deterioração acelerada ou baixa aderência (SILVA, 2007).

2.8 Defeitos de Superfície de Pavimentos Asfálticos

A gerência de pavimentos, no conceito de Rodrigues (1998), reúne todas as atividades envolvidas na infraestrutura viária, quer seja urbana, rodoviária ou aeroportuária, contemplando planejamento, projeto, construção, conservação e avaliação dos pavimentos, sendo que a etapa de conservação engloba os serviços de manutenção e reabilitação. Nesta mesma linha de raciocínio, Haas et al. (1994, apud FERNANDES JUNIOR; ODA; ZERBINI, 2003), completam o entendimento, mencionando que a gerência de pavimentos tem o objetivo de manter os pavimentos em níveis adequados de serviço ao longo do tempo.

As atividades de manutenção e reabilitação tem relação direta com a segurança do pavimento, em especial no que se refere aos valores mínimos de atrito na interface pneu/pavimento, motivo pelo qual devem ser realizadas de forma contínua. Ocorre que no Brasil não há recursos disponíveis para realizar manutenções e reabilitações adequadas em todas as vias pavimentadas. Assim, os Sistemas de Gerência de Pavimentos (SGP) buscam compatibilizar, da melhor maneira possível, os recursos disponíveis com as necessidades das vias públicas.

Inicialmente, devem ser escolhidos os trechos das vias que serão avaliados, geralmente por meio de critérios relacionados à utilização da seção: volume de tráfego, tipo de pavimento, tipo e espessura de cada camada, tipo de subleito e estado de conservação do pavimento (FERNANDES JUNIOR; ODA; ZERBINI, 2003). Depois de escolhidos os trechos, devem ser realizados inventários contendo as extensões e os níveis de severidade de cada um dos tipos de deterioração encontrados nos trechos em análise. Com o inventário e com as condições do pavimento de cada trecho bem definidas, torna-se possível analisar, em nível de rede, quais são as opões de manutenção e reabilitação para cada seção, dentre as quais Fernandes Junior, Oda e Zerbini (2003) destacam: não realizar nenhuma ação, manutenção corretiva, manutenção preventiva, reforço estrutural e reconstrução.

Vencida esta etapa passa-se à análise em nível de projeto, onde são definidas as atividades de manutenção e dimensionados os reforços e a reconstrução do pavimento porventura previstas como reabilitação. As análises seguintes, econômicas e de priorização, irão definir a sequência de execução dos serviços e o ano recomendado para intervenção.

2.8.1 Defeitos

O pavimento é uma estrutura construída e dimensionada para, de maneira econômica, atender aos seguintes critérios: resistir aos esforços verticais produzidos pelo tráfego de veículos, distribuindo-os ao subleito; tornar mais cômodas e seguras as condições de rolamento; resistir aos esforços horizontais atuantes, tornando a superfície de rolamento o mais durável possível.

Os esforços gerados pelo tráfego de veículos e pelas condições climáticas da região devem ser adequadamente previstos durante a fase de projeto, levando-se em consideração todas as variáveis que podem afetar, direta ou indiretamente, a durabilidade da estrutura e a segurança de tráfego ao usuário.

A construção da obra, atendendo-se expressamente ao projetado, com utilização de materiais de boa qualidade e controle técnico rigoroso, permitirá um melhor resultado ao atendimento dos critérios anteriormente expostos.

Os pavimentos asfálticos deterioram-se por inúmeros motivos, sendo que os defeitos podem ocorrer em todas as suas camadas de formação: subleito (fundação do pavimento), reforço do subleito, sub-base, base e revestimento. Considerando-se

o objetivo deste trabalho, focou-se diretamente nos defeitos de superfície de pavimentos asfálticos que efetivamente podem ter interferência no atrito na interface pneu/pavimento.

2.8.2 Defeitos de Superfície de Pavimentos Asfálticos com Interferência no Atrito na Interface Pneu/Pavimento

Os defeitos de superfície são os danos ou deteriorações na superfície dos pavimentos asfálticos que podem decorrer por quatro motivos: erros de projeto; erros ou inadequações na seleção ou na dosagem de materiais; erros ou inadequações construtivas; erros ou inadequações nas alternativas de conservação e manutenção.

Dentre os defeitos de superfície mais comuns, citam-se, consoante terminologia expressa na Norma DNIT 005/2003 TER (Defeitos nos Pavimentos Flexíveis e Semi-rígidos: Terminologia) (BRASIL, 2003b), os seguintes: fissuras e trincas (por fadiga, em blocos, nos bordos, longitudinais, por reflexão e transversais), afundamentos (deformação permanente nas trilhas de roda), escorregamento, exsudação do ligante asfáltico, corrugação, descolamentos, desagregação ou desgaste, agregados polidos, panelas e remendos.

Além destes defeitos, existem outros cinco que não são descritos pela referida norma: segregação de agregados, bombeamento de finos, redução ou ausência de ligante asfáltico por falha de bico espargidor ou por falta de fixação dos agregados e afundamento por consolidação diferencial.

De todos estes tipos de defeitos, aqueles que mais influenciam os valores de atrito na interface pneu/pavimento são o desgaste, a exsudação e os agregados polidos, adiante descritos e exemplificados.

a) Desgaste

O desgaste do pavimento asfáltico é caracterizado pela perda progressiva da adesividade do ligante asfáltico, com o consequente desalojamento dos agregados (inicialmente dos miúdos e posteriormente dos graúdos), resultando em uma textura superficial áspera (Figura 2.20). O desgaste pode decorrer, segundo Fernandes Junior, Oda e Zerbini (2003), por meio dos seguintes fatores: falta de ligante; superaquecimento da mistura na usina; compactação insuficiente (excesso

de vazios); agregados sujos, úmidos ou com pequena resistência à abrasão; abertura precoce ao tráfego; execução sob condições meteorológicas desfavoráveis, dentre outros.

Figura 2.20 - Leito asfáltico com defeito característico de desgaste.
Fonte: Bernucci et al (2008).

b) Agregados polidos

Quando a massa asfáltica é composta por agregados com baixa resistência à abrasão, a ação da passagem de veículos reduz a aspereza e angularidade das partículas, tornando os agregados polidos (FERNANDES JUNIOR; ODA; ZERBINI, 2003). Este processo resulta em uma redução do coeficiente de atrito na interface pneu/pavimento, comprometendo a segurança especialmente com a pista molhada (Figura 2.21).

Figura 2.21 - Leito asfáltico com agregados polidos.
Fonte: Bernucci et al (2008).

c) Exsudação

A exsudação do ligante asfáltico, mais comum em países de clima quente, ocorre pelo movimento ascendente do asfalto, resultando em um excesso de ligante na superfície do pavimento, formando uma película que reduz significativamente o coeficiente de atrito na interface pneu/pavimento, mormente quando o pavimento encontra-se molhado (Figuras 2.22). As causas principais para ocorrência da exsudação do ligante asfáltico são o excesso de ligante na mistura, a compactação pela passagem de veículos e o baixo índice de vazios da mistura (FERNANDES JUNIOR; ODA; ZERBINI, 2003).

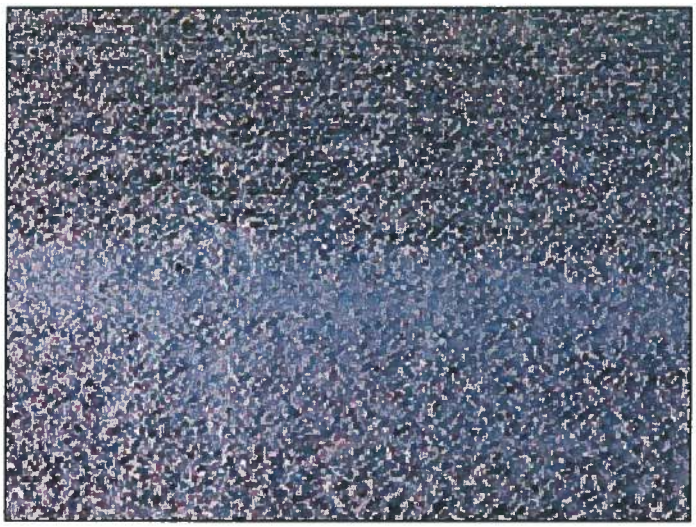


Figura 2.22 - Leito com exsudação do ligante asfáltico.
Fonte: Bernucci et al (2008).

2.9 Recomendações de Segurança Quanto à Aderência do revestimento

As recomendações de segurança quanto à aderência do revestimento, em diversos países, apresentam características e valores variados. Na sequência serão relatadas as recomendações no Brasil e em outros seis países.

2.9.1 Brasil

A literatura técnica brasileira não dispõe de normas que estipulem quais deveriam ser os valores da macro e microtextura de um pavimento. Assim, não há parâmetros oficiais para avaliação da resistência à derrapagem ou para o cálculo do coeficiente de atrito oferecido pelos pavimentos rodoviários. Todavia, observa-se que alguns órgãos públicos sugerem valores mínimos. O Manual de Restauração de

Pavimentos Asfáltico (DNIT, 2006a) recomenda a faixa de 0,6 mm ≤ Hs ≤ 1,2 mm para a altura média da Mancha de Areia e o valor de VRD ≥ 55 para a Resistência à Derrapagem. Os valores de microtextura, consoante recomendação do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), devem ser expressos em BPN (*British Number Pendulum*), encontrando um intervalo aceitável entre 47 a 75 (DNER, 2000), sendo os mesmos valores recomendados pela Associação Brasileira de Pavimentação (ABPv) (Tabela 2.14).

A Norma DNIT 031/2004 ES (Pavimentos Flexíveis: Concreto Asfáltico) (DNIT, 2004b) recomenda que os Valores de Resistência à Derrapagem (VRD), obtidos pelo ensaio de Pêndulo Britânico, sejam iguais ou superiores a 45 (VRD ≥ 45), enquanto que a textura, obtida pelo ensaio de Mancha de Areia, apresente valores de altura de areia compreendidos entre 0,60 e 1,20 mm (0,60 mm ≤ HS ≤ 1,20 mm). O Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR, 1998), órgão técnico vinculado ao DNIT, classifica os Valores de Resistência à Derrapagem com valores também em sete classes distintas, com valores aproximados aos recomendados pelo DNIT e pela ABPv (Tabela 2.15).

Classe	Valor de Resistência à Derrapagem (VRD)
Perigosa	VRD < 25
Muito lisa	25 ≤ VRD ≤ 31
Lisa	32 ≤ VRD ≤ 39
Insuficientemente rugosa	40 ≤ VRD ≤ 46
Medianamente rugosa	47 ≤ VRD ≤ 54
Rugosa	55 ≤ VRD ≤ 75
Muito rugosa	VRD > 75

Tabela 2.14 - Classes de microtextura.
Fonte: ABPv (1999).

Classe	Valor de Resistência à Derrapagem (VRD)
Perigosa	VRD < 24
Muito lisa	24 ≤ VRD ≤ 30
Lisa	31 ≤ VRD ≤ 37
Insuficientemente rugosa	38 ≤ VRD ≤ 44
Medianamente rugosa	45 ≤ VRD ≤ 51
Rugosa	52 ≤ VRD ≤ 72
Muito rugosa	VRD > 72

Tabela 2.15 - Classes de microtextura.
Fonte: IPR (1998).

Assim como visto na proposta de Aps (2006) para a classificação do IFI, no estudo de casos de acidentes de trânsito observa-se que a divisão dos valores de resistência à derrapagem em sete classes distintas, conforme apresentado nas Tabelas 2.14 e 2.15, torna-se impraticável. É difícil a distinção especialmente entre as condições extremas (perigosa e muito lisa; rugosa e muito rugosa).

Além disso, como já mencionado, avaliações de natureza pericial são apreciadas por um Juiz, sendo necessário reportar se o VRD, no trecho em análise, é adequado ou não. Assim, a classificação do VRD, especialmente nos casos de perícias, poderia abranger apenas três classes: lisa, média e rugosa (Tabela. 2.16), podendo-se adotar, ainda, uma tabela com cinco classes para as agências reguladoras (Tabela 2.17).

Classe	Valor de Resistência à Derrapagem (VRD)
Lisa	VRD < 46
Média	47 ≤ VRD ≤ 57
Rugosa	VRD > 58

Tabela 2.16 - Classes de microtextura para perícias.
Fonte: Autor.

Classe	Valor de Resistência à Derrapagem (VRD)
Muito lisa	VRD < 30
Lisa	31 ≤ VRD ≤ 37
Insuficientemente rugosa	38 ≤ VRD ≤ 44
Medianamente rugosa	45 ≤ VRD ≤ 51
Rugosa	VRD > 52

Tabela 2.17 - Classes de microtextura para agências reguladoras.
Fonte: Autor.

Outra sugestão de valores de resistência à derrapagem origina-se do Comitê Marshall (DNER, 1998), que propôs valores em função do tipo de segmento rodoviário analisado, com valores compreendidos entre um mínimo de 42 e um máximo de 58 (Tabela 2.18). Os valores recomendados pelo DNIT para a macrotextura encontram-se no intervalo de 0,60 a 1,20 mm de altura média da mancha de areia (DNER, 2000), mesma faixa de intervalo recomendada pela ABPv e pela ANTT em seu programa de exploração da Rodovia BR-393/RJ. Se o valor for inferior a 0,60 mm, a textura torna-se muito fechada, implicando em um maior risco

de hidroplanagem; se for acima de 1,20 mm, a textura torna-se muito aberta, resultando em desgaste excessivo de pneus, maior consumo de combustível e aumento de ruído (Tabela 2.19).

Categoria	Tipo de segmentos	Valor de Resistência à Derrapagem (VRD)
A	Cruzamento em nível	58
	Curvas com raio < 150m	58
	Rampas > 5% extensão 100m	58
	Semáforos transversais urbanos	58
B	Rodovias com velocidade diretriz > 80 km/h	53
	Rodovias em perímetro urbano com VDM > 200	47
C	Rodovias sem sinuosidade e planas, sem tráfego expressivo e sem intersecções perigosas	42

Tabela 2.18 - Valores limites de resistência à derrapagem propostos pelo Comitê Marshall.
Fonte: DNER (1998).

Classe	Altura média de mancha de areia (mm)
Muito fina ou muito fechada	HS ≤ 0,20
Fina ou fechada	0,20 < HS ≤ 0,40
Média	0,40 < HS ≤ 0,80
Grosseira ou aberta	0,80 < HS ≤ 1,20
Muito grosseira ou muito aberta	HS > 1,20

Tabela 2.19 - Classes de macrotextura.
Fonte: ABPv (1999).

A Agência de Transportes do Estado de São Paulo (ARTESP) estabelece, em seus editais de concessão de rodovias estaduais, o atendimento às Normas Britânicas HD 15/87 e HD 36/87, ambas do Departamento de Trânsito de Londres, com os seguintes parâmetros mínimos exigidos:

a) Macrotextura: valores compreendidos entre 0,60 mm < HS < 1,20 mm, obtidos pelo ensaio de Mancha de Areia, referente à textura superficial classificada entre média e grosseira;

b) Microtextura (ou coeficiente de atrito): valores de resistência à derrapagem (VRD) > 47, obtidos pelo ensaio de Pêndulo Britânico, referente às classes entre média e muito rugosa.

2.9.2 Estados Unidos da América

A metodologia empregada para avaliação do atrito dos pavimentos, nos Estados Unidos da América, diverge substancialmente das práticas adotadas no Brasil. De um modo geral, as medições de atrito são realizadas para programas de gerência de pavimentos com múltiplas finalidades, por meio do trailer ASTM E 274-97 (1997), dentre os quais se destacam (NCHRP, 2000):

a) Estabelecimento de critérios para receber obras novas ou para adoção de medidas em pavimentos em serviços;
b) Estratégias de intervenção para pavimentos em serviços em função do atrito;
c) Investigação de acidentes;
d) Estudos para condições aeroportuárias.

No que se refere à textura dos pavimentos, apenas cinco estados norte-americanos realizam as medições, sendo que em apenas três deles com frequência. Em decorrência, quase não se observam referências aos valores combinados *IFI*, sendo obtidas poucas informações, conforme Tabela 2.20, que indicam valores aproximados aos apresentados por Aps *et al.* (2003).

Tipo de pavimento	IFI (F_{60})
Concreto asfáltico convencional	0,19
Stone Matrix Asphalt (SMA)	0,28
Porous Friction Course (PFC)	0,36

Tabela 2.20 - Valores de IFI (F60).
Fonte: McDaniel et al. (2004)

2.9.3 Suíça

O ensaio do Pêndulo Britânico também é empregado na Suíça para mensurar a microtextura dos pavimentos, sendo que o valor mínimo recomendado, independentemente do limite de velocidade permitido, é de 65 BPN. Já o valor da macrotextura é obtido por meio do equipamento *OFT - Outflow Time* (s) (Tabela 2.21). No que se refere aos valores de atrito, estes dependem do limite de velocidade da via e da velocidade de realização dos ensaios com os equipamentos *Skiddometer* BV-8 ou *Stuttgarter Reibungsmesser* (Tabela 2.22).

Limite de velocidade (km/h)	Microtextura (BPN)	Macrotextura (OFT)
≤ 60	65	150
60 < V ≤ 100	65	100
> 100	65	50

Tabela 2.21 – Valores recomendados para micro e macrotextura.
Fonte: NCHRP (2000).

Limite de velocidade (km/h)	Velocidade de teste (km/h)	Valor do atrito μ (roda bloqueada)
≤ 60	40	0,48
60 < V ≤ 100	60	0,39
> 100	80	0,32

Tabela 2.22 – Valores recomendados para o atrito.
Fonte: NCHRP (2000).

2.9.4 Austrália

Na Austrália, os valores para intervenção em função da textura e do atrito variam em função da classe da rodovia (local, especial, primária e secundária), consoante valores apresentados nas Tabelas 2.23 e 2.24.

Classe de rodovia	Valores de textura
Especial	0,4 < MTD < 0,8 mm
Primária	0,2 < MTD < 0,4 mm
Secundária	0,2 < MTD < 0,4 mm

Tabela 2.23 - Valores recomendados para textura.
Fonte: NCHRP (2000).

Classe de rodovia	Valores de atrito
Especial, Primária e Secundária	BPN > 45
Local	BPN > 40

Tabela 2.24 - Valores recomendados para atrito.
Fonte: NCHRP (2000).

2.9.5 Espanha

Na Espanha existem duas sistemáticas distintas para avaliação de pavimentos: para recebimento de pavimentos novos existem recomendações de valores de micro e macrotextura, obtidos, respectivamente, pelos ensaios de Pêndulo Britânico e Mancha de Areia (Poncino, 2002). Estes valores recomendados variam em função do tipo de pavimento empregado (Tabela 2.25). Já para serviços de manutenção, as recomendações são feitas com base nos valores dos coeficientes de atrito (CAT), obtidos por meio do equipamento SCRIM, com roda oblíqua, a uma velocidade de 60 km/h (Tabela 2.26).

Tipo de pavimento		Altura de areia (mm)	Atrito com Pêndulo Britânico
Mistura asfáltica	-	0,7	0,65
Mistura asfáltica a quente delgada	M 8	0,9	0,65
	F 10	1,1	0,65
Lamas asfálticas	LB 1	1,1	0,65
	LB 2	0,9	0,65
	LB 3	0,7	0,60
	LB 4	0,5	0,55
Tratamento	Textura fina	0,6	0,55
	Textura média	0,8	0,60
	Textura grossa	> 1,0	0,65
Concreto de CP	-	0,7 a 1,0	-

Tabela 2.25 - Valores recomendados para micro e macrotextura (obras novas).
Fonte: Poncino (2002).

Valor de atrito (CAT)	Ação de manutenção
CAT > 50	Nenhuma (pavimento em bom estado)
50 > CAT > 40	Intervenção quando possível (acompanhar evolução)
40 > CAT	Intervenção imediata

Tabela 2.26 - Valores de atrito (microtextura) para intervenções.
Fonte: Poncino (2002).

2.9.6 Nova Zelândia

Os valores de atrito e de textura são especificados, na Nova Zelândia, em duas categorias distintas, que levam em consideração as velocidades permitidas (Tabela 2.27), bem como o tipo e a região de rodovia (Tabela 2.28). Nas Tabelas 2.27 a 2.30 observam-se os valores adotados para investigação das condições da camada superficial do pavimento, ou seja, quando estes forem atingidos deve ser realizada uma inspeção da camada de rolamento, a fim de verificar as condições de segurança quanto à micro e macrotextura.

Categoria	Valor para investigação	Valor limite
Velocidade ≥ 70 km/h	0,9 mm	0,7 mm
Velocidade < 70 km/h	0,7 mm	0,5 mm

Tabela 2.27 - Valores recomendados para investigação de textura.
Fonte: *Transit New Zealand* (2000).

Cat.	Tipo	Valor para investigação	Valor limite
1	Aproximações a: cruzamento ferroviário em nível; semáforos; cruzamentos para pedestres; rotatórias; pontes de pista simples; intersecções controladas por placas de "Pare" e "Dê a Preferência"	0,55	0,45
2	Curvas de raio < 250 metros; declives com gradientes > 10%	0,50	0,40
3	Rampas; aproximação à junção de rodovias; declives com gradientes de 5/10%; área de intersecção de rodovia especial (incluindo rampas de entrada e saída)	0,45	0,35
4	Rodovias sem divisão de pista (sem interferência)*	0,40	0,30
5	Rodovias com divisão de pista (sem interferência)*	0,35	0,25

Tabela 2.28 - Valores recomendados para investigação de atrito.
Fonte: *Transit New Zealand* (2000).

* Sem interferência: onde nenhuma outra restrição geométrica ou situações nas quais os veículos podem precisar frear subitamente podem influenciar os requisitos da resistência ao deslizamento.

Com os valores recomendados nas Tabelas 2.27 e 2.28 calculam-se os valores de IFI para as situações possíveis na Nova Zelândia (Tabelas 2.29 e 2.30).

	Tipo	Valor para investigação	Valor limite
1	Aproximações a: cruzamento ferroviário em nível; semáforos; cruzamentos para pedestres; rotatórias; pontes de pista simples; intersecções controladas por placas de "Pare" e "Dê a Preferência"	-*	-*
2	Curvas de raio < 250 metros; declives com gradientes > 10%	(95; 0,32)	(75; 0,23)
3	Rampas; aproximação à junção de rodovias; declives com gradientes de 5 a 10%; áreas de intersecções de rodovias especiais (incluindo rampas de entrada e saída)	(95; 0,30)	(75; 0,20)
4	Rodovias sem divisão de pista (sem interferência)	(90; 0,25)	(75; 0,17)
5	Rodovias com divisão de pista (sem interferência)	(95; 0,22)	(75; 0,17)

Tabela 2.29 - Níveis de investigação em termos de *IFI* (Sp; F60) para velocidades maiores que 70km/h. Fonte: *Transit New Zealand* (2000).

* Não são praticadas, na Nova Zelândia, velocidades maiores que 70 km/h nas situações da Categoria 1.

	Tipo	Valor para investigação	Valor limite
1	Aproximações a: cruzamento ferroviário em nível; semáforos; cruzamentos para pedestres; rotatórias; pontes de pista simples; intersecções controladas por placas de "Pare" e "Dê a Preferência"	(75; 0,30)	(60; 0,26)
2	Curvas de raio < 250 metros; declives com gradientes > 10%	(75; 0,32)	(60; 0,23)
3	Rampas; aproximação à junção de rodovias; declives com gradientes de 5 a 10%; áreas de intersecções de rodovias especiais (incluindo rampas de entrada e saída)	(75; 0,30)	(60; 0,20)
4	Rodovias sem divisão de pista (sem interferência)	(75; 0,25)	(60; 0,17)
5	Rodovias com divisão de pista (sem interferência)	(75; 0,22)	(60; 0,15)

Tabela 2.30 - Níveis de investigação em termos de *IFI* (Sp; F60) para velocidades menores que 70 km/h. Fonte: *Transit New Zealand* (2000).

2.9.7 Portugal

Em Portugal, os indicadores utilizados para avaliação da qualidade das características funcionais do pavimento são a resistência à derrapagem (medida pelos ensaios de Pêndulo Britânico e SCRIM) e a textura (medida pelo ensaio de Mancha de Areia). Normalmente, estes ensaios, e as recomendações, valem para obras novas, não sendo frequentes as avaliações em rodovias já existentes.

Duas das principais concessionárias de rodovias de Portugal, BRISA e Estradas de Portugal (EP) recomendam, em seus cadernos de encargos, os seguintes valores mínimos para textura (Tabela 2.31) e resistência à derrapagem (Tabela 2.32).

Pavimento	EP	BRISAS
Concreto asfáltico	> 0,6	> 0,6
Concreto asfáltico drenante	> 1,2	Não especificado
Microconcreto asfáltico	> 1,0	> 1,0

Tabela 2.31 - Valores mínimos recomendados para textura (obras novas).
Fonte: Fernandes e Neves (2003).

Método	EP	BRISAS
SCRIM	> 0,4 (50 km/h) > 0,2 (120 km/h)	> 0,5
Pêndulo Britânico	> 0,55	Não especificado

Tabela 2.32 - Valores mínimos recomendados para resistência à derrapagem (obras novas).
Fonte: Fernandes e Neves (2003).

