

Avaliação da macrotextura de pavimentos através do ensaio de mancha de areia

Evaluation of pavement macrotexture by sand patch technique

Luciano P. Specht¹, Thiago Rozek¹, Fábio Hirsch¹, Reginaldo T. dos Santos¹

¹*Universidade do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ, Ijuí, RS*
e-mail: specht@unijui.edu.br; thiago_eng@viacom.com.br; fabio.hirsch@gmail.com;
rtudeia@yahoo.com.br

RESUMO: O pavimento pode ser definido com uma estrutura de múltiplas camadas semi-infinitas cuja função é transmitir os esforços causados pelo tráfego ao terreno de fundação (subleito), além de proporcionar aos usuários boas condições de conforto e segurança. A textura superficial dos pavimentos condiciona diversos aspectos relacionados ao conforto e a segurança dos usuários: efeito de espelho noturno e eficiência da iluminação, aderência pneu/pavimento, hidroplanagem, ruído, spray, etc. Esta pesquisa apresenta a avaliação da macrotextura de 8 diferentes revestimentos utilizados no Estado do Rio Grande do Sul. A técnica de medição da macrotextura foi através do ensaio de mancha ou altura de areia. Verificou-se, a partir dos dados coletados, que os revestimentos apresentam condições adequadas de segurança.

ABSTRACT: Pavement can be defined as multiple semi-infinite layer structure whose function is to transmit the load traffic to the subgrade, beyond providing to the users good ride conditions as comfort and safety. The pavements superficial texture influences several aspects related to the comfort and the users' safety: night mirror effect and illumination efficiency, tire/pavement adherence, hydroplaning, noise, spray, etc. This research presents the evaluation of the macrotexture of 8 different pavement surfaces used in the Rio Grande do Sul State. The technique used to macrotexture measurement was sand patch test or height of sand. It was verified that the pavement surfaces tested presents appropriate safety conditions.

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas o Brasil tem experimentado um crescimento muito acelerado na sua frota de veículos [1], tanto em quantidade quanto em tecnologias embarcadas, permitindo, sob este aspecto, que os veículos possam trafegar com maior velocidade e transportar maior volume de carga.

Todavia, a infra-estrutura rodoviária não acompanhou tal evolução [2], devido principalmente, a insuficiência de recursos para manter a malha rodoviária existente e implantar novas rodovias.

Conceitualmente o pavimento pode ser definido com uma estrutura de múltiplas camadas semi-infinitas cuja função é transmitir os esforços causados pelo tráfego ao terreno de fundação (subleito), além de proporcionar aos usuários boas

condições de conforto e economia no transporte de pessoas e de bens.

As irregularidades superficiais dos pavimentos influenciam de sobremaneira o desempenho de um pavimento, desde o conforto de rolamento e a segurança em pista molhada até o desgaste do sistema de suspensão e a deterioração e danificação de cargas, além de aspectos relacionados com ruído.

Dados não oficiais [3] estimam que no Brasil cerca de 80.000 pessoas percam suas vidas em decorrência de acidentes de trânsito. Uma das causas de acidentes é a má condição da superfície de rolamento das rodovias, que leva a perda de aderência pneu/pavimento e conseqüentemente a dificuldade de manter os veículos na trajetória desejada [4,5,6].

Pesquisas publicadas em 2006 pelo IPEA (Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicadas),

DENATRAN (Departamento Nacional de Trânsito) e ANTP (Associação Nacional dos Transportes Públicos) com dados referentes ao biênio 2004/2005 indicam que o custo de um acidente em que a pessoa sai ilesa é de R\$1.040,00, quando uma vítima é classificada como ferida o custo é de R\$36.305,00 e em caso onde há vítima fatal o custo é de R\$ 270.165,00 [7].

Neste contexto, esta pesquisa tem como objetivo avaliar a condição da macrotextura de 8 diferentes revestimentos utilizados no Estado do Rio Grande do Sul.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O atrito desenvolvido entre o pneu e o pavimento é responsável por manter a trajetória dos veículos na via e sofre grande influência das condições ambientais, principalmente da chuva e do excesso de umidade na superfície de rolamento. O acúmulo de água na superfície da rodovia, em frente ao pneu, faz com que pressões hidrodinâmicas sejam geradas na zona de contato pneu/pavimento e, dependendo do volume de água acumulado e da velocidade do veículo pode ocorrer o fenômeno da hidroplanagem que é a perda