2.10 Sistemática para Atendimento de Acidentes de Trânsito

Os acidentes de trânsito apresentam sistemáticas específicas para que ocorra o atendimento da ocorrência. Muito embora as sistemáticas sejam parecidas para acidentes rodoviários e urbanos, existem algumas pequenas diferenciações, descritas a seguir.

2.10.1 Acidentes Rodoviários

Os acidentes de trânsito rodoviários são aqueles que ocorrem em rodovias estaduais ou federais, sob concessão ou não, inclusive em perímetros urbanos, envolvendo um ou mais veículos automotores. Quando há vítimas, as testemunhas que presenciam um acidente rodoviário, os envolvidos ou mesmo os usuários da rodovia que passam pelo local, de imediato entram em contato com o socorro médico, realizado por ambulância do SIATE (Serviço Integrado de Atendimento ao Trauma em Emergência), do SAMU (Serviço de Atendimento Móvel de Urgência) ou da empresa concessionária, que se desloca até o local do acidente.

Ato contínuo, a Polícia Rodoviária (estadual ou federal) é comunicada sobre o acidente, sendo deslocados ao menos dois policiais para atender a ocorrência, os quais, todavia, raramente possuem formação técnica, preferencialmente em Engenharia Civil, e que permita uma avaliação adequada das condições do pavimento e da via como um todo.

Ademais, também não há o fornecimento de equipamentos que permitam proceder a um correto levantamento das condições da rodovia, em especial da textura e do coeficiente de atrito no local do acidente. Os policiais rodoviários dispõem, apenas, de uma singela trena para tomada de algumas medidas básicas.

Em havendo vítima fatal, os policiais rodoviários comunicam à Delegacia de Polícia Civil responsável. Nestas condições, o acidente de trânsito passa a ser examinado consoante o exposto no Código de Processo Penal, em seus artigos 6º, 158 e 159:

> Art. 6º Logo que tiver conhecimento da prática da infração penal, a autoridade policial deverá:
> I - dirigir-se ao local, providenciando para que não se alterem o estado e conservação das coisas, até a chegada dos peritos criminais.
> Art. 158. Quando a infração deixar vestígios será indispensável o exame de corpo de delito, direto ou indireto, não podendo supri-lo a confissão do acusado.
> Art. 159. O exame de corpo de delito e outras perícias serão realizados por perito oficial, portador de diploma de curso superior.
> § 1º- Na falta de perito oficial, o exame será realizado por 2 (duas) pessoas idôneas, portadoras de diploma de curso superior preferencialmente na área específica, dentre as que tiverem habilitação técnica relacionada com a natureza do exame (BRASIL, 1941).

Assim, o acidente de trânsito com vítima fatal pode ser atendido por profissional mais habilitado que os policiais rodoviários (perito criminal, no caso), mas que também, não necessariamente, possui equipamentos e formação técnica específica para avaliação das condições do pavimento. Muito embora todos os peritos criminais tenham formação superior, a minoria apresenta graduação na área de transportes, em especial de infraestrutura.

Raríssimos são os acidentes de trânsito rodoviários, no Brasil, que são examinados corretamente, especialmente no que se refere às avaliações das condições de aderência do pavimento (textura e coeficiente de atrito), quer seja por falta de equipamentos específicos, quer seja por ausência de pessoal técnico adequadamente preparado para proceder aos ensaios e análises dos resultados.

Observa-se, portanto, que os pavimentos não são avaliados para comprovar se contribuíram decisivamente, ou não, para a ocorrência dos acidentes de trânsito, inclusive nos casos de suspeita de hidroplanagem.

2.10.2 Acidentes Urbanos

Nos acidentes de trânsito urbanos que ocorrem em vias públicas municipais (ruas e avenidas), envolvendo um ou mais veículos automotores, assim como no caso dos acidentes rodoviários, se houver vítimas ocorre o socorro médico, realizado geralmente por ambulância do SIATE ou SAMU, que também se desloca até o local do acidente. Na sequência, a Polícia Militar é comunicada sobre o acidente, sendo deslocados pelo menos dois policiais militares para atender a ocorrência. Estes servidores raramente possuem formação técnica em Engenharia Civil, indispensável para que ocorra uma avaliação adequada das condições do pavimento e da via.

Além disso, as Polícias Militares estaduais não têm os equipamentos necessários para o levantamento das condições da via no local do acidente (textura e coeficiente de atrito). Os policiais militares contam, apenas, com uma trena para tomada de medidas básicas da via.

Novamente, no caso de vítima fatal no local do acidente, os policiais militares comunicam à Delegacia de Polícia Civil da cidade e o acidente passa a ser atendido conforme os preceitos legais já mencionados do Código de Processo Penal Brasileiro. E as condições de trabalho e de qualificação do perito criminal são as mesmas descritas nos acidentes rodoviários, sendo desconhecido algum acidente,

no Brasil, em que as condições de aderência do pavimento (textura e coeficiente de atrito) tenham sido avaliadas. Assim, tanto os acidentes urbanos quanto os rodoviários não são avaliados para comprovar se contribuíram decisivamente para a ocorrência dos acidentes de trânsito, especialmente quando há suspeita de ocorrência de hidroplanagem.

2.10.3 Determinação da Área de Análise

Os estudos concentram-se no local onde ocorreu o acidente, bem como em trechos adjacentes, a fim de verificar a parcela de contribuição do pavimento para a ocorrência do acidente. Assim, a identificação do local de colisão entre os veículos é a primeira etapa a ser cumprida. A determinação da área provável de impacto (API), também denominada "sítio de colisão", não é uma tarefa simples e de fácil consecução. Segundo Aragão (2003):

> Sítio de colisão é a área onde se inicia o acidente de tráfego propriamente dito, a fase mecânica e concreta, aquela em que os veículos interagiram fisicamente. Indica a posição e a situação dos veículos no exato momento em que entraram em contato e, em correlação com as posições finais dos veículos e da orientação dos danos, indica o sentido e direção de marcha dos veículos.

Inicialmente, é importante salientar que não se consegue determinar um ponto exato da colisão. "Ponto" é um elemento somente determinável no campo teórico da física. Mesmo um pequeno ponto possui uma área. Assim, não há que se mencionar em "ponto provável de impacto", mas, sim, em "área provável de impacto". Procura-se delimitar, então, qual seria a área provável de impacto entre os veículos. Quanto melhores os vestígios passíveis de análise, menor será a área determinada. E quanto menor a área, maior a precisão da determinação. Em locais de acidentes de trânsito existem dois tipos básicos de vestígios: móveis e fixos.

Os vestígios móveis são aqueles que, pela própria natureza, são de fácil remoção de sua posição final após o acidente. Como exemplos, citam-se: fragmentos de vidro, componentes plásticos e metálicos, lascas de pintura dos veículos, fluídos (água do radiador e da bateria, fluído de freio), manchas de óleo, os próprios veículos, entre outros. Estes elementos, em virtude da facilidade de alteração das posições finais, devem sempre ser tratados com cautela, quando da utilização para determinação da área provável de impacto.

Existem, também, os denominados elementos fixos, tais como: marcas de frenagem, arrastamento e derrapagem, sulcos no leito da via, etc. Estes elementos são mais confiáveis, em virtude da impossibilidade de alteração de suas posições. Assim, quando existentes em locais de acidentes de trânsito, são de bastante utilidade à determinação da área provável de impacto.

E é nessa etapa que residem às dificuldades iniciais de análise dos pavimentos em locais de acidentes de trânsito. Normalmente, os policiais rodoviários e militares que atendem ocorrências de acidentes de trânsito, por falta de formação adequada, ignoram diversos vestígios relacionados aos acidentes por não terem conhecimentos técnicos específicos para identificação, utilização e interpretação desses elementos.

Verifica-se, portanto, que os policiais rodoviários e militares não consideram vários elementos técnicos fundamentais à elucidação das causas dos acidentes, especialmente pela ausência de registros específicos, motivo pelo qual não é adequada a realização de exames posteriores para avaliação das características do pavimento:

> O Relatório Policial, lamentavelmente, não registra e nem dimensiona os vestígios iniciais da colisão, especialmente os dos rastros das rodas, fragmentos de vidros e outros resíduos desagregados, que são importantes, eis que registram a fase inicial da colisão. Não constam, no Relatório Policial da Ocorrência, como deveriam, registros referentes a rastros dos veículos, estilhaços de vidro e o local onde foram parar os veículos após o acidente (BEUX, 1996).

Determinada a área provável de impacto, por meio dos vestígios móveis e fixos, torna-se necessário estimar em até qual extensão, a partir da API, para ambos os sentidos de tráfego, o pavimento deverá ser examinado. Para tanto, a hipótese apresentada no presente estudo é de se levar em consideração o maior valor compreendido entre duas situações distintas:

a) **Com marcas de frenagem**: em havendo marcas de frenagem no leito asfáltico, toma-se o maior comprimento destas marcas como valor de referência. A avaliação do pavimento deverá ser realizada, portanto, a partir da API, ao longo do maior comprimento das marcas de frenagem e para ambos os sentidos de tráfego da via;

b) **Sem marcas de frenagem**: quando não há marcas de frenagem aparentes no leito asfáltico, e com o valor da velocidade máxima permitida para a via (em função do tipo dos veículos envolvidos no acidente), da inclinação do pavimento e do coeficiente de atrito mensurado inicialmente junto à API, estima-se, de maneira aproximada, por meio da Equação 2.4, o comprimento das hipotéticas marcas de frenagem que seriam necessárias para frear completamente o veículo. A avaliação do pavimento deverá ser realizada, portanto, a partir da API, ao longo do comprimento estimado e para ambos os sentidos de tráfego da via.

Abaixo se encontra reproduzida a Equação 2.4, com um exemplo de cálculo da extensão aproximada de avaliação em função da velocidade máxima permitida (40 km/h) e pista em nível.

$$Vf(km/h) = 3{,}6 \times \sqrt{2 \times g \times d \times (f \pm h)} \qquad (2.4)$$

Onde:

Vf = velocidade máxima permitida (km/h);

g = aceleração da gravidade (9,81 m/s²);

d = extensão aproximada de avaliação (em metros);

f = coeficiente de atrito longitudinal entre os pneumáticos e o pavimento;

h = inclinação longitudinal do leito, no local da frenagem.

$$40 = 3{,}6 \times \sqrt{2 \times 9{,}81 \times d \times (0{,}8 \pm 0)}$$

$$11{,}11 = \sqrt{15{,}7 \times d}$$

$$123{,}5 = 15{,}7 \times d$$

$$d(m) \cong 8{,}00$$

A Tabela 2.33 apresenta os valores das extensões aproximadas de avaliação para trechos com velocidades compreendidas entre 40 e 120 km/h.

Velocidade máxima permitida (km/h)	Extensão aproximada de avaliação (m)
40	8,00
50	13,00
60	18,00
70	25,00
80	32,00
90	40,00
100	50,00
110	60,00
120	70,00

Tabela 2.33 - Extensão de avaliação do pavimento a partir da API, para ambos os sentidos de tráfego (leito de rolamento em nível).
Fonte: Autor.

2.10.4 Momento da Realização dos Ensaios

Conforme visto em 2.2, a aderência do pavimento varia ao longo do tempo, especialmente em função do tráfego e das condições climáticas a que está sujeita. Assim, quando da ocorrência de um acidente de trânsito, a avaliação do leito asfáltico deve ser realizada no menor espaço de tempo possível depois do sinistro.

Muitas vezes, durante o atendimento do acidente de trânsito, não há condições técnicas de se mensurar a textura e o coeficiente de atrito do pavimento, quer seja pelo trânsito de veículos e de pessoas, quer seja pelas próprias condições climáticas do momento e do horário do acidente (acidentes em período noturno, durante períodos de chuva, etc.).

Assim, as avaliações devem ser realizadas em condições técnicas satisfatórias (durante o período diurno e sem chuvas) e no menor espaço de tempo possível após o acidente, motivo pelo qual todos os equipamentos necessários devem estar à disposição para a realização imediata dos ensaios.

A hipótese sugerida para o presente trabalho é que as medições sejam realizadas em até 24 horas depois do acidente. Como exemplificação, se um acidente de trânsito ocorrer na madrugada de um dia, o ideal é que as avaliações da textura sejam realizadas durante o período diurno desse mesmo dia, a fim de que os ensaios sejam efetuados sem alteração das condições de aderência do pavimento.

2.11 Aspectos Periciais em Acidentes de Trânsito

Os acidentes de trânsito urbanos e rodoviários, por envolverem grandes quantidades de energia, liberam diversos vestígios e indícios que permitem determinar a forma como possam ter acontecido. Assim, o levantamento correto e eficiente da maior quantidade possível de dados é de fundamental importância para a apuração das responsabilidades criminal e civil envolvidas. Aragão (2011) assim se manifesta:

> A investigação científica começa com o levantamento dos dados; se não há dados não há ponto de largada, não há caminho nem ponto de chegada. Os dados de entrada levantados nos trabalhos de campo, ponto de largada, em tese, são os resíduos sensíveis dos fenômenos criminalísticos, a materialidade dos fatos, denominados vestígios. O vestígio não é qualquer coisa escolhida ao arbítrio ou aleatoriamente. Fruto de uma primeira análise, é especial, uma vez que assim é considerado em razão de um conhecimento específico, de uma lei ou teoria subjacentes do arsenal da Criminalística.

Ademais, é importante observar que as perícias de acidentes de trânsito, além de sua finalidade primeira, qual seja, determinação da causa e atribuição de responsabilidades, também desempenha um importante papel preventivo na redução dos índices de acidentes, quer seja no processo de educação e orientação dos condutores sobre situações perigosas (tráfego em velocidades incompatíveis, consumo de álcool antes de dirigir, etc.), quer seja na correção de problemas mecânicos nos veículos ou de fatores ambientais da via (existência de defeitos, ausência de sinalização, baixa aderência do pavimento, etc.).

De um modo geral, conforme se depreende da leitura de importantes obras nacionais sobre o assunto, principalmente Almeida (2011), Aragão (2003), Aragão (2011), Negrini Neto e Kleinübing (2012), os levantamentos ficam mais concentrados nas unidades veiculares, na psicodinâmica dos condutores e nos aspectos visuais da via, em especial nas sinalizações verticais e horizontais e na existência de algum defeito facilmente determinável (panelas, por exemplo).

Todavia, em situações específicas, onde ocorre redução significativa da aderência na interface pneu/pavimento, quer seja por fator natural (chuva), quer seja por característica do material empregado e/ou pela ausência de manutenção preventiva e corretiva, nenhuma análise científica é realizada. Assim, muito embora os exames dos veículos e o estudo da psicodinâmica do acidente sejam importantes

à elucidação da causa de um acidente, a ausência de levantamento das condições de aderência do pavimento pode comprometer toda a conclusão do trabalho.

Conforme visto em 2.3.4 e 2.3.5, a aderência do pavimento tem influência direta na eficiência da frenagem dos veículos e na consequente redução da energia cinética envolvida no sistema, responsável direta pela maior ou menor severidade das avarias nos veículos e das lesões nas vítimas. Assim, a avaliação deste parâmetro deve nortear todos os trabalhos periciais relativos a acidentes de trânsito.

Negrini Neto e Kleinübing (2012) afirmam que o perito examinador de acidentes de trânsito deve formular os chamados "quesitos periciais", a fim de facilitar a consecução dos exames. Sugerem, dentro de diversos quesitos, a possibilidade de se avaliar o coeficiente de atrito no local dos fatos, entendendo que se trata de parâmetro importante a ser levantado pelo perito. Estes autores tratam o levantamento do coeficiente de atrito como uma mera possibilidade, já que não se trata de prática rotineira dos peritos em virtude da ausência de critérios específicos para a determinação, que oriente como deve ser feita a avaliação e por meio de quais equipamentos seria possível.

Nestas condições, os peritos examinadores devem considerar também a avaliação da aderência na interface pneu/pavimento como um dos importantes aspectos periciais em exames de acidentes de trânsito, assim como o exame da via como um todo, o exame dos veículos e a avaliação da psicodinâmica dos condutores.

Na Figura 2.23 observa-se o fluxograma dos serviços periciais decorrentes de acidentes de trânsito, com e sem vítima fatal no local da ocorrência. A sequência de atividades realizadas em acidentes sem vítimas fatais exige, geralmente, exames periciais apenas nos veículos, e quando estes já foram removidos do local do acidente. Raramente são realizados exames no sítio de colisão quando não há vítima fatal, motivo pelo qual os laudos periciais não determinam a causa do acidente, restringindo-se às avarias e avaliações dos sistemas dos veículos envolvidos (direção, frenagem, iluminação, sinalização).

Já nos casos em que ocorre morte de uma ou mais pessoas no momento do acidente, a autoridade policial (Polícia Civil) requisita a presença do perito criminal no local dos fatos, possibilitando, com isso, a análise dos veículos, das vítimas e da via. Assim, com todos os dados técnicos disponíveis, o perito criminal elabora, posteriormente, o laudo pericial, apontando a efetiva causa do acidente.

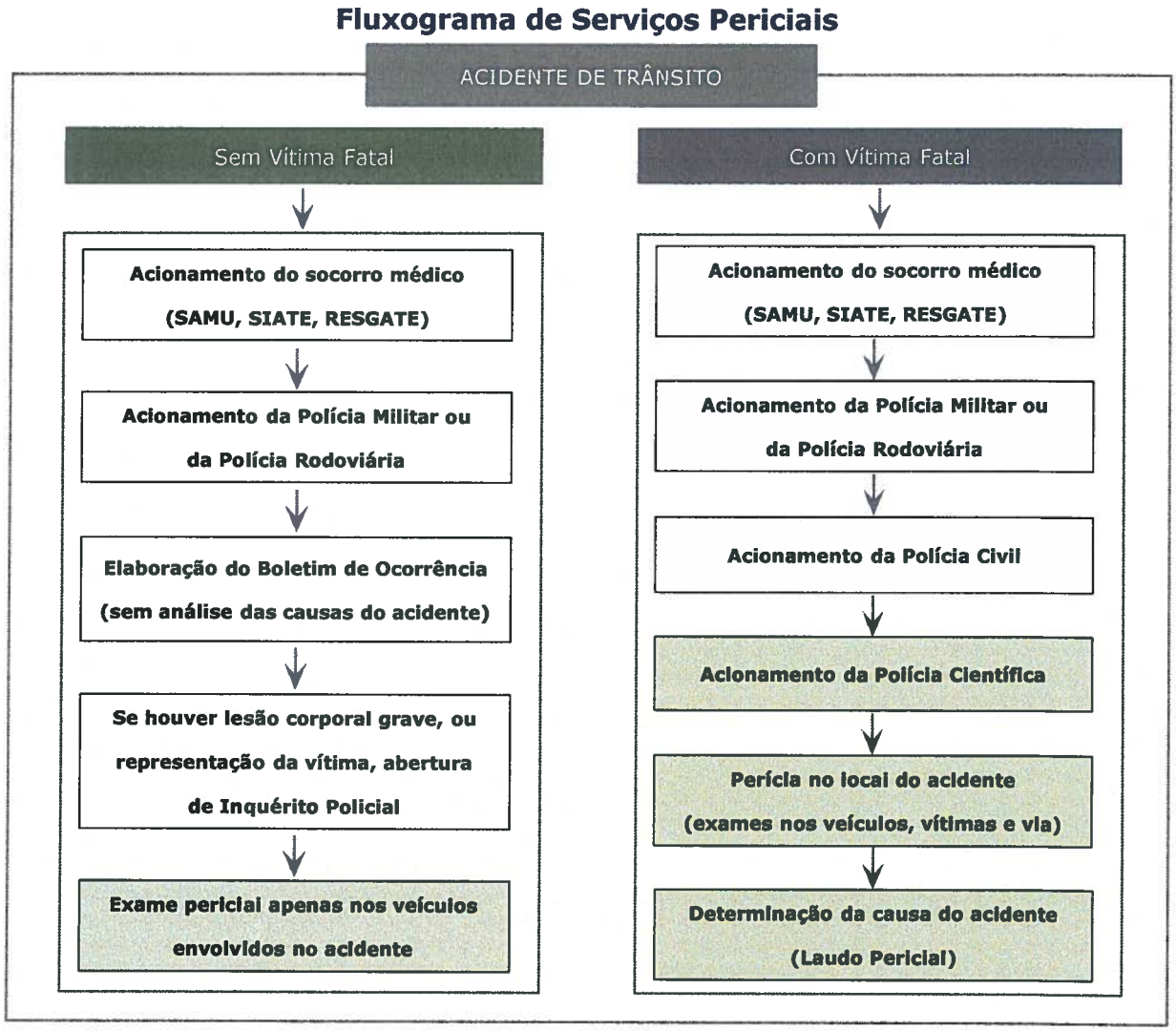


Figura 2.23 – Fluxograma de serviços periciais em acidentes de trânsito.
Fonte: Autor.

3 PESQUISA DE CAMPO E RESULTADOS

O objetivo central desta pesquisa é estabelecer critérios para avaliar o pavimento em locais de acidente de trânsito, especialmente para determinar se os valores de macrotextura e da microtextura, na interface pneu/pavimento, encontram-se dentro das faixas e valores mínimos recomendados pelo DNIT, pela ANTT e pela ARTESP. Assim, para atingir o objetivo central deste trabalho foram desenvolvidas as seguintes atividades:

a) Análise e compreensão, por meio dos mecanismos da física clássica, dos fenômenos que ocorrem na interface pneu/pavimento quando do deslocamento e da desaceleração de um veículo sobre o pavimento;
b) Revisão bibliográfica e dos procedimentos de ensaio para mensuração da macrotextura do pavimento por meio do ensaio de mancha de areia (ASTM E 965-96);
c) Revisão bibliográfica e dos procedimentos de ensaio para mensuração da microtextura do pavimento por meio do ensaio do pêndulo britânico (ASTM E 303-93);
d) Coleta de dados em três rodovias e em quatro vias urbanas, todas localizadas no Estado do Paraná e com velocidades permitidas iguais ou superiores a 50 km/h, especificamente em trechos onde ocorreram acidentes de trânsito;
e) Comparação dos valores da macro e microtextura levantados em campo com aqueles sugeridos pelo DNIT, ANTT e ARTESP;
f) Determinação do índice combinado IFI (*International Friction Index*) (ASTM E 1960-98) nos locais de acidente de trânsito onde o valor da macrotextura do pavimento for inferior ao recomendado pelo DNIT, ANTT e ARTESP, verificando a condição do pavimento segundo as faixas de classificação propostas (APS, 2006);
g) Verificar se há correlação entre a ocorrência dos acidentes de trânsito pesquisados e as condições de aderência dos pavimentos, ou seja, se uma possível baixa aderência na interface pneu/pavimento foi determinante para a ocorrência dos referidos acidentes;

h) Determinar se a gravidade dos acidentes de trânsito que ocorreram em condições insuficientes de aderência do pavimento poderia ser diminuída caso as vias tivessem sido construídas e mantidas em operação com pelo menos os valores mínimos de macrotextura e microtextura recomendados pelo DNIT, pela ANTT e pela ARTESP.

Inicialmente foram realizados ensaios de mancha de areia nas rodovias e nas avenidas pesquisadas, todas localizadas no Estado do Paraná, a fim de mapear as condições atuais de aderência dos pavimentos, mais precisamente no que se refere às condições de macrotextura.

Nas avenidas, os ensaios foram realizados a cada 500 metros, intercalando os sentidos de tráfego. Assim, nas quatro avenidas, os ensaios foram realizados em uma extensão total de aproximadamente 22 km. Já nas três rodovias estaduais, em uma extensão total de 316 km, os ensaios foram realizados a cada 1000 metros, também intercalando os sentidos de tráfego.

Posteriormente foram realizados ensaios de macrotextura (mancha de areia) em locais de acidentes de trânsito ocorridos tanto nas rodovias quanto nas avenidas, no período compreendido entre o dia 1º de outubro de 2012 e o dia 31 de março de 2013, totalizando seis meses de pesquisa.

Nos locais de acidentes de trânsito onde os valores da macrotextura ficaram abaixo do mínimo recomendado pelo DNIT, pela ANTT e pela ARTESP foram realizados os ensaios com o pêndulo britânico, a fim de verificar se o valor da microtextura do pavimento também se encontrava abaixo do mínimo recomendado pelos mesmos órgãos.

A determinação dos valores dos coeficientes de atrito (f) entre os pneumáticos e os pavimentos foi realizada por meio de um acelerômetro MEMS (*Micro-Electro-Mechanical Systems*) de marca de fabricação *Analog Devices*, modelo ADXL203E, devidamente acoplado a um microcontrolador de marca de fabricação Atmel, modelo ATMEGA8-16PU.

O método empregado para a realização da pesquisa de campo compreendeu as seguintes etapas:

a) Revisão dos procedimentos de ensaios com os equipamentos necessários à realização da pesquisa:

i) Mancha de areia: ASTM E 965-96 (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL, 2001b);
ii) Pêndulo britânico: ASTM E 303-93 (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL, 1998).

b) Seleção dos locais de ocorrência de acidentes de trânsito para a realização dos ensaios de campo, considerando-se trechos:
   i) Com revestimentos asfálticos apresentando textura superficial isenta de fissuras, panelas e afundamentos;
   ii) Com ocorrência do acidente no máximo 24 horas antes da realização dos ensaios de mancha de areia;
   iii) Com velocidades permitidas iguais ou superiores a 50 km/h.

Os resultados das avaliações de macro e microtextura referem-se a (Tabelas 3.1 e 3.2):

a) Mancha de areia: altura média de três medidas da mancha ou da profundidade média de areia (mm);
b) Pêndulo britânico: média de cinco leituras corrigidas (dividido por 100).

Classe	Abreviação	Altura média de mancha de areia (mm)
Muito fina ou muito fechada	MF	HS ≤ 0,20
Fina ou fechada	F	0,20 < HS ≤ 0,40
Média	M	0,40 < HS ≤ 0,80
Grosseira ou aberta	G	0,80 < HS ≤ 1,20
Muito grosseira ou muito aberta	MG	HS > 1,20

Tabela 3.1 – Classificação quanto à macrotextura (ensaio de mancha de areia).
Fonte: ABPv (1999).

Classe	Abreviação	Valor de Resistência à Derrapagem (VRD)
Lisa	L	VRD < 46
Média	M	47 ≤ VRD ≤ 57
Rugosa	R	VRD > 58

Tabela 3.2 – Classificação quanto à microtextura para perícias (ensaio de pêndulo britânico).
Fonte: Autor.

3.1 Rodovias Estaduais no Estado do Paraná

No dia 16 de janeiro de 2012, por meio de requerimento protocolizado junto à Superintendência Regional Norte do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Paraná, foram solicitadas informações sobre o tipo de revestimento asfáltico utilizado nas rodovias e trechos pesquisados. O requerimento foi atendido e, em arquivo digital, foram informadas as estruturas dos pavimentos, com as espessuras das camadas de subleito, sub-base, base e revestimento (Apêndice B).

As três rodovias analisadas neste estudo classificam-se como "Classe IB", conforme características de projeto, quais sejam (BRASIL, 2006b):

a) *Classe O - Vias Expressas:* rodovias com pista dupla e controle total de acesso, projetadas para operar a velocidades elevadas (até 120 km/h) e com elevado VDM - volume diário médio;
b) *Classe I:* rodovias com controle parcial de acesso, permitindo maior tolerância no que diz respeito às interferências causadas por acessos frequentes; projetadas com velocidade de projeto de até 100 km/h, para operar com elevado VDM. São divididas em: *Classe IA:* rodovias com pista dupla e *Classe IB:* rodovias com pista simples;
c) *Classe II:* rodovias projetadas com velocidade de projeto de até 100 km/h, para operar com VDM moderado, da ordem de até 1400 veículos;
d) *Classe III:* rodovias projetadas com velocidade de projeto de até 80 km/h, para operar com VDM da ordem de até 700 veículos;
e) *Classe IV:* rodovias projetadas com velocidade de projeto de até 80 km/h, com VDM de até 200 veículos.

3.1.1 Rodovia Estadual PR-090

A rodovia estadual PR-090 inicia-se na cidade de Curitiba, terminando no entroncamento com a PR-170, no município de Alvorada do Sul. Possui uma extensão de 460,2 km, sendo que a pesquisa de campo ocorreu ao longo de 103 km, mais precisamente no trecho compreendido entre o município de Ibiporã e o município de Alvorada do Sul (entroncamento com a PR-170). A velocidade máxima permitida para automóveis é de 110 km/h.

No trecho pesquisado o revestimento é do tipo Concreto Asfáltico Usinado à Quente (CBUQ), sendo que a rodovia apresenta, na maioria de sua extensão, duplo sentido de tráfego, cada um com uma faixa de rolamento, com largura aproximada de 3,40 m (Figura 3.1). Em alguns trechos apresenta-se duplicada ou com terceira faixa.

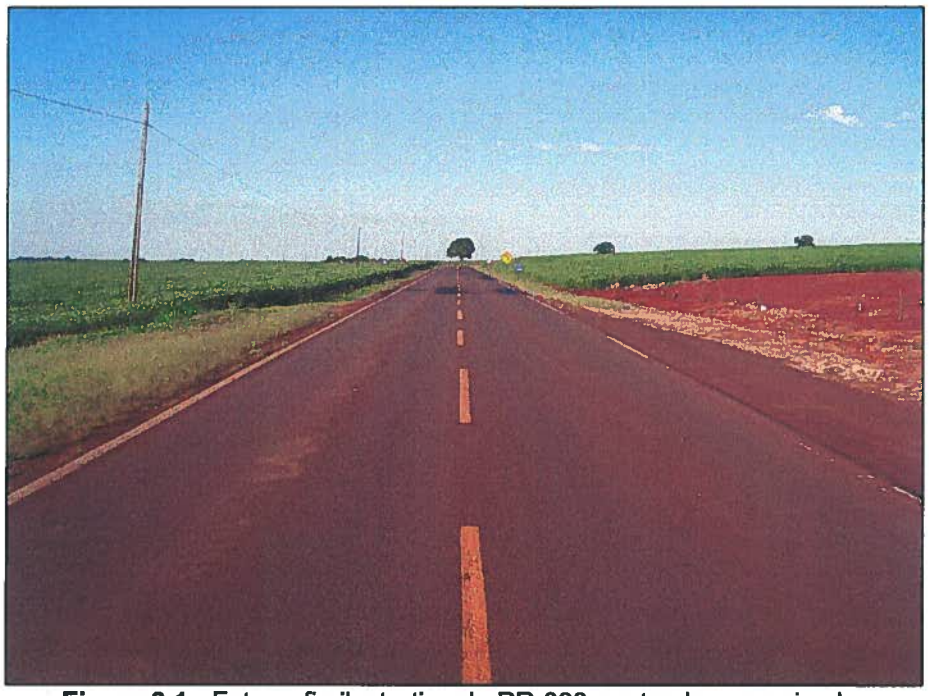


Figura 3.1 - Fotografia ilustrativa da PR-090, no trecho pesquisado.
Fonte: Autor.

Nesta rodovia foram realizados 104 ensaios de mancha de areia, sempre com a pista seca, a fim de mapear as condições atuais de macrotextura do revestimento, sendo 52 ensaios para cada sentido de tráfego. Os valores encontrados ficaram compreendidos entre 0,55 mm e 0,76 mm de altura média da mancha de areia (Figuras 3.2 e 3.3), o que compreende uma macrotextura média.

Durante o período compreendido entre 1º de outubro de 2012 e 31 de março de 2013 foram realizados, no trecho em análise, ensaios de mancha de areia em 37 locais de ocorrência de acidentes de trânsito. Os resultados dos ensaios apresentam-se na Tabela 3.3, não sendo observada relação entre a ocorrência de acidente de trânsito e os locais onde foram mensurados os menores valores de altura de mancha de areia. Todavia, 6 acidentes ocorreram em local com valor de altura de mancha de areia inferior ao mínimo recomendado pelo DNIT, pela ANTT e pela ARTESP (0,60 mm), os quais serão melhor analisados no Capítulo 4, estando tais valores destacados em vermelho na referida tabela.

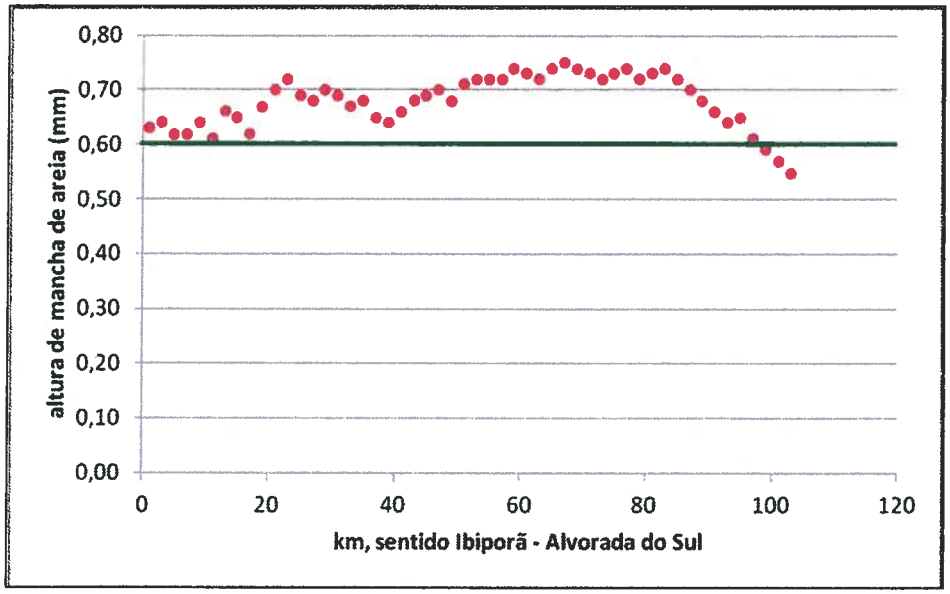


Figura 3.2 - Resultados dos ensaios de mancha de areia na faixa de sentido Ibiporã/Alvorada do Sul. Fonte: Autor.

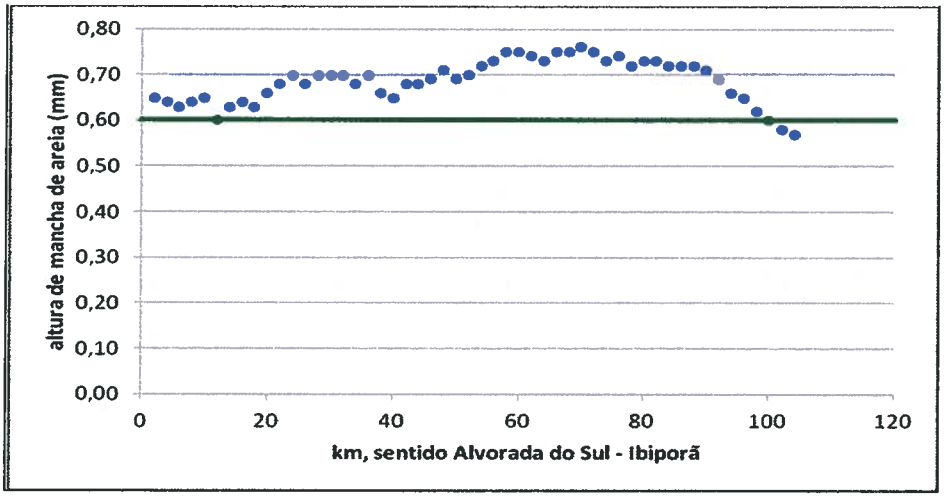


Figura 3.3 - Resultados dos ensaios de mancha de areia na faixa de sentido Alvorada do Sul/Ibiporã. Fonte: Autor.

Acidente	Altura média de mancha de areia (mm)
1	0,64
2	0,72
3	0,69
4	0,71
5	0,70
6	0,65
7	0,56
8	0,63
9	0,64
10	0,66
11	0,62

Continua...

Continuação...

12	0,57
13	0,74
14	0,75
15	0,63
16	0,68
17	0,56
18	0,69
19	0,63
20	0,58
21	0,72
22	0,75
23	0,68
24	0,66
25	0,57
26	0,64
27	0,74
28	0,75
29	0,69
30	0,70
31	0,60
32	0,65
33	0,56
34	0,68
35	0,67
36	0,72
37	0,69

Tabela 3.3 - Alturas de mancha de areia nos locais dos acidentes de trânsito (PR-090).
Fonte: Autor.

Nos locais dos 6 acidentes que apresentaram valores de altura de mancha de areia inferiores ao mínimo recomendado também foram realizados os ensaios com o pêndulo britânico, estando os resultados apresentados na Tabela 3.4, os quais serão melhor analisados no Capítulo 4.

Acidente	HS (mm)	VRD (BPN)
1	0,56	57
2	0,57	67
3	0,56	58
4	0,58	61
5	0,57	60
6	0,56	67

Tabela 3.4 - VRD nos locais de acidentes de trânsito que apresentaram HS inferior ao mínimo recomendado (PR-090).
Fonte: Autor.

3.1.2 Rodovia Estadual PR-323

A rodovia estadual PR-323 possui uma extensão de aproximadamente 361 km, iniciando-se na divisa com o Estado de São Paulo, no município de Sertaneja, terminando no município de Iporã (entroncamento com a BR-272). A pesquisa de campo nessa rodovia ocorreu ao longo de 60 km, mais precisamente no trecho compreendido entre a divisa com o Estado de São Paulo e o município de Londrina (entroncamento com a PR-445). A velocidade máxima permitida para automóveis é de 110 km/h.

No trecho pesquisado o revestimento é do tipo Concreto Asfáltico Usinado à Quente (CBUQ), sendo que a rodovia apresenta, na maioria de sua extensão, duplo sentido de tráfego, cada um com uma faixa de rolamento, com largura aproximada de 3,40 m (Figura 3.4). Em alguns trechos apresenta-se duplicada ou com terceira faixa.

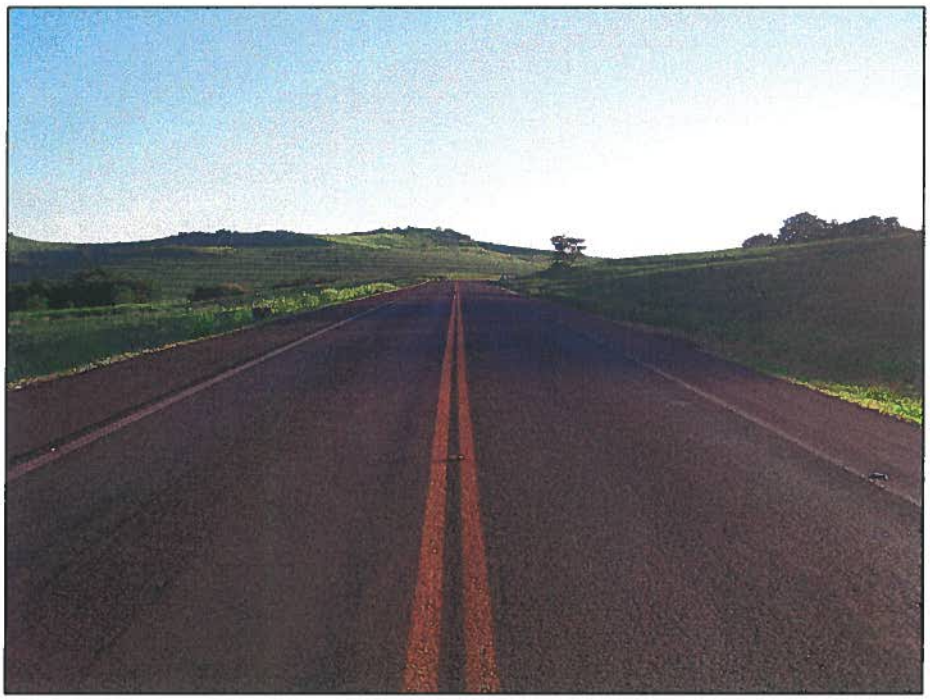


Figura 3.4 - Fotografia ilustrativa da PR-323, no trecho pesquisado.
Fonte: Autor.

Nesta rodovia foram realizados 62 ensaios de mancha de areia, sempre com a pista seca, a fim de mapear as condições atuais de macrotextura do revestimento, sendo 31 ensaios para cada sentido de tráfego. Os valores encontrados ficaram compreendidos entre 0,51 mm e 0,82 mm de altura média da mancha de areia (Figuras 3.5 e 3.6), o que compreende uma macrotextura média.

Durante o período compreendido entre 1º de outubro de 2012 e 31 de março de 2013 foram realizados, no trecho em análise, ensaios de mancha de areia em 18 locais de ocorrência de acidentes de trânsito. Os resultados dos ensaios apresentam-se na Tabela 3.5, não sendo observada relação entre a ocorrência de acidente de trânsito e os locais onde foram mensurados os menores valores de altura de mancha de areia. Todavia, 3 acidentes ocorreram em local com valor de altura de mancha de areia inferior ao mínimo recomendado pelo DNIT, pela ANTT e pela ARTESP (0,60 mm), os quais serão melhor analisados no Capítulo 4, estando tais valores destacados em vermelho na referida tabela.

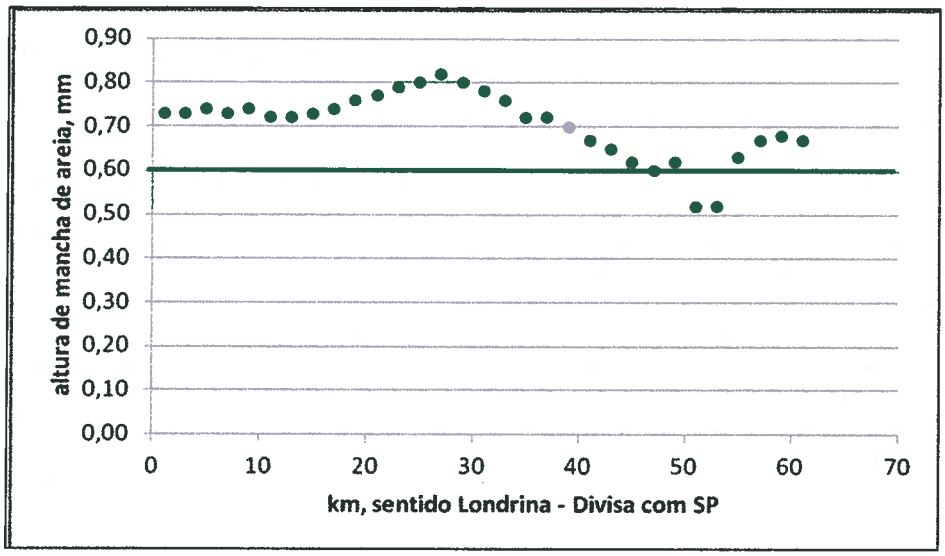


Figura 3.5 - Resultados dos ensaios de mancha de areia na faixa de sentido Londrina – Divisa com o Estado de São Paulo.
Fonte: Autor.

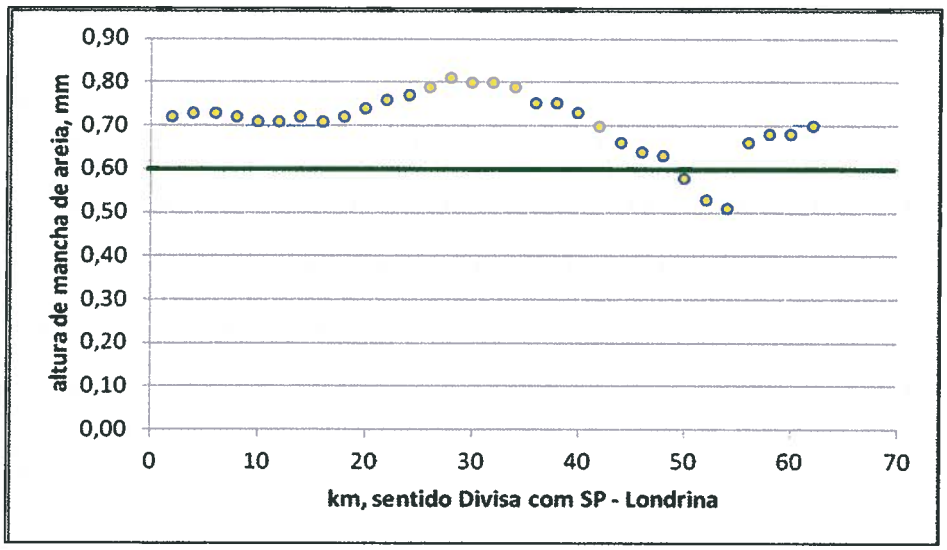


Figura 3.6 - Resultados dos ensaios de mancha de areia na faixa de sentido Divisa com o Estado de São Paulo – Londrina.
Fonte: Autor.

Acidente	Altura média de mancha de areia (mm)
1	0,80
2	0,75
3	0,64
4	0,75
5	0,68
6	**0,52**
7	0,66
8	0,77
9	0,76
10	**0,55**
11	0,69
12	0,72
13	0,73
14	0,61
15	0,68
16	0,65
17	**0,58**
18	0,73

Tabela 3.5 - Alturas de mancha de areia nos locais dos acidentes de trânsito (PR-323).
Fonte: Autor.

Nos locais dos 3 acidentes que apresentaram valores de altura de mancha de areia inferiores ao mínimo recomendado também foram realizados os ensaios com o pêndulo britânico, estando os resultados apresentados na Tabela 3.6, os quais serão melhor analisados no Capítulo 4.

Acidente	HS (mm)	VRD (BPN)
1	0,52	35
2	0,55	55
3	0,58	69

Tabela 3.6 - VRD nos locais de acidentes de trânsito que apresentaram HS inferior ao mínimo recomendado (PR-323).
Fonte: Autor.

3.1.3 Rodovia Estadual PR-445

A rodovia estadual PR-445 possui uma extensão de aproximadamente 152,8 km, iniciando-se no entroncamento com a BR-376, no município de Mauá da Serra, terminando na divisa com o Estado de São Paulo, no município de Primeiro de Maio (entroncamento com a PR-437). A pesquisa de campo nessa rodovia ocorreu ao longo de todo o trecho da via. A velocidade máxima permitida para automóveis é de 110 km/h.

No trecho pesquisado o revestimento é do tipo Concreto Asfáltico Usinado à Quente (CBUQ), sendo que a rodovia apresenta, na maioria de sua extensão, duplo sentido de tráfego, cada um com uma faixa de rolamento, com largura aproximada de 3,50 m (Figura 3.7). Em alguns trechos apresenta-se duplicada ou com terceira faixa.

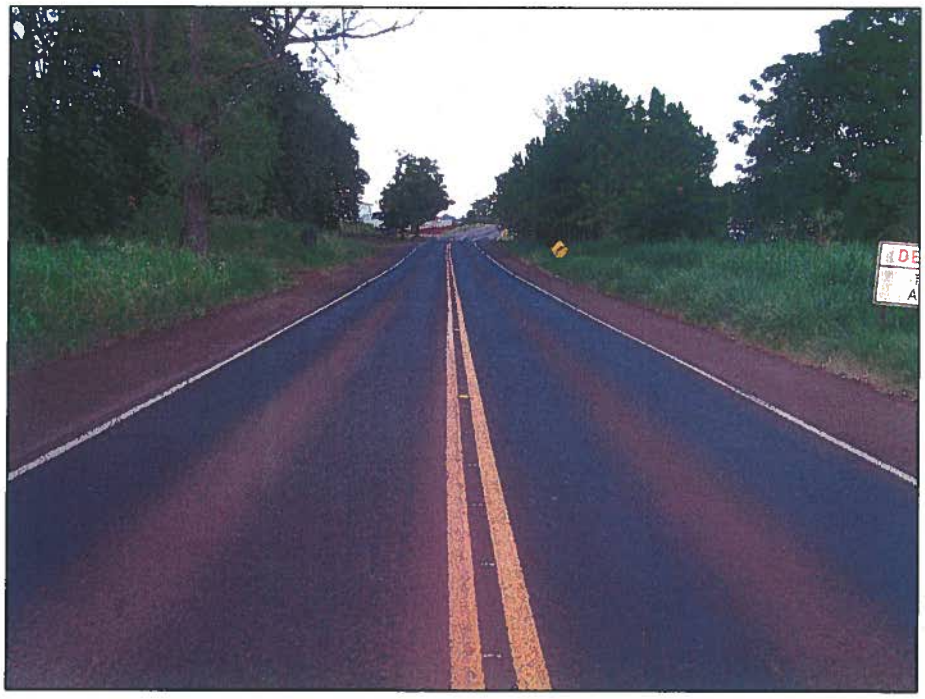


Figura 3.7 - Fotografia ilustrativa da PR-445, no trecho pesquisado.
Fonte: Autor.

Nesta rodovia foram realizados 154 ensaios de mancha de areia, sempre com a pista seca, a fim de mapear as condições atuais de macrotextura do revestimento, sendo 77 ensaios para cada sentido de tráfego. Os valores encontrados ficaram compreendidos entre 0,45 mm e 0,91 mm de altura média da mancha de areia (Figuras 3.8 e 3.9), o que compreende uma macrotextura média.

Durante o período compreendido entre 1º de outubro de 2012 e 31 de março de 2013 foram realizados, no trecho em análise, ensaios de mancha de areia em 51 locais de ocorrência de acidentes de trânsito. Os resultados dos ensaios apresentam-se na Tabela 3.7, não sendo observada relação entre a ocorrência de acidente de trânsito e os locais onde foram mensurados os menores valores de altura de mancha de areia. Todavia, 10 acidentes ocorreram em local com valor de altura de mancha de areia inferior ao mínimo recomendado pelo DNIT, pela ANTT e pela ARTESP (0,60 mm), os quais serão melhor analisados no Capítulo 4, estando tais valores destacados em vermelho na referida tabela.

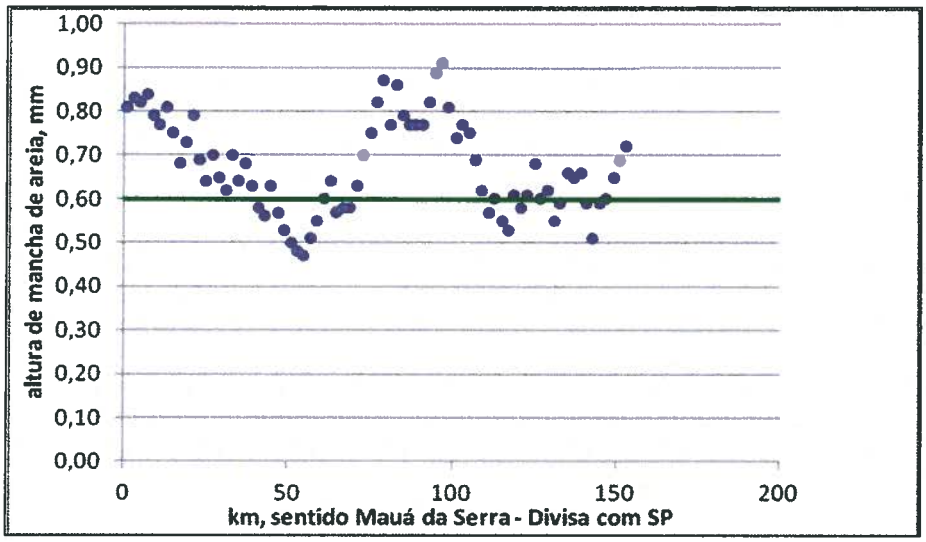


Figura 3.8 - Resultados dos ensaios de mancha de areia na faixa de sentido Mauá da Serra – Divisa com o Estado de São Paulo.
Fonte: Autor.

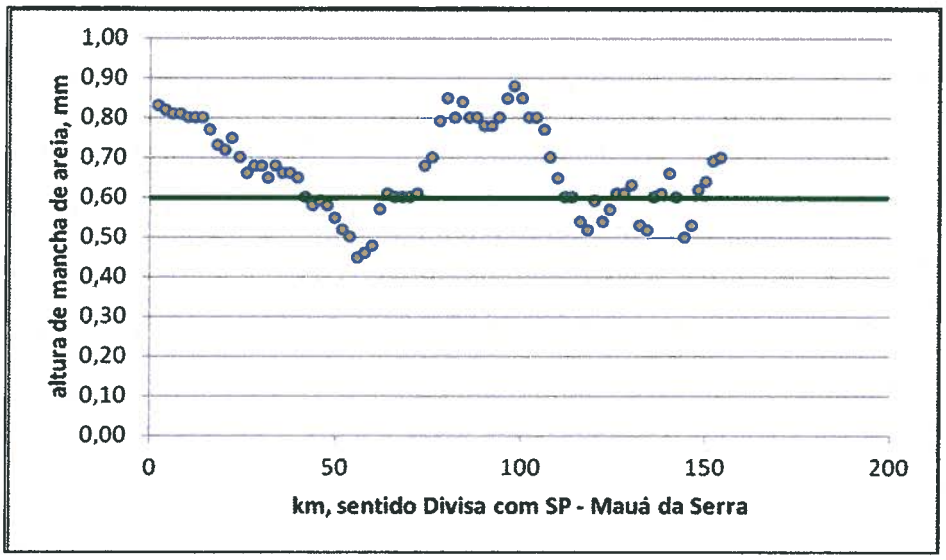


Figura 3.9 - Resultados dos ensaios de mancha de areia na faixa de sentido Divisa com o Estado de São Paulo – Mauá da Serra.
Fonte: Autor.

Acidente	Altura média de mancha de areia (mm)
1	0,71
2	**0,53**
3	0,64
4	0,77
5	0,80
6	0,62
7	0,65
8	**0,54**
9	0,81
10	0,85
11	0,71
12	0,65
13	**0,57**
14	0,84
15	0,63
16	0,60
17	0,69
18	**0,49**
19	0,71
20	0,65
21	0,81
22	0,77
23	0,75
24	0,62
25	0,69
26	**0,47**
27	0,62
28	0,75
29	0,64
30	0,80
31	0,72
32	0,70
33	0,64
34	0,81
35	0,77
36	0,78
37	**0,59**
38	0,65
39	**0,57**

Continua...

Continuação...

40	0,82
41	0,71
42	0,77
43	**0,56**
44	0,68
45	0,82
46	0,70
47	**0,55**
48	**0,50**
49	0,61
50	0,78
51	0,60

Tabela 3.7 - Alturas de mancha de areia nos locais dos acidentes de trânsito (PR-445).
Fonte: Autor.

Nos locais dos 10 acidentes que apresentaram valores de altura de mancha de areia inferiores ao mínimo recomendado também foram realizados os ensaios com o pêndulo britânico, estando os resultados apresentados na Tabela 3.8, os quais serão melhor analisados no Capítulo 4.

Acidente	HS (mm)	VRD (BPN)
1	0,53	48
2	0,54	67
3	0,57	69
4	0,49	58
5	0,47	33
6	0,59	64
7	0,57	63
8	0,56	58
9	0,55	66
10	0,50	49

Tabela 3.8 - VRD nos locais de acidentes de trânsito que apresentaram HS inferior ao mínimo recomendado (PR-445).
Fonte: Autor.

3.2 VIAS URBANAS NA CIDADE DE LONDRINA / PR

No dia 16 de janeiro de 2012, por meio de requerimento protocolizado junto à Secretaria de Obras e Pavimentação da Prefeitura Municipal de Londrina / PR, solicitaram-se informações sobre o tipo de revestimento asfáltico utilizado nas quatro avenidas pesquisadas (Apêndice C). Assim, por meio de contato telefônico, soube-se que lamentavelmente não há arquivos que apresentem as estruturas dos pavimentos destas avenidas, em especial as espessuras das camadas de subleito, sub-base, base e revestimento. Todavia, em todas as avenidas pesquisadas foi informado que o revestimento é do tipo CBUQ.

3.2.1 Avenida Dez de Dezembro

A Avenida Dez de Dezembro possui uma extensão de aproximadamente 8 km, iniciando-se no entroncamento com a Rodovia BR-369 e terminando no entroncamento com a Rodovia PR-445. A pesquisa de campo ocorreu ao longo de todo a avenida, sendo que o revestimento é do tipo Concreto Asfáltico Usinado à Quente (CBUQ).

Essa avenida apresenta, em praticamente toda a sua extensão, duplo sentido de tráfego, separados por canteiro central gramado, com três faixas de rolamento para cada sentido, com largura aproximada de 3,50 m para cada faixa (Figura 3.10). As velocidades máximas permitidas variam entre 50 e 70 km/h.

Figura 3.10 - Fotografia ilustrativa da Avenida Dez de Dezembro.
Fonte: Autor.

Nesta avenida foram realizados 34 ensaios de mancha de areia, sempre com a pista seca, a fim de mapear as condições atuais de macrotextura do revestimento, sendo 17 ensaios para cada sentido de tráfego. Os valores encontrados ficaram compreendidos entre 0,57 mm e 0,70 mm de altura média da mancha de areia (Figuras 3.11 e 3.12), o que compreende uma macrotextura média.

Durante o período compreendido entre 1º de outubro de 2012 e 31 de março de 2013 foram realizados, no trecho em análise, ensaios de mancha de areia em 33 locais de ocorrência de acidentes de trânsito. Os resultados dos ensaios apresentam-se na Tabela 3.9, não sendo observada relação entre a ocorrência de acidente de trânsito e os locais onde foram mensurados os menores valores de altura de mancha de areia. Todavia, 5 acidentes ocorreram em local com valor de altura de mancha de areia inferior ao mínimo recomendado pelo DNIT, pela ANTT e pela ARTESP (0,60 mm), os quais serão melhor analisados no Capítulo 4, estando tais valores destacados em vermelho na referida tabela.

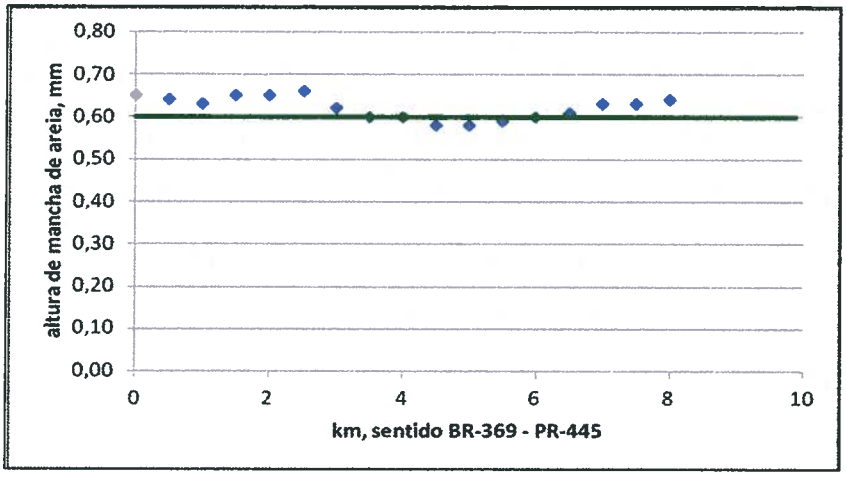


Figura 3.11 - Resultados dos ensaios de mancha de areia na faixa de sentido BR-369 – PR-445. Fonte: Autor.

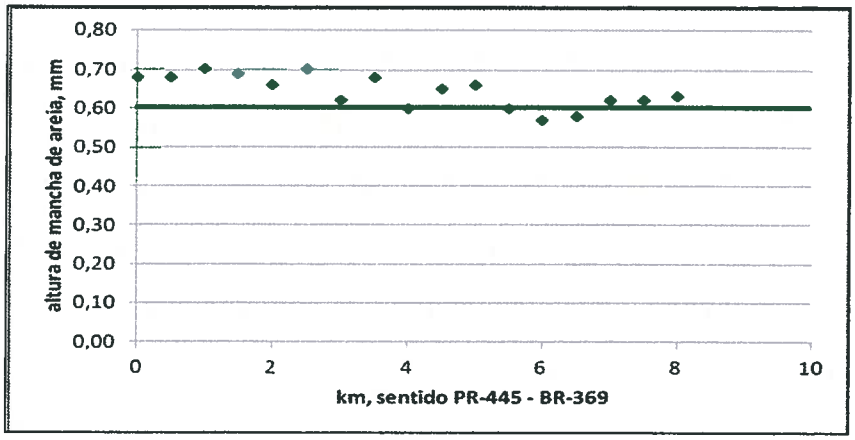


Figura 3.12 - Resultados dos ensaios de mancha de areia na faixa de sentido PR-445 – BR-369. Fonte: Autor.

Acidente	Altura média de mancha de areia (mm)
1	0,68
2	0,66
3	**0,57**
4	0,69
5	0,70
6	0,66
7	0,62
8	0,63
9	0,66
10	0,70
11	**0,58**
12	0,67
13	0,61
14	0,68
15	0,70
16	0,62
17	**0,57**
18	0,60
19	0,62
20	0,69
21	0,67
22	**0,58**
23	0,65
24	**0,59**
25	0,65
26	0,60
27	0,67
28	0,62
29	0,63
30	0,70
31	0,66
32	0,68
33	0,61

Tabela 3.9 - Alturas de mancha de areia nos locais dos acidentes de trânsito (Av. Dez de Dezembro). Fonte: Autor.

Nos locais dos 5 acidentes que apresentaram valores de altura de mancha de areia inferiores ao mínimo recomendado também foram realizados os ensaios com o pêndulo britânico, estando os resultados apresentados na Tabela 3.10, os quais serão melhor analisados no Capítulo 4.

Acidente	HS (mm)	VRD (BPN)
1	0,57	72
2	0,58	59
3	0,57	60
4	0,58	68
5	0,59	62

Tabela 3.10 - VRD nos locais de acidentes de trânsito que apresentaram HS inferior ao mínimo recomendado (Av. Dez de Dezembro).
Fonte: Autor.

3.2.2 Avenida Juscelino Kubitschek

A Avenida Juscelino Kubitschek possui uma extensão de aproximadamente 4,5 km, iniciando-se no entroncamento com a Avenida Rio Branco e terminando no entroncamento com a Avenida Santos Dumont. A pesquisa de campo ocorreu ao longo de todo a avenida, sendo que o revestimento é do tipo Concreto Asfáltico Usinado à Quente (CBUQ).

Essa avenida apresenta, em praticamente toda a sua extensão, duplo sentido de tráfego, separados por canteiro central gramado, com duas faixas de rolamento e uma de estacionamento para cada sentido, com largura aproximada de 3,40 m para cada faixa (Figura 3.13). A velocidade máxima permitida é de 50 km/h.

Figura 3.13 - Fotografia ilustrativa da Avenida Juscelino Kubitschek.
Fonte: Autor.

Nesta avenida foram realizados 20 ensaios de mancha de areia, sempre com a pista seca, a fim de mapear as condições atuais de macrotextura do revestimento, sendo 10 ensaios para cada sentido de tráfego. Os valores encontrados ficaram compreendidos entre 0,56 mm e 0,81 mm de altura média da mancha de areia (Figuras 3.14 e 3.15), o que compreende uma macrotextura média.

Durante o período compreendido entre 1º de outubro de 2012 e 31 de março de 2013 foram realizados, no trecho em análise, ensaios de mancha de areia em 34 locais de ocorrência de acidentes de trânsito. Os resultados dos ensaios apresentam-se na Tabela 3.11, não sendo observada relação entre a ocorrência de acidente de trânsito e os locais onde foram mensurados os menores valores de altura de mancha de areia. Todavia, 2 acidentes ocorreram em local com valor de altura de mancha de areia inferior ao mínimo recomendado pelo DNIT, pela ANTT e pela ARTESP (0,60 mm), os quais serão melhor analisados no Capítulo 4, estando tais valores destacados em vermelho na referida tabela.

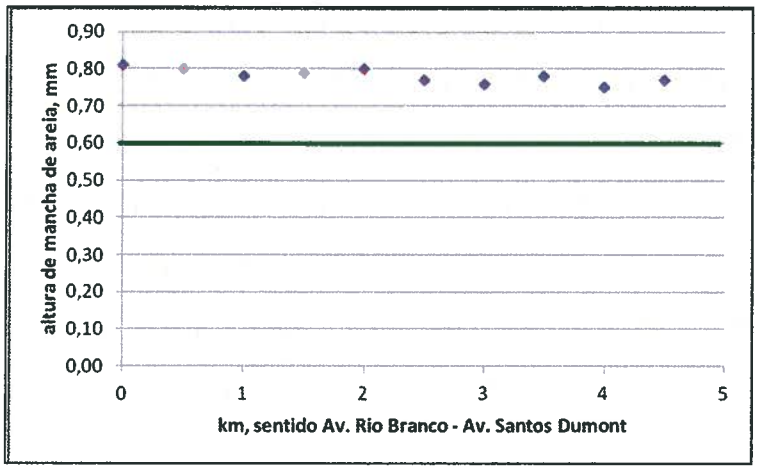


Figura 3.14 - Resultados dos ensaios de mancha de areia na faixa de sentido Av. Rio Branco – Av. Santos Dumont. Fonte: Autor.

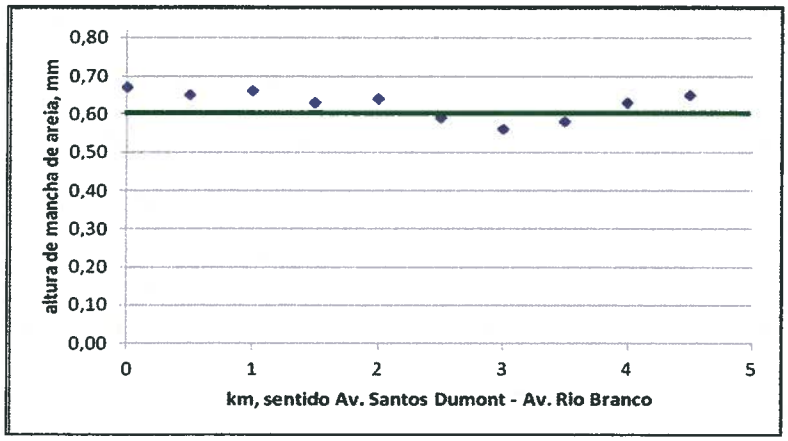


Figura 3.15 - Resultados dos ensaios de mancha de areia na faixa de sentido Av. Santos Dumont – Av. Rio Branco. Fonte: Autor.

Acidente	Altura média de mancha de areia (mm)
1	0,78
2	0,71
3	0,77
4	0,80
5	0,68
6	**0,58**
7	0,80
8	0,78
9	0,69
10	0,65
11	0,74
12	0,71
13	**0,57**
14	0,73
15	0,69
16	0,66
17	0,68
18	0,62
19	0,74
20	0,76
21	0,69
22	0,80
23	0,77
24	0,71
25	0,65
26	0,79
27	0,63
28	0,68
29	0,65
30	0,80
31	0,79
32	0,64
33	0,80
34	0,63

Tabela 3.11 - Alturas de mancha de areia nos locais dos acidentes de trânsito (Av. Juscelino Kubitschek).
Fonte: Autor.

Nos locais dos 2 acidentes que apresentaram valores de altura de mancha de areia inferiores ao mínimo recomendado também foram realizados os ensaios com o pêndulo britânico, estando os resultados apresentados na Tabela 3.12, os quais serão melhor analisados no Capítulo 4.

Acidente	HS (mm)	VRD (BPN)
1	0,58	70
2	0,57	59

Tabela 3.12 – VRD nos locais de acidentes de trânsito que apresentaram HS inferior ao mínimo recomendado (Av. Juscelino Kubitschek).
Fonte: Autor.

3.2.3 Avenida Leste-Oeste

A Avenida Leste-Oeste (Avenida Arcebispo Dom Geraldo Fernandes) possui uma extensão de aproximadamente 7,2 km, iniciando-se no entroncamento com a Avenida Dez de Dezembro e terminando no entroncamento com a Avenida Brasília (trecho urbano da BR-369). A pesquisa de campo ocorreu ao longo de todo a avenida, sendo que o revestimento é do tipo Concreto Asfáltico Usinado à Quente (CBUQ).

Essa avenida apresenta, em praticamente toda a sua extensão, duplo sentido de tráfego, separados por canteiro central gramado, com duas faixas de rolamento e uma de estacionamento para cada sentido, com largura aproximada de 3,40 m para cada faixa (Figura 3.16). As velocidades máximas permitidas variam entre 50 e 60 km/h.

Figura 3.16 - Fotografia ilustrativa da Avenida Leste-Oeste.
Fonte: Autor.

Nesta avenida foram realizados 30 ensaios de mancha de areia, sempre com a pista seca, a fim de mapear as condições atuais de macrotextura do revestimento, sendo 15 ensaios para cada sentido de tráfego. Os valores encontrados ficaram compreendidos entre 0,53 mm e 0,83 mm de altura média da mancha de areia (Figuras 3.17 e 3.18), o que compreende uma macrotextura média. A diferença observada entre os valores dos dois sentidos justifica-se pela recuperação recente da camada de rolamento nas faixas de sentido Av. Brasília – Av. Dez de Dezembro.

Durante o período compreendido entre 1º de outubro de 2012 e 31 de março de 2013 foram realizados, no trecho em análise, ensaios de mancha de areia em 46 locais de ocorrência de acidentes de trânsito. Os resultados dos ensaios apresentam-se na Tabela 3.13, não sendo observada relação entre a ocorrência de acidente de trânsito e os locais onde foram mensurados os menores valores de altura de mancha de areia. Todavia, 7 acidentes ocorreram em local com valor de altura de mancha de areia inferior ao mínimo recomendado pelo DNIT, pela ANTT e pela ARTESP (0,60 mm), os quais serão melhor analisados no Capítulo 4, estando tais valores destacados em vermelho na referida tabela.

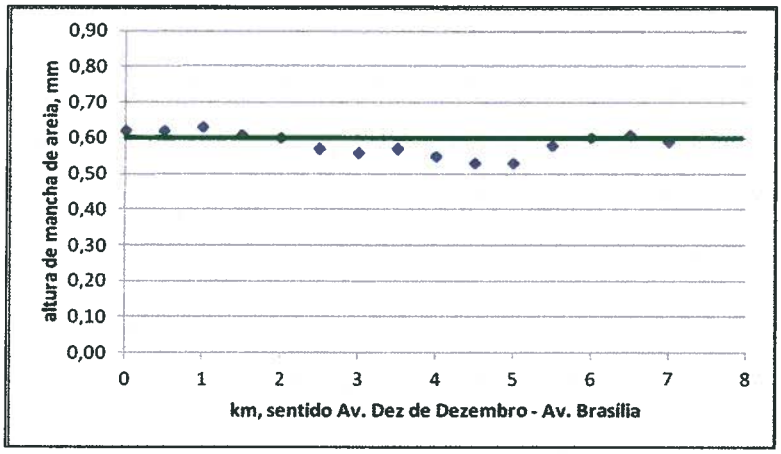


Figura 3.17 - Resultados dos ensaios de mancha de areia na faixa de sentido Av. Dez de Dezembro – Av. Brasília. Fonte: Autor.

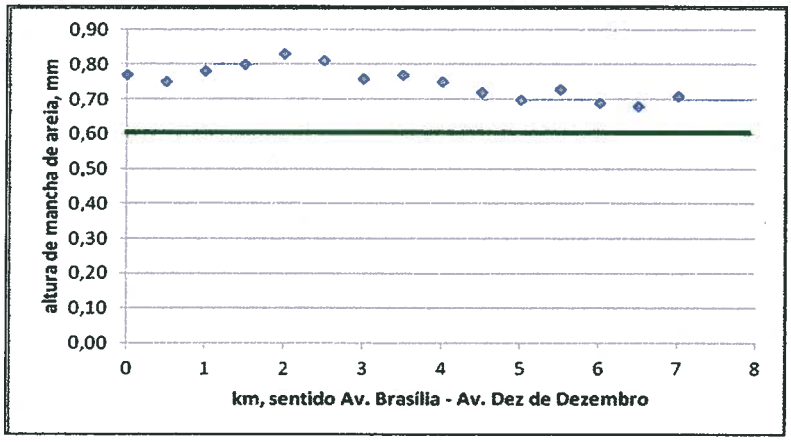


Figura 3.18 - Resultados dos ensaios de mancha de areia na faixa de sentido Av. Brasília – Av. Dez de Dezembro. Fonte: Autor.

Acidente	Altura média de mancha de areia (mm)
1	0,61
2	0,73
3	0,69
4	0,79
5	**0,54**
6	0,75
7	0,81
8	0,62
9	0,80
10	0,74
11	0,77
12	0,63
13	**0,55**
14	**0,58**
15	0,80
16	0,81
17	0,74
18	0,70
19	0,60
20	**0,59**
21	0,73
22	0,77
23	0,79
24	0,64
25	0,66
26	0,79
27	0,63
28	**0,56**
29	0,60
30	0,71
31	0,65
32	0,68
33	0,74
34	0,80
35	**0,56**
36	0,66
37	0,72
38	0,68
39	0,74
40	0,79
41	0,77
42	**0,55**
43	0,61
44	0,68
45	0,74
46	0,70

Tabela 3.13 - Alturas de mancha de areia nos locais dos acidentes de trânsito (Av. Leste-Oeste).
Fonte: Autor.

Nos locais dos 7 acidentes que apresentaram valores de altura de mancha de areia inferiores ao mínimo recomendado também foram realizados os ensaios com o pêndulo britânico, estando os resultados apresentados na Tabela 3.14, os quais serão melhor analisados no Capítulo 4.

Acidente	HS (mm)	VRD (BPN)
1	0,54	52
2	0,55	52
3	0,58	68
4	0,59	65
5	0,56	50
6	0,56	70
7	0,55	58

Tabela 3.14 - VRD nos locais de acidentes de trânsito que apresentaram HS inferior ao mínimo recomendado (Av. Leste-Oeste).
Fonte: Autor.

3.2.4 Avenida Tiradentes

A Avenida Tiradentes possui uma extensão de aproximadamente 2,5 km, iniciando-se no entroncamento com a Avenida Rio Branco e terminando no entroncamento com a Rodovia BR-369. A pesquisa de campo ocorreu ao longo de todo a avenida, sendo que o revestimento é do tipo Concreto Asfáltico Usinado à Quente (CBUQ).

Essa avenida apresenta, em praticamente toda a sua extensão, duplo sentido de tráfego, separados por canteiro central gramado, com duas faixas de rolamento e uma de estacionamento para cada sentido, com largura aproximada de 3,50 m para cada faixa (Figura 3.19). As velocidades máximas permitidas variam entre 50 e 60 km/h.

Nesta avenida foram realizados 12 ensaios de mancha de areia, sempre com a pista seca, a fim de mapear as condições atuais de macrotextura do revestimento, sendo 6 ensaios para cada sentido de tráfego. Os valores encontrados ficaram compreendidos entre 0,50 mm e 0,71 mm de altura média da mancha de areia (Figuras 3.20 e 3.21), o que compreende uma macrotextura média.

Durante o período compreendido entre 1° de outubro de 2012 e 31 de março de 2013 foram realizados, no trecho em análise, ensaios de mancha de areia em 35 locais de ocorrência de acidentes de trânsito. Os resultados dos ensaios

apresentam-se na Tabela 3.15, não sendo observada relação entre a ocorrência de acidente de trânsito e os locais onde foram mensurados os menores valores de altura de mancha de areia. Todavia, 8 acidentes ocorreram em local com valor de altura de mancha de areia inferior ao mínimo recomendado pelo DNIT, pela ANTT e pela ARTESP (0,60 mm), os quais serão melhor analisados no Capítulo 4, estando tais valores destacados em vermelho na referida tabela.

Figura 3.19 - Fotografia ilustrativa da Avenida Tiradentes.
Fonte: Autor.

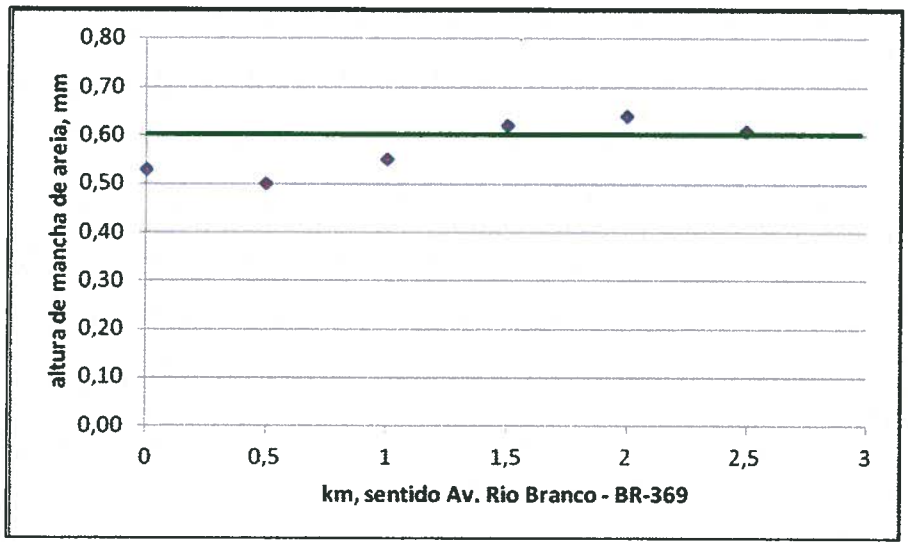


Figura 3.20 - Resultados dos ensaios de mancha de areia na faixa de sentido Av. Rio Branco/BR-369.
Fonte: Autor.

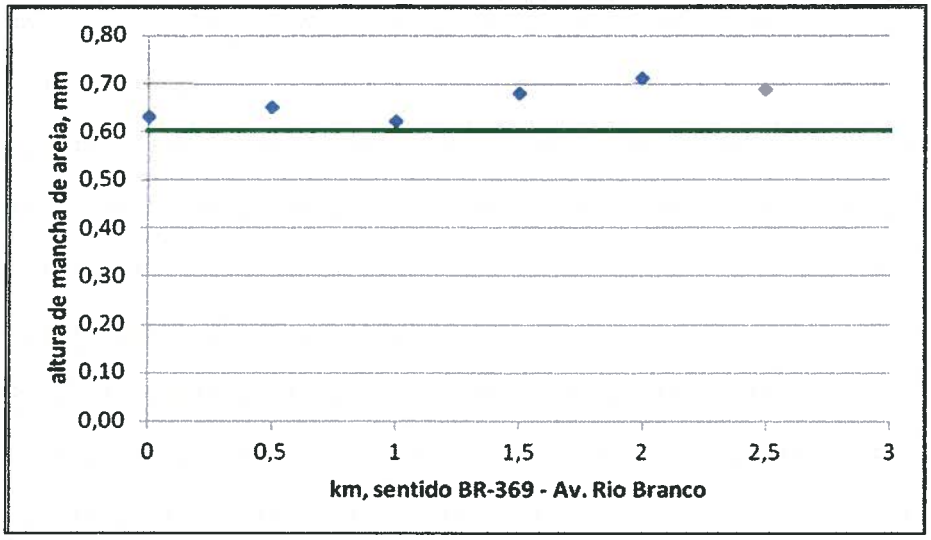


Figura 3.21 - Resultados dos ensaios de mancha de areia na faixa de sentido BR-369/Av. Rio Branco. Fonte: Autor.

Acidente	Altura média de mancha de areia (mm)
1	0,66
2	**0,52**
3	0,64
4	0,70
5	0,61
6	**0,57**
7	0,60
8	0,68
9	0,68
10	0,60
11	**0,58**
12	0,70
13	**0,56**
14	0,67
15	0,66
16	0,71
17	0,61
18	**0,55**
19	0,60
20	0,64
21	0,70
22	0,68
23	**0,56**
24	0,68

Continua...

Continuação...

25	0,71
26	0,64
27	**0,57**
28	0,63
29	0,65
30	0,69
31	0,60
32	0,61
33	0,60
34	**0,53**
35	0,68

Tabela 3.15 - Alturas de mancha de areia nos locais dos acidentes de trânsito (Av. Tiradentes).
Fonte: Autor.

Nos locais dos 8 acidentes que apresentaram valores de altura de mancha de areia inferiores ao mínimo recomendado também foram realizados os ensaios com o pêndulo britânico, estando os resultados apresentados na Tabela 3.16, os quais serão melhor analisados no Capítulo 4.

Acidente	HS (mm)	VRD (BPN)
1	0,52	48
2	0,57	52
3	0,58	72
4	0,56	55
5	0,55	68
6	0,56	60
7	0,57	50
8	0,53	47

Tabela 3.16 - VRD nos locais de acidentes de trânsito que apresentaram HS inferior ao mínimo recomendado (Av. Tiradentes).
Fonte: Autor.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 ANÁLISE DOS PAVIMENTOS EM LOCAIS DE ACIDENTES RODOVIÁRIOS COM VALORES DE ALTURA DE MANCHA DE AREIA INFERIORES AO RECOMENDADO PELO DNIT, ANTT E ARTESP

Conforme observado no subitem 3.1, 19 acidentes ocorreram em trechos das rodovias pesquisadas com valores de altura de mancha de areia inferiores ao mínimo recomendado pelo DNIT, pela ANTT e pela ARTESP (0,60 mm). Por meio das Equações 2.4, 2.5 e 2.6, bem como pelas Tabelas 2.3 e 2.4, estimaram-se as velocidades dos veículos envolvidos nos acidentes nas situações reais de cada uma das vias, ou seja, com os coeficientes de atrito dinâmico resultantes do estado atual da macrotextura em cada local.

Na sequência foram recalculadas estas velocidades, levando-se em consideração coeficientes de atrito dinâmico obtidos em condições ideais, ou seja, em trechos de cada uma das vias que apresentam valores de altura de mancha de areia superiores ao mínimo recomendado (0,60 mm).

Posteriormente, por meio da Equação 2.7, foram calculadas as energias cinéticas envolvidas em cada um dos acidentes, nas condições reais e ideais anteriormente descritas, sendo avaliada a variação da energia cinética em cada um dos 19 acidentes (Tabela 4.1).

Acidente	Veículo	Vel. Ideal (km/h)	Vel. Real (km/h)	Ec Ideal (J)	Ec Real (J)	ΔEc (%)
1	V1	75,6	78,1	207482	221314	6,67
	V2	82,6	85,3	263399	280958	6,67
2	V1	91,7	96,0	418485	458614	9,59
	V2	60,6	63,5	143212	156944	9,59
3	V1	47,0	50,2	83448	95369	14,29
	V2	80,9	86,5	338626	387001	14,29
4	V	92,0	95,7	336473	363755	8,11
5	V	100,1	105,4	382843	424799	10,96
6	V1	112,4	120,1	565566	645223	14,08
	V2	95,0	101,5	337807	385386	14,08
7	V	80,7	86,1	311798	355103	13,89
8	V1	117,7	127,5	636414	746079	17,23
	V2	119,3	129,1	641971	752593	17,23

Continua...

Continuação...

9	V	71,5	74,8	228628	250254	9,46
10	V1	103,4	111,9	449743	526091	16,98
	V2	125,2	135,5	623314	729126	16,98
11	V	80,4	85,2	351896	395280	12,33
12	V	93,7	100,3	413621	473941	14,58
13	V1	103,8	112,8	455405	537312	17,99
	V2	109,6	119,1	458984	541536	17,99
14	V	100,4	106,7	412159	466065	13,08
15	V1	98,7	106,1	417488	482169	15,49
	V2	106,6	114,6	465129	537192	15,49
16	V	87,1	94,1	286684	335137	16,90
17	V1	66,0	71,9	171606	203476	18,57
	V2	88,0	95,8	295727	350648	18,57
18	V	80,5	86,6	267456	309485	15,71
19	V	95,9	103,3	395305	459009	16,12

Tabela 4.1 - Velocidades e energias cinéticas envolvidas nos acidentes rodoviários nos trechos com altura de mancha de areia inferior a 0,60 mm.
Fonte: Autor.

Os resultados apresentados na Tabela 4.1 indicam que uma melhor condição de macrotextura dos pavimentos rodoviários reduziria entre aproximadamente 7% e 19% as energias cinéticas envolvidas nos acidentes.

Para efeito de comparação, os demais 87 acidentes rodoviários levantados também tiveram calculadas as velocidades e as energias cinéticas envolvidas. Para tanto, foi considerada a mesma situação ideal da Tabela 4.1, ou seja, com valor mínimo recomendável de altura de mancha de areia (0,60 mm). Na situação real foi considerada a situação efetivamente mensurada em cada um dos locais, todos com valor de macrotextura superior ao mínimo recomendado (Tabela 4.2).

Acidente	Veículo	Vel. Ideal (km/h)	Vel. Real (km/h)	Ec Ideal (J)	Ec Real (J)	ΔEc (%)
1	V	64,2	63,8	157332	155390	- 1,23
2	V	60,9	60,5	150181	148327	- 1,23
3	V	69,2	68,4	219633	214800	- 2,20
4	V	55,5	55,2	167438	165985	- 0,87
5	V1	74,6	74,1	262068	258513	- 1,36
	V2	68,9	68,4	206774	203970	- 1,36
6	V	79,1	78,1	274776	268402	- 2,32

Continua...

Continuação...

7	V1	59,1	58,8	171133	169438	- 0,99
	V2	65,7	65,4	203076	201066	- 0,99
8	V	76,2	75,5	255205	250508	- 1,84
9	V	77,4	76,8	274897	270834	- 1,48
10	V	82,4	81,9	259279	256394	- 1,11
11	V1	76,3	75,5	215437	210954	- 2,08
	V2	85,3	84,4	286127	280174	- 2,08
12	V	63,9	63,8	174879	174226	- 0,37
13	V	88,7	87,9	342890	336993	- 1,72
14	V1	91,1	90,2	461086	452045	- 1,96
	V2	78,9	78,1	308591	302540	- 1,96
15	V	96,9	95,7	449414	437918	- 2,56
16	V	100,0	98,8	490374	478414	- 2,44
17	V	88,9	87,9	399708	390673	- 2,26
18	V	78,1	78,1	268402	268402	0,00
19	V1	102,7	100,8	476325	459108	- 3,61
	V2	100,7	98,8	472905	455812	- 3,61
20	V	71,4	71,3	263565	262908	- 0,25
21	V1	77,1	76,8	319121	316353	- 0,87
	V2	79,7	79,4	304317	301677	- 0,87
22	V	100,5	98,8	456170	440744	- 3,38
23	V1	78,3	78,1	269744	268402	- 0,50
	V2	62,3	62,2	151356	150603	- 0,50
24	V	78,0	77,5	282848	278977	- 1,37
25	V	82,8	82,2	314368	310526	- 1,22
26	V	89,6	88,6	379084	370516	- 2,26
27	V	84,4	84,4	336483	336483	0,00
28	V1	83,1	82,6	370444	366097	- 1,17
	V2	76,6	76,2	242507	239661	- 1,17
29	V	64,0	63,6	184325	181578	- 1,49
30	V1	83,4	82,3	313685	306041	- 2,44
	V2	77,2	76,2	245990	239997	- 2,44
31	V	99,5	98,8	408666	403073	- 1,37
32	V	82,5	80,7	325305	311409	- 4,27
33	V1	85,5	84,4	333959	325496	- 2,53
	V2	90,2	89,1	376208	366674	- 2,53
34	V	78,6	77,9	383905	377163	- 1,76
35	V1	93,5	93,5	384709	384709	0,00
	V2	85,6	85,6	354290	354290	0,00
36	V	77,3	76,8	321427	317263	- 1,30
37	V	90,4	90,0	368252	365284	- 0,81

Continua...

Continuação...

38	V	77,0	76,4	249248	245081	- 1,67
39	V	71,6	70,7	209513	204474	- 2,40
40	V1	85,1	84,0	271066	264004	- 2,61
	V2	98,6	97,3	475964	463563	- 2,61
41	V	82,7	82,2	338709	334610	- 1,21
42	V	93,5	92,8	449459	443144	- 1,40
43	V1	87,2	85,3	404685	387723	- 4,19
	V2	80,9	79,2	290138	277976	- 4,19
44	V	102,5	100,8	433199	419868	- 3,08
45	V	98,2	97,0	461079	449888	- 2,43
46	V	82,2	82,2	279212	279212	0,00
47	V	62,0	61,6	181030	178853	- 1,20
48	V1	80,6	80,1	288400	285016	- 1,17
	V2	86,8	86,3	389255	384687	- 1,17
49	V	94,2	93,3	499724	490406	- 1,86
50	V	78,9	78,0	322338	314438	- 2,45
51	V1	85,0	84,0	349723	341276	- 2,42
	V2	97,1	95,9	465806	454556	- 2,42
52	V	104,6	102,9	494064	477472	- 3,36
53	V1	98,3	97,8	424964	420496	- 1,05
	V2	71,7	71,3	212165	209934	- 1,05
54	V	81,4	80,7	291556	286295	- 1,80
55	V	83,3	81,9	280873	271933	- 3,18
56	V	95,0	94,7	393729	391089	- 0,67
57	V1	91,3	91,3	344292	344292	0,00
	V2	88,9	88,9	402461	402461	0,00
58	V	88,0	86,3	379398	365289	- 3,72
59	V1	89,5	88,9	383457	378070	- 1,40
	V2	80,3	79,7	315906	311468	- 1,40
60	V	101,3	99,7	478695	464358	- 3,00
61	V	82,5	81,5	320602	312897	- 2,40
62	V	108,4	106,7	530463	514201	- 3,07
63	V1	89,5	87,4	399007	380052	- 4,75
	V2	92,3	90,0	416993	397183	- 4,75
64	V	80,3	79,2	283447	276096	- 2,59
65	V1	113,6	110,5	632179	598018	- 5,40
	V2	90,4	87,9	337328	319100	- 5,40
66	V	80,3	79,7	308231	304013	- 1,37
67	V	88,8	87,4	362221	350777	- 3,16
68	V	114,7	112,3	680293	652012	- 4,16

Continua...

Continuação...

69	V1	74,2	73,5	333260	326886	- 1,91
	V2	77,5	76,8	271382	266191	- 1,91
70	V	96,7	96,3	411057	408149	- 0,71
71	V	73,2	72,6	229275	225971	- 1,44
72	V	69,3	68,4	202209	196749	- 2,70
73	V1	110,7	108,6	533775	514358	- 3,64
	V2	78,9	77,5	291911	281292	- 3,64
74	V	88,8	87,7	407645	398043	- 2,36
75	V1	91,2	88,5	455919	429050	- 5,89
	V2	103,9	100,8	579362	545218	- 5,89
76	V	83,8	82,3	330489	319120	- 3,44
77	V	111,4	111,4	641496	641496	0,00
78	V	88,9	87,9	368925	360851	- 2,19
79	V	95,2	94,0	468757	456934	- 2,52
80	V1	88,8	86,4	380220	359929	- 5,34
	V2	99,4	96,7	510578	483330	- 5,34
81	V	113,3	111,6	529400	513918	- 2,92
82	V1	80,6	79,7	316161	309015	- 2,26
	V2	77,1	76,2	302811	295967	- 2,26
83	V	100,3	98,6	482991	467335	- 3,24
84	V	114,9	112,8	683202	658111	- 3,67
85	V1	82,9	82,6	325815	323429	- 0,73
	V2	96,3	95,9	454432	451105	- 0,73
86	V1	80,2	80,2	319815	319815	0,00
	V2	108,3	108,3	573997	573997	0,00
87	V1	116,4	114,1	658652	632863	- 3,92
	V2	121,3	118,9	720931	692704	- 3,92

Tabela 4.2 - Velocidades e energias cinéticas envolvidas nos acidentes rodoviários nos trechos com altura de mancha de areia superior a 0,60 mm.
Fonte: Autor.

Os resultados apresentados na Tabela 4.2 indicam que quanto melhor a condição de macrotextura dos pavimentos rodoviários, melhor a eficiência do sistema de frenagens dos veículos e, consequentemente, menores as energias cinéticas envolvidas no momento da colisão. Nos 87 casos analisados observou-se que a variação da energia cinética foi de até 5,40% em pavimentos asfálticos que apresentaram valores de altura de mancha de areia superiores ao mínimo recomendado pelo DNIT, pela ANTT e pela ARTESP (0,60 mm).

Há que se ressaltar, também, que mais rugoso for o revestimento asfáltico, maior será a altura de mancha de areia, aumentando o desgaste das bandas de

rodagens de todos os veículos que por ali trafegarem, bem como o consumo de combustível.

Além dessa análise da macrotextura do pavimento, nos 19 acidentes referenciados na Tabela 4.1 também foram realizados os ensaios de microtextura, por meio do ensaio do pêndulo britânico, tudo com a finalidade de possibilitar a comparação com os valores mínimos recomendados pelo DNIT, pela ANTT e pela ARTESP (47 BPN), bem como o cálculo e a análise do IFI.

A Tabela 4.3 apresenta, para os 19 acidentes descritos na Tabela 4.1, tanto os valores de altura de mancha de areia (HS) e de resistência à derrapagem (VRD), quanto o valor do IFI em cada um dos locais dos 19 acidentes, obtido por meio das Equações 2.10, 2.11 e 2.12.

Acidente	HS (mm)	VRD (BPN)	IFI	
			Sp	F_{60}
1	0,56	57	52,02	0,23
2	0,57	67	53,15	0,27
3	0,56	58	52,02	0,23
4	0,58	61	54,29	0,25
5	0,57	60	53,15	0,24
6	0,56	67	52,02	0,26
7	0,52	35	47,47	0,15
8	0,55	55	50,88	0,22
9	0,58	69	54,29	0,28
10	0,53	48	48,61	0,19
11	0,54	67	49,74	0,25
12	0,57	69	53,15	0,28
13	0,49	58	44,06	0,21
14	0,47	33	41,79	0,14
15	0,59	64	55,42	0,26
16	0,57	63	53,15	0,25
17	0,56	58	52,02	0,23
18	0,55	66	50,88	0,25
19	0,50	49	45,20	0,19

Tabela 4.3 – Valores de HS, VRD e IFI nos locais dos acidentes com valores de altura de mancha de areia inferiores ao mínimo recomendado (rodovias).
Fonte: Autor.

Observa-se, pela leitura da Tabela 4.3, que dos 19 locais analisados, dois apresentaram valores de microtextura dos pavimentos inferiores ao recomendado (47 BPN), com 33 e 35 BPN.

Com relação aos valores mínimos do IFI, e considerando o recomendado por McDaniel *et al.* (2004) (Tabela 2.20), em especial para concreto asfáltico convencional (0,19), estes mesmos dois locais de acidentes de trânsito apresentavam o leito asfáltico, no que se refere à textura e ao atrito, em condições inadequadas (respectivamente, 0,14 e 0,15).

Pela tabela proposta nesse estudo para as agências reguladoras, o menor valor calculado (0,14) teve a sua condição de textura e atrito considerada como regular, enquanto os demais locais foram classificados como condições boas ou muito boas (Tabela 2.11).

Já pela tabela proposta para perícias, os dois menores valores calculados (0,14 e 0,15) tiveram as suas condições de textura e atrito consideradas como regulares, enquanto os demais locais foram classificados como condições boas (Tabela 2.12).

4.2 Análise dos Pavimentos em Locais de Acidentes Urbanos com Valores de Altura de Mancha de Areia Inferiores ao Recomendado Pelo DNIT, ANTT e ARTESP

Conforme observado no subitem 3.2, 22 acidentes ocorreram em trechos das avenidas pesquisadas com valores de altura de mancha de areia inferiores ao mínimo recomendado pelo DNIT (0,60 mm).

Por meio das Equações 2.4, 2.5 e 2.6, bem como pelas Tabelas 2.3 e 2.4, estimaram-se as velocidades dos veículos envolvidos nos acidentes nas <u>situações reais</u> de cada uma das vias, ou seja, com os coeficientes de atrito dinâmico resultantes do estado atual da macrotextura em cada local.

Na sequência foram recalculadas estas velocidades, levando-se em consideração coeficientes de atrito dinâmico obtidos em <u>condições ideais</u>, ou seja, em trechos de cada uma das vias que apresentam valores de altura de mancha de areia superiores ao mínimo recomendado pelo DNIT, pela ANTT e pela ARTESP.

Posteriormente, por meio da Equação 2.7, foram calculadas as energias cinéticas envolvidas em cada um dos acidentes, nas condições reais e ideais

anteriormente descritas, sendo avaliada a variação da energia cinética em cada um dos 22 acidentes (Tabela 4.4).

Acidente	Veículo	Vel. Ideal (km/h)	Vel. Real (km/h)	Ec Ideal (J)	Ec Real (J)	ΔEc (%)
1	V	80,1	83,4	255083	276757	8,50
2	V	87,6	91,6	276413	302040	9,27
3	V1	63,1	64,7	147032	154524	5,10
	V2	73,0	74,8	203404	213769	5,10
4	V	58,3	59,7	129814	136158	4,89
5	V	60,6	62,9	137227	147824	7,72
6	V1	75,6	79,3	215881	238108	10,30
	V2	63,6	66,9	162509	179241	10,30
7	V1	57,1	58,8	137061	145449	6,12
	V2	61,9	63,8	143384	152159	6,12
8	V	73,3	76,0	203044	218113	7,42
9	V	71,9	74,7	195299	210758	7,92
10	V	85,6	88,5	291044	311010	6,86
11	V1	69,9	71,7	164080	172828	5,33
	V2	93,8	96,3	344567	362938	5,33
12	V	58,5	61,3	128291	140452	9,48
13	V	55,4	57,7	113969	123945	8,75
14	V1	75,4	76,9	232330	241646	4,01
	V2	79,6	81,2	247147	257057	4,01
15	V1	70,1	71,4	203032	210323	3,59
	V2	67,5	68,7	186146	192831	3,59
16	V	81,6	85,9	267359	295824	10,65
17	V	97,3	101,1	372711	402009	7,86
18	V1	61,5	63,6	141565	151328	6,90
	V2	92,5	95,7	293961	314234	6,90
19	V1	63,1	64,3	136726	142139	3,96
	V2	70,6	71,9	172828	179670	3,96
20	V1	77,4	80,9	207844	226925	9,18
	V2	73,2	76,5	264484	288766	9,18
21	V1	77,2	79,5	257239	272292	5,85
	V2	95,9	87,5	314014	332390	5,85
22	V	87,6	90,6	322359	345295	7,12

Tabela 4.4 - Velocidades e energias cinéticas envolvidas nos acidentes urbanos nos trechos com altura de mancha de areia inferior a 0,60 mm.
Fonte: Autor.

Os resultados apresentados na Tabela 4.4 indicam que uma melhor condição de macrotextura dos pavimentos das vias urbanas reduziria entre aproximadamente 4% e 11% as energias cinéticas envolvidas nos acidentes.

Para efeito de comparação, os demais 126 acidentes urbanos levantados também tiveram calculadas as velocidades e as energias cinéticas envolvidas. Para tanto, foi considerada a mesma situação ideal da Tabela 4.4, ou seja, com valor mínimo recomendável de altura de mancha de areia (0,60 mm). Na situação real foi considerada a situação efetivamente mensurada em cada um dos locais, todos com valor de macrotextura superior ao mínimo recomendado (Tabela 4.5).

Acidente	Veículo	Vel. Ideal (km/h)	Vel. Real (km/h)	Ec Ideal (J)	Ec Real (J)	ΔEc (%)
1	V	76,9	76,1	282791	277348	- 1,92
2	V	63,6	63,2	166782	165008	- 1,06
3	V	60,7	59,9	168854	164555	- 2,55
4	V1	81,4	80,5	294310	287272	- 2,39
	V2	64,0	63,2	200547	195751	- 2,39
5	V1	75,6	75,2	291777	289497	- 0,78
	V2	80,4	80,1	261949	259902	- 0,78
6	V	62,0	61,5	177989	174885	- 1,74
7	V	66,3	65,9	222158	219497	- 1,20
8	V	53,5	53,1	147727	145651	- 1,40
9	V1	57,3	56,8	155441	152599	- 1,83
	V2	62,7	62,1	195276	191705	- 1,83
10	V	66,9	66,5	225809	223712	- 0,93
11	V1	52,5	52,5	131959	131959	0,00
	V2	66,2	66,2	208821	208821	0,00
12	V	86,9	86,2	327374	321862	- 1,68
13	V	59,0	58,1	162408	157220	- 3,19
14	V	84,5	84,2	377415	374699	- 0,72
15	V	51,4	51,2	124050	122625	- 1,15
16	V1	63,8	63,2	206076	202482	- 1,74
	V2	70,7	70,1	233691	229615	- 1,74
17	V	54,4	53,8	149958	146855	- 2,07
18	V	74,2	73,2	314243	306056	- 2,61
19	V1	62,1	61,4	188202	183769	- 2,36
	V2	75,3	74,5	256344	250306	- 2,36
20	V	58,4	58,2	150210	148963	- 0,83

Continua...

Continuação...

21	V1	54,7	54,4	135158	133325	- 1,36
	V2	65,1	64,7	186474	183945	- 1,36
22	V	84,2	83,2	301710	294316	- 2,45
23	V	80,1	78,8	316743	306587	- 3,21
24	V1	59,1	58,8	150251	148671	- 1,05
	V2	56,3	56,0	151654	150060	- 1,05
25	V	64,2	63,8	179398	177139	- 1,26
26	V1	75,3	75,2	295464	294324	- 0,39
	V2	68,7	68,6	222404	221545	- 0,39
27	V	56,2	55,7	137658	135241	- 1,76
28	V1	61,5	61,3	198832	197425	- 0,71
	V2	72,3	72,1	256370	254556	- 0,71
29	V	78,3	78,0	304226	302036	- 0,72
30	V	82,5	81,1	312480	301840	- 3,40
31	V	58,1	57,6	153548	151447	- 1,37
32	V	71,1	70,5	249890	245501	- 1,76
33	V	55,3	54,5	153629	149209	- 2,88
34	V1	63,1	62,0	197976	190843	- 3,60
	V2	71,3	70,0	231915	223560	- 3,60
35	V	78,8	77,9	306810	299655	- 2,33
36	V1	89,9	88,6	385214	373540	- 3,03
	V2	77,4	76,2	262439	254487	- 3,03
37	V	91,2	90,0	410572	400411	- 2,47
38	V	78,4	78,2	299867	297856	- 0,67
39	V	64,3	63,9	175131	173204	- 1,10
40	V1	70,7	70,2	244077	240648	- 1,40
	V2	61,9	61,5	175308	172845	- 1,40
41	V1	76,4	76,1	304505	302953	- 0,51
	V2	61,6	61,4	177887	176980	- 0,51
42	V1	62,8	62,3	197843	195016	- 1,43
	V2	71,4	70,9	253798	250170	- 1,43
43	V	74,6	73,7	279010	272205	- 2,44
44	V	69,6	68,9	250314	245346	- 1,98
45	V	64,0	63,7	189866	188289	- 0,83
46	V1	67,7	66,9	227334	221762	- 2,45
	V2	81,3	80,2	290278	283164	- 2,45
47	V	64,5	63,8	187679	183460	- 2,25
48	V	73,7	73,7	253355	253355	0,00
49	V1	61,9	61,9	195946	195702	- 0,12
	V2	77,9	77,9	321018	320617	- 0,12

Continua...

Continuação...

50	V	60,5	60,1	183356	181093	- 1,23
51	V	82,7	82,2	348582	344449	- 1,19
52	V1	58,9	58,1	180843	176346	- 2,49
	V2	54,0	53,4	137364	133948	- 2,49
53	V	64,4	63,8	187087	183643	- 1,84
54	V1	63,1	62,2	190215	184899	- 2,79
	V2	67,9	66,9	204263	198554	- 2,79
55	V	59,4	58,8	179367	176109	- 1,82
56	V	74,4	74,1	295121	292416	- 0,92
57	V1	82,6	81,9	320620	315184	- 1,70
	V2	67,5	66,9	257304	252941	- 1,70
58	V	60,7	60,5	188674	187316	- 0,72
59	V	72,3	71,7	277141	272275	- 1,76
60	V	61,7	61,4	219210	216798	- 1,10
61	V1	55,3	54,5	164278	159049	- 3,18
	V2	81,0	79,7	310968	301071	- 3,18
62	V1	66,3	65,7	220586	216393	- 1,90
	V2	54,8	54,2	148547	145724	- 1,90
63	V1	73,4	73,1	256472	253901	- 1,00
	V2	61,8	61,5	204626	202575	- 1,00
64	V	90,6	89,0	385275	371439	- 3,59
65	V	79,4	78,6	308980	302996	- 1,94
66	V1	82,4	82,3	342962	342662	- 0,09
	V2	72,3	72,2	259503	259276	- 0,09
67	V	62,3	61,9	201936	199099	- 1,40
68	V	78,8	78,1	310426	304825	- 1,80
69	V	72,6	72,1	250433	247036	- 1,36
70	V1	64,4	63,8	216450	211998	- 2,06
	V2	84,6	83,7	337856	330907	- 2,06
71	V	91,3	90,2	412224	402759	- 2,30
72	V1	80,0	79,4	259284	255452	- 1,48
	V2	67,4	66,9	213800	210640	- 1,48
73	V	64,2	63,7	185914	183368	- 1,37
74	V1	71,7	71,7	212285	212285	0,00
	V2	63,0	63,0	156097	156097	0,00
75	V	75,7	75,5	214670	213152	- 0,71
76	V1	79,0	78,5	221441	218626	- 1,27
	V2	56,8	56,4	108230	106854	- 1,27
77	V	62,6	62,3	132856	131540	- 0,99
78	V	75,7	75,0	242267	237870	- 1,82

Continua...

Continuação...

79	V	56,6	56,4	153431	152006	- 0,93
80	V1	58,6	58,2	186659	184354	- 1,23
	V2	65,8	65,4	203227	200718	- 1,23
81	V	74,2	73,3	333732	325037	- 2,61
82	V	59,9	59,7	185724	184456	- 0,68
83	V1	83,2	82,6	323441	318309	- 1,59
	V2	54,0	53,6	150885	148490	- 1,59
84	V	75,5	75,2	290340	287679	- 0,92
85	V1	87,2	86,4	415984	408879	- 1,71
	V2	62,6	62,1	199510	196103	- 1,71
86	V	72,4	71,7	268127	262773	- 2,00
87	V	64,2	63,7	210222	207192	- 1,44
88	V	65,9	65,7	230475	229044	- 0,62
89	V1	64,1	63,5	194462	190953	- 1,80
	V2	67,9	67,2	244004	239602	- 1,80
90	V	72,5	71,7	247079	241259	- 2,36
91	V1	64,8	64,8	197869	197523	- 0,17
	V2	78,1	78,0	275395	274914	- 0,17
92	V1	60,4	60,0	174446	172164	- 1,31
	V2	67,8	67,3	208082	205361	- 1,31
93	V	84,9	83,6	365778	354393	- 3,11
94	V1	78,8	78,0	300682	294750	- 1,97
	V2	56,7	56,2	147860	144943	- 1,97
95	V	64,6	63,9	204292	199821	- 2,19
96	V	88,8	88,2	399728	394745	- 1,25
97	V	80,0	79,5	288778	285565	- 1,11
98	V1	77,3	76,6	315733	310188	- 1,76
	V2	56,9	56,4	160316	157501	- 1,76
99	V1	62,0	62,0	210996	210996	0,00
	V2	70,7	70,7	253669	253669	0,00
100	V	83,6	83,2	350871	346882	- 1,14
101	V	60,5	60,2	168026	166610	- 0,84
102	V	73,9	73,2	271770	266867	- 1,80
103	V	64,0	63,6	208990	206358	- 1,26
104	V1	87,7	86,3	392875	381109	- 3,00
	V2	71,1	70,1	220116	213523	- 3,00
105	V	60,3	60,1	191965	190844	- 0,58
106	V1	76,4	76,1	274308	272299	- 0,73
	V2	80,5	80,2	292258	290119	- 0,73

Continua...

Continuação...

107	V1	68,0	67,2	215724	211003	- 2,19
	V2	54,4	53,9	153211	149858	- 2,19
108	V	56,1	55,2	160295	155287	- 3,12
109	V	76,8	75,9	295278	288182	- 2,40
110	V1	70,3	70,3	242089	241998	- 0,04
	V2	79,7	79,7	316390	316271	- 0,04
111	V	78,6	78,0	250286	246800	- 1,39
112	V1	60,8	60,1	162048	158019	- 2,49
	V2	67,2	66,3	191318	186560	- 2,49
113	V	89,5	88,5	390632	382316	- 2,13
114	V1	75,5	74,5	323567	314487	- 2,81
	V2	64,6	63,6	207492	201668	- 2,81
115	V	65,0	64,2	206903	201931	- 2,40
116	V1	77,1	76,6	304071	299688	- 1,44
	V2	82,9	82,3	337057	332199	- 1,44
117	V	75,3	75,2	289527	288769	- 0,26
118	V	54,8	54,4	147122	145019	- 1,43
119	V	78,4	78,1	305485	302910	- 0,84
120	V	82,0	80,7	313637	303875	- 3,11
121	V1	76,7	76,0	295055	289340	- 1,94
	V2	66,9	66,2	230995	226522	- 1,94
122	V	77,3	77,2	288250	287531	- 0,25
123	V1	78,8	78,4	256654	253516	- 1,22
	V2	85,5	85,0	321257	317330	- 1,22
124	V	51,7	51,6	131612	130681	- 0,71
125	V1	66,1	65,7	219723	217225	- 1,14
	V2	78,6	78,1	278540	275373	- 1,14
126	V	80,6	79,8	285444	280122	- 1,86

Tabela 4.5 - Velocidades e energias cinéticas envolvidas nos acidentes urbanos nos trechos com altura de mancha de areia superior a 0,60 mm.
Fonte: Autor.

Os resultados apresentados na Tabela 4.5 corroboram aqueles descritos na Tabela 4.2, ou seja, que uma melhor condição da macrotextura dos pavimentos asfálticos aumenta a eficiência do sistema de frenagens dos veículos e, resultando em menores valores de energias cinéticas envolvidas no momento da colisão. Todavia, nos 126 acidentes urbanos analisados observou-se uma variação da energia cinética de, no máximo, 3,60%, valor este inferior ao observado nos pavimentos rodoviários (5,40%). Esta maior variação nos pavimentos rodoviários se justifica em virtude da macrotextura dos pavimentos ser mais influente em

velocidades superiores a 50 km/h, sendo certo que, nas rodovias, os acidentes acontecem frequentemente com velocidades superiores àquelas verificadas em perímetro urbano.

Além dessa análise da macrotextura do pavimento, nos 22 acidentes referenciados na Tabela 4.4 também foram realizados os ensaios de microtextura, por meio do ensaio do pêndulo britânico, tudo com a finalidade de possibilitar a comparação com os valores mínimos recomendados pelo DNIT, pela ANTT e pela ARTESP (47 BPN), bem como o cálculo e a análise do IFI.

A Tabela 4.6 apresenta, para os 22 acidentes mencionados na Tabela 4.4, tanto os valores de altura de mancha de areia (HS) e de resistência à derrapagem (VRD), quanto o valor do IFI em cada um dos locais dos 22 acidentes, obtido por meio das Equações 2.10, 2.11 e 2.12.

Acidente	HS (mm)	VRD (BPN)	IFI	
			Sp	F_{60}
1	0,57	72	53,15	0,30
2	0,58	59	54,29	0,23
3	0,57	60	53,15	0,24
4	0,58	68	54,29	0,28
5	0,59	62	55,42	0,25
6	0,58	70	54,29	0,29
7	0,57	59	53,15	0,23
8	0,54	52	49,74	0,20
9	0,55	52	50,88	0,20
10	0,58	68	54,29	0,28
11	0,59	65	55,42	0,26
12	0,56	50	52,02	0,20
13	0,56	70	52,02	0,28
14	0,55	58	50,88	0,23
15	0,52	48	47,47	0,19
16	0,57	52	53,15	0,21
17	0,58	72	54,29	0,30
18	0,56	55	52,02	0,21
19	0,55	68	50,88	0,26
20	0,56	60	52,02	0,24
21	0,57	50	53,15	0,20
22	0,53	47	48,61	0,19

Tabela 4.6 – Valores de HS, VRD e IFI nos locais dos acidentes com valores de altura de mancha de areia inferiores ao mínimo recomendado (vias urbanas).
Fonte: Autor.

Com relação aos valores mínimos do IFI, e considerando o recomendado por McDaniel *et al.* (2004) (Tabela 2.20), em especial para concreto asfáltico convencional (0,19), todos os 22 locais de acidente de trânsito apresentavam o leito asfáltico, no que se refere à textura e ao atrito, em condições adequadas.

Pela tabela proposta nesse estudo para as agências reguladoras, todos os locais foram classificados como condições boas ou muito boas (Tabela 2.11).

Já pela tabela proposta para perícias, todos os 22 locais de acidentes tiveram as suas condições de textura e atrito consideradas como boas (Tabela 2.12).

4.3 Área de Análise

Os resultados apresentados nos subitens 4.1 e 4.2 indicam que a macro e a microtextura dos pavimentos rodoviários e urbanos pesquisados variam ao longo de pequenas extensões da via, especialmente pela ocorrência de recuperações em trechos isolados das vias.

Assim, a hipótese sugerida de área de análise, com ou sem marcas de frenagem, mostrou-se adequada à realidade, uma vez que restringe a pesquisa a poucos metros do sítio de colisão, ou seja, na região efetiva de ocorrência do acidente.

A realização dos ensaios de mancha de areia e de pêndulo britânico fora das áreas sugeridas, em virtude da variação observada nos ensaios, poderia gerar resultados com valores diferentes dos reais observados em cada caso real.

4.4 Momento de Realização dos Ensaios

Inicialmente as medições realizadas no presente trabalho foram feitas, no máximo, 24 horas depois dos acidentes, e sempre com as pistas secas. Todavia, dos 254 acidentes analisados (106 rodoviários e 148 urbanos), em 93 deles (32 rodoviários e 61 urbanos) os ensaios de mancha de areia foram realizados em até 4 horas depois dos sinistros, o que possibilitou a realização de novos ensaios nestes locais. Retornando em cada um dos 93 locais 24 horas depois dos acidentes, também com as pistas secas, e refazendo os ensaios de mancha de areia em áreas contíguas às originalmente ensaiadas, não se observaram, em nenhum dos novos ensaios, diferenças perceptíveis dos valores obtidos nos ensaios originais.

Assim, a hipótese sugerida de realização dos ensaios de macrotextura do pavimento em até 24 horas depois do acidente mostrou-se adequada, uma vez não terem sido observadas alterações perceptíveis dos resultados dos ensaios de mancha de areia realizados dentro desse lapso temporal.

Atingido o objetivo inicial, avançou-se na pesquisa, a fim de verificar se havia alterações significativas das condições de textura do pavimento em lapsos de tempo superiores a 24 horas. Para tanto, em 41 locais de acidentes de trânsito os ensaios de mancha de areia foram repetidos em períodos compreendidos entre 8 e 13 meses depois das avaliações iniciais, sendo os mesmos 19 locais em rodovias da Tabela 4.3 e os mesmos 22 locais em vias urbanas da Tabela 4.6.

Os resultados obtidos nestas avaliações posteriores demonstraram que houve redução inferior a 6% nas alturas de mancha de areia em 40 dos locais de acidentes de trânsito analisados (Tabelas 4.7 e 4.8), com exceção de um único local.

Acidente	HS inicial (mm)	HS final (mm)	Variação (%)	Tempo entre medidas (meses)
1	0,56	0,54	- 3,57	9
2	0,57	0,56	- 1,75	8
3	0,56	0,53	- 5,36	11
4	0,58	0,56	- 3,45	9
5	0,57	0,55	- 3,51	10
6	0,56	0,54	- 3,57	12
7	0,52	0,50	- 3,85	11
8	0,55	0,54	- 1,82	8
9	0,58	0,55	- 5,17	9
10	0,53	0,51	- 3,77	10
11	0,54	0,52	- 3,70	11
12	0,57	0,55	- 3,51	8
13	0,49	0,47	- 4,08	12
14	0,47	0,45	- 4,26	9
15	0,59	0,57	- 3,39	13
16	0,57	0,54	- 5,26	10
17	0,56	0,55	- 1,79	11
18	0,55	0,52	- 5,45	12
19	0,50	0,58	+ 16,00	11

Tabela 4.7 – Ensaios de mancha de areia repetidos nos locais dos acidentes com valores inferiores ao mínimo recomendado (rodovias).
Fonte: Autor.

Acidente	HS inicial (mm)	HS final (mm)	Variação (%)	Tempo entre medidas (meses)
1	0,57	0,54	- 5,26	12
2	0,58	0,55	- 5,17	10
3	0,57	0,55	- 3,51	11
4	0,58	0,56	- 3,45	8
5	0,59	0,58	- 1,69	9
6	0,58	0,55	- 5,17	13
7	0,57	0,55	- 3,51	12
8	0,54	0,51	- 5,56	11
9	0,55	0,53	- 3,64	13
10	0,58	0,57	- 1,72	10
11	0,59	0,56	- 5,08	9
12	0,56	0,54	- 3,57	11
13	0,56	0,53	- 5,36	8
14	0,55	0,52	- 5,45	12
15	0,52	0,50	- 3,85	11
16	0,57	0,56	- 1,75	10
17	0,58	0,56	- 3,45	8
18	0,56	0,55	- 1,79	10
19	0,55	0,53	- 3,64	11
20	0,56	0,54	- 3,57	11
21	0,57	0,54	- 5,26	10
22	0,53	0,50	- 5,66	9

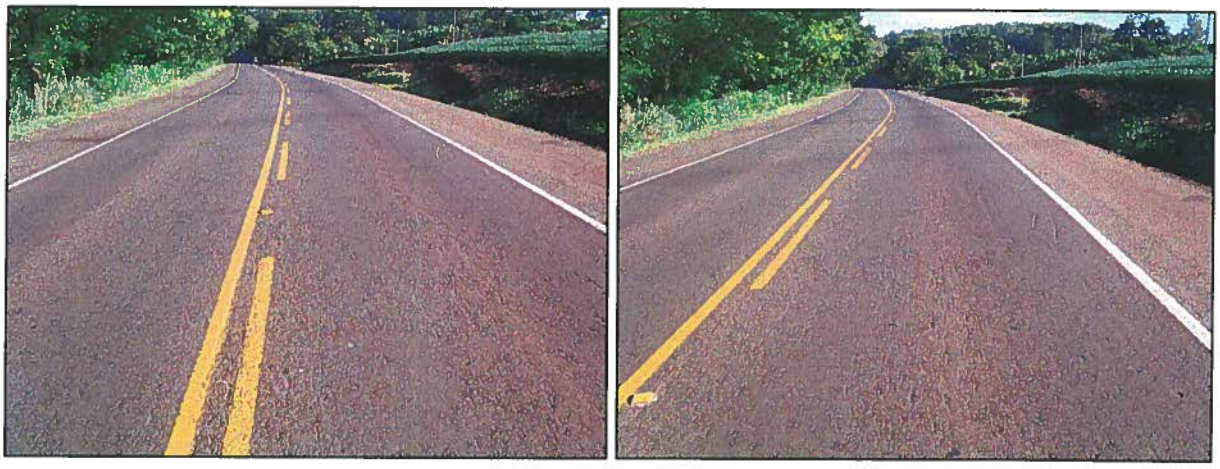
Tabela 4.8 – Ensaios de mancha de areia repetidos nos locais dos acidentes com valores inferiores ao mínimo recomendado (vias urbanas).
Fonte: Autor.

Em apenas um dos casos (acidente rodoviário) observou-se acréscimo da altura de mancha de areia em 16% (Tabela 4.7), indicando que pode ter havido uma alteração significativa das condições de textura da referida via durante o período compreendido entre as duas mensurações (11 meses), em especial por atividades de manutenção ou reabilitação do trecho, ou mesmo um erro na primeira leitura realizada.

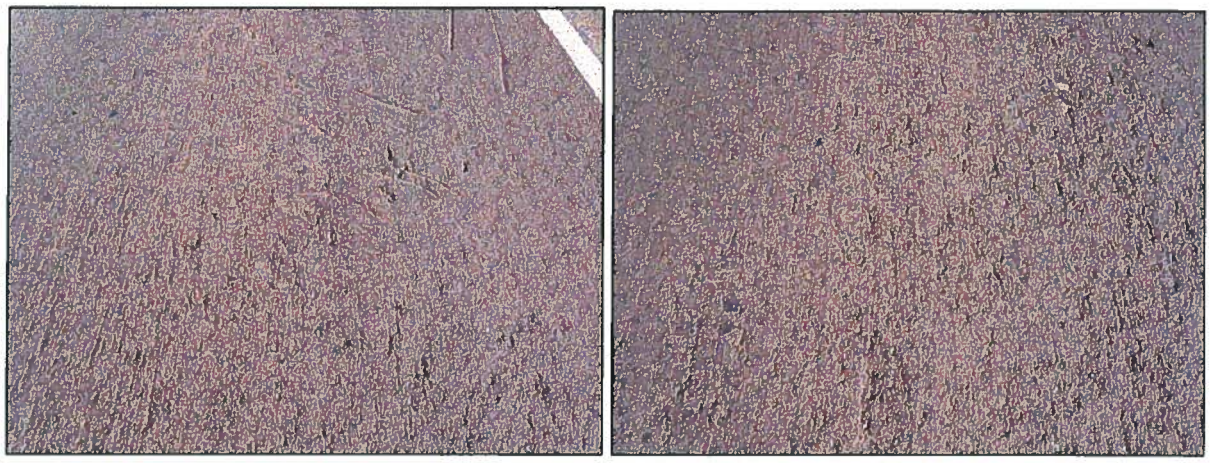
Considerando-se que todos os locais de acidentes de trânsito avaliados foram fotografados, havendo 1.572 fotografias, motivo pelo qual não foram inseridas, no presente trabalho, as imagens do local do acidente onde houve alteração significativa das condições de textura foram comparadas visualmente, na tentativa de identificar o motivo da discrepância de valores (Figuras 4.1 a 4.8).

Figuras 4.1 e 4.2 - Fotografias do dia do acidente analisado na Rodovia PR-445.
Fonte: Autor.

Figuras 4.3 e 4.4 - Fotografias do dia do acidente analisado na Rodovia PR-445.
Fonte: Autor.



Figuras 4.5 e 4.6 - Fotografias do local, tomadas 11 meses depois do acidente.
Fonte: Autor.



Figuras 4.7 e 4.8 - Fotografias do local, tomadas 11 meses depois do acidente.
Fonte: Autor.

Pela análise das Figuras 4.1 a 4.8 observa-se que o local deste acidente não sofreu qualquer tipo de atividade de manutenção ou reabilitação. Mesmo passados 11 meses, ainda se fazem presentes as mesmas sulcagens no leito asfáltico decorrentes do atrito de componentes metálicos dos veículos quando da ocorrência do acidente.

Assim, a diferença de valores de altura de mancha de areia decorre, possivelmente, de erro de leitura na realização do exame no dia do acidente, ou mesmo do cálculo do HS.

Com relação aos demais 40 acidentes, descritos nas Tabelas 4.7 e 4.8, observa-se que as reduções das alturas de mancha de areia, durante aproximadamente 12 meses, em valores inferiores a 6%, não alteram significativamente os valores calculados de velocidades e energias cinéticas obtidos nos dias dos acidentes (Tabelas 4.1, 4.2, 4.4 e 4.5).

Constata-se, portanto, que em condições normais da via, sem a ocorrência de operações de manutenção ou de outras intervenções importantes, especialmente no que se refere à camada asfáltica de rolamento (colocação de nova capa asfáltica, por exemplo), a coleta da altura de mancha de areia, para fins periciais, pode ser realizada até 12 meses depois da data do acidente.

4.5 PROTOCOLO PARA AVALIAÇÃO PERICIAL DA MACRO E MICROTEXTURA DE PAVIMENTO ASFÁLTICO EM LOCAL DE ACIDENTE DE TRÂNSITO

A coleta e a interpretação de dados, bem como as avaliações dos acidentes de trânsito realizadas no presente estudo, permitiram a elaboração de um protocolo a ser adotado pela perícia técnica em locais de acidentes de trânsito, mais precisamente no que se refere à avaliação da macro e microtextura de pavimento asfáltico (Figura 4.9).

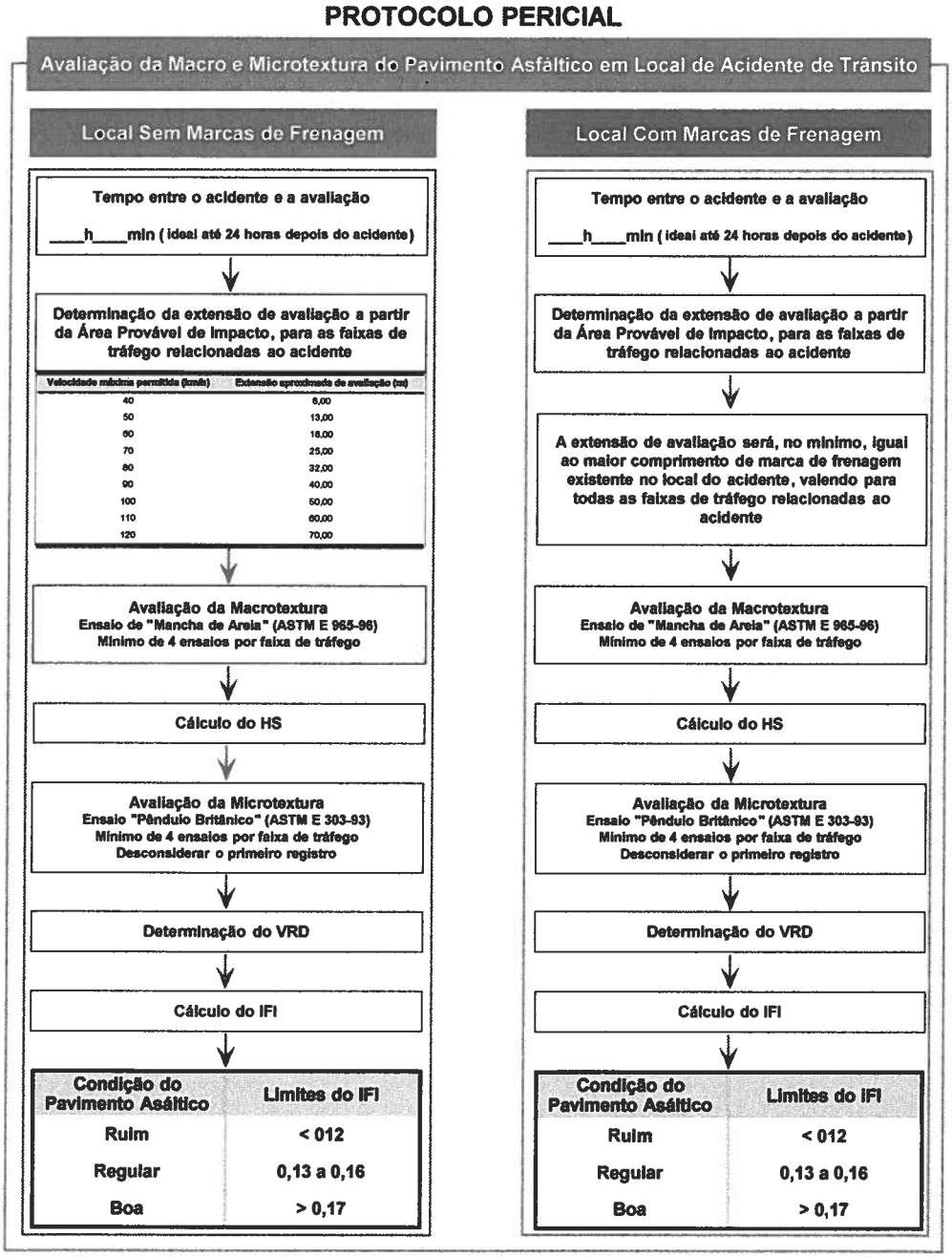


Figura 4.9 – Protocolo pericial para avaliação da macro e microtextura do pavimento asfáltico em local de acidente de trânsito.

5 CONCLUSÕES

Nos casos dos acidentes levantados em trechos onde as alturas de mancha de areia foram inferiores ao mínimo recomendado pelo DNIT, ANTT e ARTESP (0,60 mm), os resultados e as análises deste trabalho indicam que uma melhor condição de macrotextura reduziria, aproximadamente, entre 7% e 19% as energias cinéticas envolvidas nos acidentes em rodovias, e entre 4% a 11% em vias urbanas, reduzindo tanto as avarias produzidas em cada veículo quanto, principalmente, as lesões nas vítimas. As diferenças observadas na redução de enérgica cinética em rodovias e em vias urbanas justificam-se pelas maiores velocidades desenvolvidas pelos veículos em rodovias, quando comparadas às velocidades desenvolvidas em vias urbanas, sendo a macrotextura dos pavimentos mais influente em condição de velocidades superiores a 50 km/h.

Os levantamentos e cálculos dos acidentes que ocorreram nos trechos onde as alturas de mancha de areia foram superiores ao mínimo recomendado confirmam que uma melhor condição de macrotextura dos pavimentos asfálticos resultaria em redução significativa da energia cinética envolvida no momento da colisão, diminuindo os danos materiais e, principalmente, a gravidade das lesões.

Os resultados dos levantamentos de campo realizados neste trabalho constituem evidência de que a segurança das rodovias e vias urbanas nivela-se para baixo, procurando-se atender apenas a "segurança nominal", com valores próximo do mínimo exigido, e nunca se procurando alcançar uma "segurança substantiva", buscando-se valores na parte intermediária ou superior da faixa de aceitabilidade (no caso da mancha de areia, 0,6 mm ≤ HS ≤ 1,2 mm), pois o valor máximo obtido de altura de mancha de areia nos 254 locais pesquisados foi de 0,84 mm e poucos foram os resultados superiores a 0,80 mm.

Os valores calculados do Índice Internacional de Atrito na interface pneu/pavimento (*International Friction Index, IFI*), em função da micro e da macrotextura dos revestimentos asfálticos nos locais de acidentes rodoviários, ficaram entre 0,14 e 0,28. Pela classificação proposta neste estudo, os dois menores valores calculados (0,14 e 0,15) teriam as suas condições de textura superficial e de atrito consideradas como regulares, enquanto os demais locais seriam classificados como tendo condições boas. Para os locais de acidentes urbanos, todos teriam as suas condições de textura e atrito consideradas como boas, pois os valores do IFI ficaram entre 0,19 e 0,30.

A hipótese sugerida e aplicada para a área de análise da micro e da macrotextura dos pavimentos mostrou-se adequada, retratando a realidade das condições do revestimento asfáltico no momento do acidente, além de, juridicamente, ser relevante, por se encontrar dentro da efetiva área de desenvolvimento do sinistro. Assim, recomenda-se considerar como área a ser levantada toda a extensão das marcas de frenagem dos veículos envolvidos ou, no caso de inexistência destas marcas, que compreenda uma extensão de 10 a 70 metros, respectivamente para vias com velocidade máxima permitida de 40 km/h e de 120 km/h.

A hipótese sugerida e aplicada para o momento de realização dos ensaios de micro e de macrotextura do pavimento, no sentido de que sejam realizados em até 24 horas após o acidente, também se mostrou eficiente, pois as condições do revestimento asfáltico não apresentaram alterações que pudessem alterar os resultados obtidos. Apesar dessa recomendação, destaca-se que se observou uma diferença inferior a 6% entre medidas realizadas com um intervalo de até doze meses, diferença incapaz de alterar significativamente os valores calculados de velocidades e energias cinéticas dos veículos quando dos acidentes.

Para a avaliação da macro e da microtextura de um pavimento asfáltico, sugere-se, em virtude dos baixos custos e da facilidade de locomoção dos equipamentos, que sejam empregados, respectivamente, o ensaio de "Mancha de Areia" (padronizado pela norma ASTM E 965-96) e o ensaio do "Pêndulo Britânico" (padronizado pela norma ASTM E 303-93).

Quanto à classificação do IFI proposta, os resultados e as análises deste trabalho indicam que, para se atender às necessidades periciais e dos julgamentos judiciais, deve-se considerar apenas três classes: ruim, regular e boa.

As avaliações de pavimentos para fins de utilização pelos sistemas de gerência de pavimentos, no que diz respeito à aderência pneu/pavimento, geralmente se restringem ao recebimento de obras novas e a recomendações para reabilitação de determinado segmento de via com elevado índice de acidentes, sendo raros os casos em que são adotadas políticas de caráter preventivo, com fiscalizações periódicas e rotineiras, assim como ocorre no meio aeroportuário, onde os critérios de ações preventivas são efetivamente mais exigentes que os verificados no meio rodoviário.

Como sugestão para trabalhos futuros, entende-se importante a avaliação da macro e microtextura do pavimento, em locais de acidentes de trânsito, ao longo de períodos de tempo superiores ao analisado neste trabalho (12 meses).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES – ANTT. **Programa de exploração da Rodovia (PER)**: BR-393/RJ – Trecho Div. MG/RJ – Entr. BR-116 (Via Dutra). Brasília: Ministério dos Transportes, 2010.

ALMEIDA, L. L. **Manual de perícias em acidentes de trânsito**. Campinas: Millennium, 2011.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL. **ASTM E 867-97**: terminology relating to vehicle-pavement systems. West Conshohocken: ASTM Standards,1997a.

_____. **ASTM E274 / E274M – 11**: standard test method for skid resistance of paved surfaces using a full-scale tire. West Conshohocken: ASTM Standards, 1997b.

_____. **ASTM E 303-93**: standard test method for measuring surface frictional properties using the british pendulum tester. West Conshohocken: ASTM Standards, 1998.

_____. **ASTM E 670-94**: standard test method for side force friction on paved surfaces using the mu-meter. West Conshohocken: ASTM Standards, 2000.

_____. **ASTM E 1960-98**: standard practice for calculating international friction index of a pavement surface. West Conshohocken: ASTM Standards, 2001a.

_____. **ASTM E 965-96**: standard test method for measuring pavement macrotexture depth using a volumetric technique. West Conshohocken: ASTM Standards, 2001b.

_____. **ASTM G 40-02**: standard terminology relating to wear erosion. West Conshohocken: ASTM Standards, 2001c.

_____. **ASTM E 1911-98**: standard test method for measuring paved surface frictional properties using the dynamic friction tester. West Conshohocken: ASTM Standards, 2002.

_____. **ASTM E 1845-09**: standard practice for calculating pavement macrotexture mean profile depth. West Conshohocken: ASTM Standards, 2009.

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

APS, M. et al. Aderência pneu-pavimento obtida por meio de ensaios de micro e macrotextura e em provas de frenagem com veículos comerciais e sua interface na simulação dinâmica de um veículo em pista. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO RODOVIÁRIA - ENACOR, 8., 2003, Gramado. **Anais...** Gramado, 2003a. CD-Rom.

APS, M. et al. Avaliação da macro e microtextura em pavimentos asfálticos urbanos visando à segurança viária. In: Reunião Urbana de Pavimentação da ABPv, 2., 2003, Aracajú. **Anais...** Aracajú, 2003b. CD-Rom.

ARAGÃO, R. F. **Acidentes de trânsito**: análise da prova pericial. Campinas: Millennium, 2011. (Série Tratado de Perícias Criminalísticas).

_____. **Acidentes de trânsito**: aspectos técnicos e jurídicos. Porto Alegre. Sagra-Luzzatto, 2003. (Série Tratado de Perícias Criminalísticas).

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

ANFAVEA. ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES – **Anuário estatístico da indústria automobilística brasileira**. 2014. Disponível em: <http://www.anfavea.com.br/anuario.html>. Acesso em: 21 abr. 2014.

AUSTROADS. **Review of surface texture measurement method for seal design input**. Sydney, 2008.

BERNUCCI, L. B. et al. Comparação de comportamento de diferentes revestimentos asfálticos quanto às características funcionais de aderência e de ruído. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE RODOVIAS E CONCESSÕES, 5., 2007, Campinas. **Anais**... Campinas: CBR&C, 2007.

_____. **Pavimentação asfáltica**: formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro: Petrobras, ABEDA, 2008.

BEUX, A. **Infortunística no trânsito**: vade-mécum do analista dos delitos no trânsito. Porto Alegre: Sagra-Luzzatto, 1996.

BRASIL. Decreto-Lei nº 3689, de 03 de outubro de 1941. Código de Processo Penal. **Diário Oficial [da República Federativa do Brasil]**, Brasília, 13 out. 1941.

BRASIL. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – DNER. **Licitação na modalidade leilão para concessão da exploração do lote 13, composto pelas rodovias BR-116/PR, BR-376/PR e BR-101/SC trecho Curitiba – Joinville – Florianópolis**. Resolução 3423, de 25.02.2010. Rio de Janeiro, 2000.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT. **Norma 009/2003 PRO**: Avaliação subjetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos: procedimento. Rio de Janeiro, 2003a.

_____. **Norma 005/2003 TER**: Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos: terminologia. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro, 2003b.

_____. **Serviços de consultoria para assessoria técnica na área de custos de acidentes**: relatório final. Rio de Janeiro, 2004a.

_____. **Norma 031/2004 ES**: Pavimentos flexíveis - concreto asfáltico - especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2004b.

_____. **Manual de restauração de pavimentos asfálticos**. Rio de Janeiro: IPR, 2006a.

_____. **Manual de sinalização rodoviária**. São Paulo: Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo, 2006b.

_____. Lei nº 9503, de 23 de setembro de 1997. Código de Trânsito Brasileiro. **Diário Oficial [da República Federativa do Brasil]**, Brasília, 24 set.1997.

_____. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. **Impactos sociais e econômicos dos acidentes de trânsito nas rodovias brasileiras**. Brasília IPEA/DENATRAN/ANTP, 2006a.

CHOI, Y.; HUBNER, D. **Review of surface texture measurement method for seal design input**. Sydney: Austroads Incorporated, 2008.

FERNANDES JUNIOR, J. L. et al. **Defeitos e atividades de manutenção e reabilitação em pavimentos asfálticos**. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos – USP, 2003. Apostila.

FERNANDES, A.; NEVES, J. **Avaliação da relação entre as características superficiais dos pavimentos rodoviários e a segurança de circulação do tráfego**. 2003. Disponível em: <http://www.velocidade.prp.pt/Sites/velocidade/CentroDocumentacao/InvestigacaoEstudos/30%20-%20AVALIACAO%20DA%20RELACAO%20ENTRE%20AS%20CARACTERISTICAS%20SUPERFICIAIS.pdf>. Acesso em 18 jan 2013.

FERRAZ, A. C. P. et al. **Segurança viária**. São Carlos: Suprema, 2012.

GIULIANI, F.; RASTELLI, S. **Analysis of local measurements of road pavements friction characteristics**. In: 7th International Congress on Civil Engineering. Tehran, Iran, 2006.

HALL, J. W. et al. **Guide for pavement friction**. Washington, DC: American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), 2008.

IPR. **Pesquisa de Asfaltos Modificados por Polímeros**. INSTITUTO DE PESQUISAS RODOVIÁRIAS – IPR. Relatório Final, Tomo II, p. 245. Rio de Janeiro, 1998.

LOPES, L.G.R.; FORTES, R.M. **Estudo da aderência pneu-pavimento para diferentes tipos de texturas de pavimentos em pistas de kartódromos**. In: CONGRESSO DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES, Anais... São Paulo, 2008.

McDANIEL, R.; BERNHARD, B.; THORNTON, W. **Field evaluation of porous asphalt pavements**. West Lafayette: Institute for Safe, 2004.

MOMM, L. **Estudo dos efeitos da granulometria sobre a macrotextura superficial do concreto asfáltico e seu comportamento mecânico**. 1998. 259 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

NCHRP. Performance survey on open-graded friction course mixes. **Transportation Research Record**: Journal of the Transportation Research Board, Washington, 2000.

NEGRINI NETO, O. **O problema da hidroplanagem nos acidentes de trânsito**. Disponível em: <http://www.geocities.com/CapeCanaveral/Launchpad/2909/page16.html>. Acesso em: 13 mar. 2009.

NEGRINI NETO, O. **Tratado de perícias criminalísticas**: dinâmica dos acidentes de trânsito: análises e reconstruções. Porto Alegre: Sagra-Luzzatto, 2003.

NEGRINI NETO, O.; KLEINÜBING, R. **Tratado de perícias criminalísticas**: dinâmica dos acidentes de trânsito: análises, reconstruções e prevenção. Campinas. Millennium, 2012.

NOYCE, D. A. et al. **Incorporating road safety into pavement management**: maximizing asphalt pavement surface friction for road safety improvements. Madison: Midwest Regional University Transportation Center, 2005.

O'FLAHERTY, C. A. **Highways**: the location, design, construction and maintenance of road pavements. 4th ed. Oxford, England: Butterworth-Heinemann, 2002.

ONG, G. P.; FWA, T. F. **Hydroplaning risk management for grooved pavements**. 2008. Disponível em: <http://pavementmanagement.org/ICMPfiles/2008027.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2013.

PONCINO, H. Adherencia neumatico-pavimento: conceptos generals: estado del conocimiento. **El Asfalto**: Boletín de La Comisión Permanente Del Asfalto, Buenos Aires, n. 94. 2002.

RESNICK, R..; HALLIDAY, D. **Física**. 4ª ed. Rio de Janeiro. Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1983.

RODRIGUES, R. M. **Gerência de pavimentos**. São José dos Campos: Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 1998. Apostila – parte II.

SABEY, B. E. **Road safety and value for money**. Crowthorne, Berkshire: Transport and Road Research Laboratory,1980.

SANTOS, E. L. **Análise histórica de medição de atrito das pistas do aeroporto Santos Dumont - RJ**. 2004. 63 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Aeronáutica) - Instituto Tecnológico da Aeronáutica, São José dos Campos.

SANY, R. Z.; NAVIN, F. P. D. Improving traffic safety: a new systems approach. . **Transportation Research Record**: Journal of the Transportation Research Board, Washington, p. 1-9, 2004.

SILVA, A. M.; RODRIGUES FILHO, O. S. **Grooving**: aspectos teóricos e executivos da aplicação em pavimentos aeroportuários. São Paulo: COPASP, 1981.

SILVA, J. P. S. Aderência pneu-pavimento aeroportuário: conceitos e generalidades. In: CONGRESSO DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES, 1., 2007, São Paulo. **Anais**... São Paulo: CONINFRA, 2007. Ref. 01-53A.

SOARES, A.; MICAELO, R. Estudo da possibilidade de ocorrência de hidroplanagem em estradas portuguesas. In: CONGRESSO IBERO-LATINOAMERICANO DO ASFALTO, 16., 2011, Rio de Janeiro. **Anais**... Rio de Janeiro, 2011. Cd-Rom.

TRANSIT NEW ZEALAND **State highway asset management manual**. 3th ed. Wellington: State Highway Manager, 2000.

WAMBOLD, J. C. et al. **International PIARC experience to compare and harmonize texture and skid resistance measurements**. Paris: PIARC, 1995.

WAMBOLD, J. C.; HENRY, J. J. **NASA wallops tie/runway friction**: workshops 1993-2002. Montreal: TDC, 2002. (Publication, TP14190E).

WAMBOLD, J. C.; HENRY, J. J.; HEGMON, R. R. Skid resistance of wet-weather accident sites. In: POTTINGER, M. G.; YAGER, T. J. **The tire pavement interface**. Baltimore: ASTM Standards, 1986. p. 9-15.

WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO. **How to conduct a situational assessment**. 2010. Disponível em: <http://whqlibdoc.who.int/publications/2010/9789241598965_eng_Chapter2.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2011.

_____. **Informe sobre la situación mundial de la seguridad vial**: es hora de pasar a la acción. 2009. Disponível em: <http://www.who. int/violence_ injury_prevention/road_safety_status/2009>. Acesso em: 15 jan. 2013.

APÊNDICES

APÊNDICE A

Questionário

Pavimento asfáltico

Nome: _____

Perito Criminal desde: _____/_____/_____

Lotado na cidade de: _____ Estado: _____

Setor: _____

1) Quando do atendimento de acidentes de trânsito e atropelamentos, promove algum tipo de avaliação objetiva do pavimento asfáltico?

( ) Sim: qual: _____
( ) Não

2) Promove ou alguma vez já promoveu avaliação quantitativa do coeficiente de atrito, da macrotextura e/ou da microtextura do revestimento asfáltico?

( ) Sim, desde _____/_____/_____
( ) Não

3) Se a resposta ao quesito anterior foi positiva, citar o método e a respectiva norma adotada.

_____
_____
_____

4) Se não promove nenhuma avaliação quantitativa do coeficiente de atrito, quais os parâmetros utilizados para os cálculos de velocidade?

( ) Acelerômetro
( ) *Drag sled*
( ) Teste dinâmico com o veículo
( ) Tabela
( ) Outro: _____

5) Se não promove nenhuma avaliação quantitativa da microtextura e da macrotextura do revestimento asfáltico, quais os parâmetros utilizados para avaliação de possível hidroplanagem como causa do acidente?

_____
_____
_____
_____

Obrigado!

Eng. Luciano Gardano Elias Bucharles
Perito Criminal em Londrina / PR
Rua Ohio, 144
CEP 86.020-530
(43) 3324-3337

APÊNDICE B

Ofício ao DER/PR e Estruturas dos Pavimentos Rodoviários

Londrina, 16 de janeiro de 2012.

Sr. Superintendente:

Em virtude do desenvolvimento de pesquisa científica pelo professor que firma o presente requerimento, solicitamos que seja informado o tipo de revestimento asfáltico utilizado nas seguintes rodovias:

a) **PR-090**: no trecho compreendido entre o município de Ibiporã e o município de Alvorada do Sul (entroncamento com a PR-170).

b) **PR-323**: no trecho compreendido entre a divisa com o Estado de São Paulo e o município de Rolândia (entroncamento com a PR-170).

c) **PR-445**: em toda a sua extensão.

A fim de facilitar o envio das informações, solicitamos que os dados sejam encaminhados pelo e-mail: luciano_bucharles@uel.br ou que sejamos avisados pelo celular (43) 9994-9515 para a retirada do documento na sede desse órgão.

Sendo o que tínhamos a expor, aproveitamos o ensejo para externar os nossos votos de consideração e apreço.

Atenciosamente,

Prof. Luciano Gardano Elias Bucharles
Departamento de Construção Civil
Centro de Tecnologia e Urbanismo

Ilmo. Eng. Carlos Fumio Yamamura
Superintendência Regional Norte do Departamento de Estradas de Rodagem
Rua Uruguai, 943
CEP 86.010-220
Londrina / PR

ECONORTE

LISTAGEM TOTAL DE TODAS AS ESTRUTURAS

Rodovia : PR090

Faixa Faixa Direita

Inicio : 371,100 km **Final :** 374,000 km CBR(%): 0

Data Construção: **Data Amostra** 01/12/1997

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base	Argila Arenosa	200 mm	
Base	Brita graduada	300 mm	
1º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	30 mm	
2º Revestimento		0 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

Inicio : 374,000 km **Final :** 378,300 km CBR(%): 0

Data Construção: **Data Amostra** 01/12/1997

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base	Argila Arenosa	250 mm	
Base	Brita graduada	350 mm	
1º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	30 mm	
2º Revestimento		0 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

Inicio : 378,300 km **Final :** 383,300 km CBR(%): 0

Data Construção: **Data Amostra** 01/12/1997

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base	Argila Arenosa	250 mm	
Base	Brita graduada	300 mm	
1º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	35 mm	
2º Revestimento		0 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

ECONORTE

LISTAGEM TOTAL DE TODAS AS ESTRUTURAS

Rodovia : PR090

Inicio : 383,300 km **Final :** 388,300 km CBR(%): 0

Data Construção: **Data Amostra** 01/12/1997

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base	Argila Arenosa	200 mm	
Base	Brita graduada	300 mm	
1º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	30 mm	
2º Revestimento		0 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

Inicio : 388,300 km **Final :** 393,300 km CBR(%): 0

Data Construção: **Data Amostra** 01/12/1997

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base	Argila Arenosa	600 mm	
Base	Brita graduada	300 mm	
1º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	30 mm	
2º Revestimento		0 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

Inicio : 393,300 km **Final :** 398,343 km CBR(%): 0

Data Construção: **Data Amostra** 01/12/1997

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base	Argila Arenosa	300 mm	
Base	Brita graduada	200 mm	
1º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	40 mm	
2º Revestimento		0 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

ECONORTE

LISTAGEM TOTAL DE TODAS AS ESTRUTURAS

Rodovia : PR090

Faixa Faixa Esquerda

Inicio : 371,100 km **Final :** 374,000 km CBR(%): 0

Data Construção: **Data Amostra** 01/12/1997

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base	Argila Arenosa	200 mm	
Base	Brita graduada	300 mm	
1º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	30 mm	
2º Revestimento		0 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

Inicio : 374,000 km **Final :** 378,300 km CBR(%): 0

Data Construção: **Data Amostra** 01/12/1997

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base	Argila Arenosa	250 mm	
Base	Brita graduada	350 mm	
1º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	30 mm	
2º Revestimento		0 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

Inicio : 378,300 km **Final :** 383,300 km CBR(%): 0

Data Construção: **Data Amostra** 01/12/1997

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base	Argila Arenosa	250 mm	
Base	Brita graduada	300 mm	
1º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	35 mm	
2º Revestimento		0 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

ECONORTE

LISTAGEM TOTAL DE TODAS AS ESTRUTURAS

Rodovia : PR090

Inicio : 383,300 km **Final :** 388,300 km CBR(%): 0

Data Construção: **Data Amostra** 01/12/1997

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base	Argila Arenosa	200 mm	
Base	Brita graduada	300 mm	
1º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	30 mm	
2º Revestimento		0 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

Inicio : 388,300 km **Final :** 393,300 km CBR(%): 0

Data Construção: **Data Amostra** 01/12/1997

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base	Argila Arenosa	600 mm	
Base	Brita graduada	300 mm	
1º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	30 mm	
2º Revestimento		0 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

Inicio : 393,300 km **Final :** 398,343 km CBR(%): 0

Data Construção: **Data Amostra** 01/12/1997

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base	Argila Arenosa	300 mm	
Base	Brita graduada	200 mm	
1º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	40 mm	
2º Revestimento		0 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

ECONORTE

LISTAGEM TOTAL DE TODAS AS ESTRUTURAS

Rodovia : PR323

Faixa Faixa Direita

Inicio : 0,600 km **Final :** 3,200 km CBR(%): 0

Data Construção: **Data Amostra** 01/07/2000

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base	Seixo Rolado	640 mm	
Base	Brita graduada	180 mm	
1º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	100 mm	
2º Revestimento		0 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

Inicio : 3,200 km **Final :** 4,750 km CBR(%): 0

Data Construção: **Data Amostra** 01/07/2000

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base	Seixo Rolado	400 mm	
Base	Brita graduada	150 mm	
1º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	100 mm	
2º Revestimento		0 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

Inicio : 4,750 km **Final :** 6,600 km CBR(%): 0

Data Construção: **Data Amostra** 01/07/2000

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base	Seixo Rolado	300 mm	
Base	Brita graduada	180 mm	
1º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	120 mm	
2º Revestimento		0 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

ECONORTE

LISTAGEM TOTAL DE TODAS AS ESTRUTURAS

Rodovia : PR323

Inicio : 6,600 km **Final :** 8,900 km CBR(%): 0

Data Construção: **Data Amostra** 01/07/2000

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base	Seixo Rolado	250 mm	
Base	Brita graduada	100 mm	
1º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	100 mm	
2º Revestimento		0 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

Inicio : 8,900 km **Final :** 10,850 km CBR(%): 0

Data Construção: **Data Amostra** 01/07/2000

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base	Seixo Rolado	150 mm	
Base	Brita graduada	150 mm	
1º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	100 mm	
2º Revestimento		0 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

Inicio : 10,850 km **Final :** 12,400 km CBR(%): 0

Data Construção: **Data Amostra** 01/07/2000

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base	Seixo Rolado	230 mm	
Base	Brita graduada	120 mm	
1º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	100 mm	
2º Revestimento		0 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

ECONORTE

LISTAGEM TOTAL DE TODAS AS ESTRUTURAS

Rodovia : PR323

Inicio : 12,400 km **Final :** 13,500 km CBR(%): 0

Data Construção: **Data Amostra** 01/07/2000

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base	Seixo Rolado	200 mm	
Base	Brita graduada	100 mm	
1º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	100 mm	
2º Revestimento		0 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

Inicio : 13,500 km **Final :** 14,400 km CBR(%): 0

Data Construção: **Data Amostra** 01/07/2000

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base	Seixo Rolado	150 mm	
Base	Brita graduada	150 mm	
1º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	100 mm	
2º Revestimento		0 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

Inicio : 14,400 km **Final :** 15,250 km CBR(%): 0

Data Construção: **Data Amostra** 01/07/2000

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base	Seixo Rolado	250 mm	
Base	Brita graduada	150 mm	
1º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	100 mm	
2º Revestimento		0 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

ECONORTE

LISTAGEM TOTAL DE TODAS AS ESTRUTURAS

Rodovia : PR323

Inicio : 15,250 km **Final :** 16,325 km CBR(%): 0
Data Construção: **Data Amostra** 01/07/2000

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base	Seixo Rolado	150 mm	
Base	Brita graduada	150 mm	
1º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	100 mm	
2º Revestimento		0 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

Inicio : 16,325 km **Final :** 17,325 km CBR(%): 0
Data Construção: **Data Amostra** 01/07/2000

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base	Argila Arenosa	100 mm	
Base	Solo cimento	250 mm	
1º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	100 mm	
2º Revestimento		0 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

Inicio : 17,325 km **Final :** 18,050 km CBR(%): 0
Data Construção: **Data Amostra** 01/07/2000

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base	Argila Arenosa	100 mm	
Base	Solo cimento	200 mm	
1º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	100 mm	
2º Revestimento		0 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

ECONORTE

LISTAGEM TOTAL DE TODAS AS ESTRUTURAS

Rodovia : PR323

Inicio : 18,050 km **Final :** 19,650 km CBR(%): 0

Data Construção: **Data Amostra** 01/07/2000

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base	Argila Arenosa	100 mm	
Base	Solo cimento	200 mm	
1º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	100 mm	
2º Revestimento		0 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

Inicio : 19,650 km **Final :** 21,450 km CBR(%): 0

Data Construção: **Data Amostra** 01/07/2000

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base	Argila Arenosa	100 mm	
Base	Solo cimento	250 mm	
1º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	100 mm	
2º Revestimento		0 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

Inicio : 21,450 km **Final :** 22,450 km CBR(%): 0

Data Construção: **Data Amostra** 01/07/2000

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base		0 mm	
Base	Solo cimento	180 mm	
1º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	120 mm	
2º Revestimento		0 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

ECONORTE

LISTAGEM TOTAL DE TODAS AS ESTRUTURAS

Rodovia : PR323

Inicio : 22,450 km **Final :** 23,100 km CBR(%): 0

Data Construção: **Data Amostra** 01/07/2000

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base		0 mm	
Base	Solo cimento	200 mm	
1º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	100 mm	
2º Revestimento		0 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

Inicio : 23,100 km **Final :** 23,600 km CBR(%): 0

Data Construção: **Data Amostra** 01/07/2000

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base		0 mm	
Base	Solo cimento	180 mm	
1º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	120 mm	
2º Revestimento		0 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

Inicio : 23,600 km **Final :** 24,850 km CBR(%): 0

Data Construção: **Data Amostra** 01/07/2000

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base	Argila Siltosa	100 mm	
Base	Solo cimento	200 mm	
1º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	100 mm	
2º Revestimento		0 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

ECONORTE

LISTAGEM TOTAL DE TODAS AS ESTRUTURAS

Rodovia : PR323

Inicio : 24,850 km **Final :** 26,000 km CBR(%): 0

Data Construção: **Data Amostra** 01/07/2000

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base		0 mm	
Base	Solo cimento	260 mm	
1º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	100 mm	
2º Revestimento		0 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

Inicio : 26,000 km **Final :** 28,100 km CBR(%): 0

Data Construção: **Data Amostra** 01/07/2000

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base	Brita graduada	120 mm	
Base	Reciclado de fresagem	180 mm	
1º Revestimento	#Erro	0 mm	
2º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	50 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

Inicio : 28,100 km **Final :** 29,875 km CBR(%): 0

Data Construção: **Data Amostra** 01/07/2000

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base	Brita graduada	170 mm	
Base	Reciclado de fresagem	180 mm	
1º Revestimento	#Erro	0 mm	
2º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	50 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

ECONORTE

LISTAGEM TOTAL DE TODAS AS ESTRUTURAS

Rodovia : PR323

Inicio : 29,875 km **Final :** 31,000 km CBR(%): 0
Data Construção: **Data Amostra** 01/07/2000

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base	Brita graduada	120 mm	
Base	Reciclado de fresagem	180 mm	
1º Revestimento	#Erro	0 mm	
2º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	50 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

Inicio : 31,000 km **Final :** 32,700 km CBR(%): 0
Data Construção: **Data Amostra** 01/07/2000

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base		0 mm	
Base	Solo cimento	250 mm	
1º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	100 mm	
2º Revestimento		0 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

Inicio : 32,700 km **Final :** 34,250 km CBR(%): 0
Data Construção: **Data Amostra** 01/07/2000

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base		0 mm	
Base	Solo cimento	200 mm	
1º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	100 mm	
2º Revestimento		0 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

ECONORTE

LISTAGEM TOTAL DE TODAS AS ESTRUTURAS

Rodovia : PR323

Inicio : 34,250 km **Final :** 35,700 km CBR(%): 0

Data Construção: **Data Amostra** 01/07/2000

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base		0 mm	
Base	Solo cimento	200 mm	
1º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	150 mm	
2º Revestimento		0 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

Inicio : 35,700 km **Final :** 36,850 km CBR(%): 0

Data Construção: **Data Amostra** 01/07/2000

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base		0 mm	
Base	Brita graduada	250 mm	
1º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	100 mm	
2º Revestimento		0 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

Inicio : 36,850 km **Final :** 39,000 km CBR(%): 0

Data Construção: **Data Amostra** 01/07/2000

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base		0 mm	
Base	Brita graduada	100 mm	
1º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	100 mm	
2º Revestimento		0 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

ECONORTE

LISTAGEM TOTAL DE TODAS AS ESTRUTURAS

Rodovia : PR323

Inicio : 39,000 km **Final :** 40,450 km CBR(%): 0

Data Construção: 01/07/2000 **Data Amostra** 01/07/2000

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base	Brita graduada	220 mm	
Base	Reciclado de fresagem	180 mm	
1º Revestimento	#Erro	0 mm	
2º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	50 mm	01/07/2000
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

Inicio : 40,450 km **Final :** 42,500 km CBR(%): 0

Data Construção: **Data Amostra** 01/07/2000

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base	Brita graduada	120 mm	
Base	Reciclado de fresagem	180 mm	
1º Revestimento	#Erro	0 mm	
2º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	50 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

Inicio : 42,500 km **Final :** 44,350 km CBR(%): 0

Data Construção: **Data Amostra** 01/07/2000

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base	Brita graduada	170 mm	
Base	Reciclado de fresagem	180 mm	
1º Revestimento	#Erro	0 mm	
2º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	50 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

ECONORTE

LISTAGEM TOTAL DE TODAS AS ESTRUTURAS

Rodovia : PR323

Inicio : 44,350 km **Final :** 46,500 km CBR(%): 0

Data Construção: **Data Amostra** 01/07/2000

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base	Brita graduada	200 mm	
Base	Reciclado de fresagem	180 mm	
1º Revestimento	#Erro	0 mm	
2º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	50 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

Inicio : 46,500 km **Final :** 48,650 km CBR(%): 0

Data Construção: **Data Amostra** 01/07/2000

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base		0 mm	
Base	Brita graduada	250 mm	
1º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	100 mm	
2º Revestimento		0 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

Inicio : 48,650 km **Final :** 50,650 km CBR(%): 0

Data Construção: **Data Amostra** 01/07/2000

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base		0 mm	
Base	Brita graduada	230 mm	
1º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	120 mm	
2º Revestimento		0 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

ECONORTE

LISTAGEM TOTAL DE TODAS AS ESTRUTURAS

Rodovia : PR323

Inicio : 50,650 km **Final :** 52,650 km CBR(%): 0

Data Construção: **Data Amostra** 01/07/2000

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base		0 mm	
Base	Brita graduada	280 mm	
1º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	120 mm	
2º Revestimento		0 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

Inicio : 52,650 km **Final :** 54,750 km CBR(%): 0

Data Construção: **Data Amostra** 01/07/2000

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base		0 mm	
Base	Brita graduada	190 mm	
1º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	110 mm	
2º Revestimento		0 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

Inicio : 54,750 km **Final :** 56,800 km CBR(%): 0

Data Construção: **Data Amostra** 01/07/2000

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base		0 mm	
Base	Brita graduada	280 mm	
1º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	120 mm	
2º Revestimento		0 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

ECONORTE

LISTAGEM TOTAL DE TODAS AS ESTRUTURAS

Rodovia : PR323

Inicio : 56,800 km **Final :** 58,650 km CBR(%): 0

Data Construção: **Data Amostra** 01/07/2000

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base		0 mm	
Base	Brita graduada	300 mm	
1º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	100 mm	
2º Revestimento		0 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

Inicio : 58,650 km **Final :** 60,200 km CBR(%): 0

Data Construção: **Data Amostra** 01/07/2000

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base		0 mm	
Base	Brita graduada	250 mm	
1º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	100 mm	
2º Revestimento		0 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

Inicio : 60,200 km **Final :** 60,645 km CBR(%): 0

Data Construção: **Data Amostra** 01/07/2000

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base	Rachão	150 mm	
Base	Brita graduada	200 mm	
1º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	100 mm	
2º Revestimento		0 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

ECONORTE

LISTAGEM TOTAL DE TODAS AS ESTRUTURAS

Rodovia : PR323

Faixa Faixa Esquerda

Inicio : 0,600 km **Final :** 3,200 km CBR(%): 0

Data Construção: **Data Amostra** 01/07/2000

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base	Seixo Rolado	640 mm	
Base	Brita graduada	180 mm	
1º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	100 mm	
2º Revestimento		0 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

Inicio : 3,200 km **Final :** 4,750 km CBR(%): 0

Data Construção: **Data Amostra** 01/07/2000

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base	Seixo Rolado	400 mm	
Base	Brita graduada	150 mm	
1º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	100 mm	
2º Revestimento		0 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

Inicio : 4,750 km **Final :** 6,600 km CBR(%): 0

Data Construção: **Data Amostra** 01/07/2000

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base	Seixo Rolado	300 mm	
Base	Brita graduada	180 mm	
1º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	120 mm	
2º Revestimento		0 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

ECONORTE

LISTAGEM TOTAL DE TODAS AS ESTRUTURAS

Rodovia : PR323

Inicio : 6,600 km **Final :** 8,900 km CBR(%): 0
Data Construção: **Data Amostra** 01/07/2000

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base	Seixo Rolado	250 mm	
Base	Brita graduada	100 mm	
1º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	100 mm	
2º Revestimento		0 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

Inicio : 8,900 km **Final :** 10,850 km CBR(%): 0
Data Construção: **Data Amostra** 01/07/2000

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base	Seixo Rolado	150 mm	
Base	Brita graduada	150 mm	
1º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	100 mm	
2º Revestimento		0 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

Inicio : 10,850 km **Final :** 12,400 km CBR(%): 0
Data Construção: **Data Amostra** 01/07/2000

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base	Seixo Rolado	230 mm	
Base	Brita graduada	120 mm	
1º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	100 mm	
2º Revestimento		0 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

ECONORTE

LISTAGEM TOTAL DE TODAS AS ESTRUTURAS

Rodovia : PR323

Inicio : 12,400 km **Final :** 13,500 km CBR(%): 0

Data Construção: **Data Amostra** 01/07/2000

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base	Seixo Rolado	200 mm	
Base	Brita graduada	100 mm	
1º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	100 mm	
2º Revestimento		0 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

Inicio : 13,500 km **Final :** 14,400 km CBR(%): 0

Data Construção: **Data Amostra** 01/07/2000

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base	Seixo Rolado	150 mm	
Base	Brita graduada	150 mm	
1º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	100 mm	
2º Revestimento		0 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

Inicio : 14,400 km **Final :** 15,250 km CBR(%): 0

Data Construção: **Data Amostra** 01/07/2000

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base	Seixo Rolado	250 mm	
Base	Brita graduada	150 mm	
1º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	100 mm	
2º Revestimento		0 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

ECONORTE

LISTAGEM TOTAL DE TODAS AS ESTRUTURAS

Rodovia : PR323

Inicio : 15,250 km **Final :** 16,325 km CBR(%): 0

Data Construção: **Data Amostra** 01/07/2000

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base	Seixo Rolado	150 mm	
Base	Brita graduada	150 mm	
1º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	100 mm	
2º Revestimento		0 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

Inicio : 16,325 km **Final :** 17,325 km CBR(%): 0

Data Construção: **Data Amostra** 01/07/2000

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base	Argila Arenosa	100 mm	
Base	Solo cimento	250 mm	
1º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	100 mm	
2º Revestimento		0 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

Inicio : 17,325 km **Final :** 18,050 km CBR(%): 0

Data Construção: **Data Amostra** 01/07/2000

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base	Argila Arenosa	100 mm	
Base	Solo cimento	200 mm	
1º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	100 mm	
2º Revestimento		0 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

ECONORTE

LISTAGEM TOTAL DE TODAS AS ESTRUTURAS

Rodovia : PR323

Inicio : 18,050 km **Final :** 19,650 km CBR(%): 0

Data Construção: **Data Amostra** 01/07/2000

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base	Argila Arenosa	100 mm	
Base	Solo cimento	200 mm	
1º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	100 mm	
2º Revestimento		0 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

Inicio : 19,650 km **Final :** 21,450 km CBR(%): 0

Data Construção: **Data Amostra** 01/07/2000

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base	Argila Arenosa	100 mm	
Base	Solo cimento	250 mm	
1º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	100 mm	
2º Revestimento		0 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

Inicio : 21,450 km **Final :** 22,450 km CBR(%): 0

Data Construção: **Data Amostra** 01/07/2000

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base		0 mm	
Base	Solo cimento	180 mm	
1º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	120 mm	
2º Revestimento		0 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

ECONORTE

LISTAGEM TOTAL DE TODAS AS ESTRUTURAS

Rodovia : PR323

Inicio : 22,450 km **Final :** 23,100 km CBR(%): 0

Data Construção: **Data Amostra** 01/07/2000

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base		0 mm	
Base	Solo cimento	200 mm	
1º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	100 mm	
2º Revestimento		0 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

Inicio : 23,100 km **Final :** 23,600 km CBR(%): 0

Data Construção: **Data Amostra** 01/07/2000

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base		0 mm	
Base	Solo cimento	180 mm	
1º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	120 mm	
2º Revestimento		0 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

Inicio : 23,600 km **Final :** 24,850 km CBR(%): 0

Data Construção: **Data Amostra** 01/07/2000

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base	Argila Siltosa	100 mm	
Base	Solo cimento	200 mm	
1º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	100 mm	
2º Revestimento		0 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

ECONORTE

LISTAGEM TOTAL DE TODAS AS ESTRUTURAS

Rodovia : PR323

Inicio : 24,850 km **Final :** 26,000 km CBR(%): 0

Data Construção: **Data Amostra** 01/07/2000

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base		0 mm	
Base	Solo cimento	260 mm	
1º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	100 mm	
2º Revestimento		0 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

Inicio : 26,000 km **Final :** 28,100 km CBR(%): 0

Data Construção: **Data Amostra** 01/07/2000

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base	Brita graduada	120 mm	
Base	Reciclado de fresagem	180 mm	
1º Revestimento	#Erro	0 mm	
2º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	50 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

Inicio : 28,100 km **Final :** 29,875 km CBR(%): 0

Data Construção: **Data Amostra** 01/07/2000

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base	Brita graduada	170 mm	
Base	Reciclado de fresagem	180 mm	
1º Revestimento	#Erro	0 mm	
2º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	50 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

ECONORTE

LISTAGEM TOTAL DE TODAS AS ESTRUTURAS

Rodovia : PR323

Inicio : 29,875 km **Final :** 31,000 km CBR(%): 0
Data Construção: **Data Amostra** 01/07/2000

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base	Brita graduada	120 mm	
Base	Reciclado de fresagem	180 mm	
1º Revestimento	#Erro	0 mm	
2º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	50 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

Inicio : 31,000 km **Final :** 32,700 km CBR(%): 0
Data Construção: **Data Amostra** 01/07/2000

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base		0 mm	
Base	Solo cimento	250 mm	
1º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	100 mm	
2º Revestimento		0 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

Inicio : 32,700 km **Final :** 34,250 km CBR(%): 0
Data Construção: **Data Amostra** 01/07/2000

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base		0 mm	
Base	Solo cimento	200 mm	
1º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	100 mm	
2º Revestimento		0 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

ECONORTE

LISTAGEM TOTAL DE TODAS AS ESTRUTURAS

Rodovia : PR323

Inicio : 34,250 km **Final :** 35,700 km CBR(%): 0

Data Construção: **Data Amostra** 01/07/2000

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base		0 mm	
Base	Solo cimento	200 mm	
1º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	150 mm	
2º Revestimento		0 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

Inicio : 35,700 km **Final :** 36,850 km CBR(%): 0

Data Construção: **Data Amostra** 01/07/2000

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base		0 mm	
Base	Brita graduada	250 mm	
1º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	100 mm	
2º Revestimento		0 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

Inicio : 36,850 km **Final :** 39,000 km CBR(%): 0

Data Construção: **Data Amostra** 01/07/2000

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base		0 mm	
Base	Brita graduada	100 mm	
1º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	100 mm	
2º Revestimento		0 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

ECONORTE

LISTAGEM TOTAL DE TODAS AS ESTRUTURAS

Rodovia : PR323

Inicio : 39,000 km **Final :** 40,450 km CBR(%): 0
Data Construção: **Data Amostra** 01/07/2000

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base	Brita graduada	220 mm	
Base	Reciclado de fresagem	180 mm	
1º Revestimento	#Erro	0 mm	
2º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	50 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

Inicio : 40,450 km **Final :** 42,500 km CBR(%): 0
Data Construção: 01/07/2000 **Data Amostra** 01/07/2000

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base	Brita graduada	120 mm	
Base	Reciclado de fresagem	180 mm	
1º Revestimento	#Erro	0 mm	
2º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	50 mm	01/07/2000
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

Inicio : 42,500 km **Final :** 44,350 km CBR(%): 0
Data Construção: **Data Amostra** 01/07/2000

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base	Brita graduada	170 mm	
Base	Reciclado de fresagem	180 mm	
1º Revestimento	#Erro	0 mm	
2º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	50 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

ECONORTE

LISTAGEM TOTAL DE TODAS AS ESTRUTURAS

Rodovia : PR323

Inicio : 44,350 km **Final :** 46,500 km CBR(%): 0

Data Construção: **Data Amostra** 01/07/2000

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base	Brita graduada	200 mm	
Base	Reciclado de fresagem	180 mm	
1º Revestimento	#Erro	0 mm	
2º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	50 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

Inicio : 46,500 km **Final :** 48,650 km CBR(%): 0

Data Construção: **Data Amostra** 01/07/2000

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base		0 mm	
Base	Brita graduada	250 mm	
1º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	100 mm	
2º Revestimento		0 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

Inicio : 48,650 km **Final :** 50,650 km CBR(%): 0

Data Construção: **Data Amostra** 01/07/2000

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base		0 mm	
Base	Brita graduada	230 mm	
1º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	120 mm	
2º Revestimento		0 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

ECONORTE

LISTAGEM TOTAL DE TODAS AS ESTRUTURAS

Rodovia : PR323

Inicio : 50,650 km **Final :** 52,650 km CBR(%): 0

Data Construção: **Data Amostra** 01/07/2000

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base		0 mm	
Base	Brita graduada	280 mm	
1º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	120 mm	
2º Revestimento		0 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

Inicio : 52,650 km **Final :** 54,750 km CBR(%): 0

Data Construção: **Data Amostra** 01/07/2000

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base		0 mm	
Base	Brita graduada	190 mm	
1º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	110 mm	
2º Revestimento		0 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

Inicio : 54,750 km **Final :** 56,800 km CBR(%): 0

Data Construção: **Data Amostra** 01/07/2000

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base		0 mm	
Base	Brita graduada	280 mm	
1º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	120 mm	
2º Revestimento		0 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

ECONORTE

LISTAGEM TOTAL DE TODAS AS ESTRUTURAS

Rodovia : PR323

Inicio : 56,800 km **Final :** 58,650 km CBR(%): 0

Data Construção: **Data Amostra** 01/07/2000

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base		0 mm	
Base	Brita graduada	300 mm	
1º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	100 mm	
2º Revestimento		0 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

Inicio : 58,650 km **Final :** 60,200 km CBR(%): 0

Data Construção: **Data Amostra** 01/07/2000

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base		0 mm	
Base	Brita graduada	250 mm	
1º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	100 mm	
2º Revestimento		0 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

Inicio : 60,200 km **Final :** 60,645 km CBR(%): 0

Data Construção: **Data Amostra** 01/07/2000

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito			
Sub Base	Rachão	150 mm	
Base	Brita graduada	200 mm	
1º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	100 mm	
2º Revestimento		0 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

ECONORTE

LISTAGEM TOTAL DE TODAS AS ESTRUTURAS

Rodovia : PR445

Faixa Faixa Direita

Inicio : 81,300 km **Final :** 95,160 km CBR(%): 0

Data Construção: **Data Amostra** 01/01/1996

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito	#Erro		
Sub Base	Solo cimento	150 mm	
Base	Solo cimento	150 mm	
1º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	50 mm	
2º Revestimento		0 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

Faixa Faixa Esquerda

Inicio : 81,300 km **Final :** 95,160 km CBR(%): 0

Data Construção: **Data Amostra** 01/01/1996

Camadas	Tipo de Material	Espessura	Data dos Revestimentos Posteriores
Sub Leito	#Erro		
Sub Base	Solo cimento	150 mm	
Base	Solo cimento	150 mm	
1º Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a quent	50 mm	
2º Revestimento		0 mm	
3º Revestimento		0 mm	
4º Revestimento		0 mm	

APÊNDICE C

Ofício a Secretaria de Obras e Pavimentação da Prefeitura Municipal de Londrina/PR

Londrina, 16 de janeiro de 2012.

Sr. Secretário:

Em virtude do desenvolvimento de pesquisa científica pelo professor que firma o presente requerimento, solicitamos que seja informada a extensão e o tipo de revestimento asfáltico utilizado nas seguintes vias públicas da cidade de Londrina:

a) Avenida Dez de Dezembro;
b) Avenida Juscelino Kubitschek;
c) Avenida Leste-Oeste;
d) Avenida Tiradentes.

A fim de facilitar o envio das informações, solicitamos que os dados sejam encaminhados pelo e-mail: luciano_bucharles@uel.br ou que sejamos avisados pelo celular (43) 9994-9515 para a retirada do documento na sede desse órgão.

Sendo o que tínhamos a expor, aproveitamos o ensejo para externar os nossos votos de consideração e apreço.

Atenciosamente,

Prof. Luciano Gardano Elias Bucharles
Departamento de Construção Civil
Centro de Tecnologia e Urbanismo

Ilmo. Sr. Bruno Ywao Morikawa
MD Secretário Municipal de Obras e Pavimentação
Avenida Duque de Caxias, 635 – Jardim Mazzei II
CEP 86.015-901
Londrina / PR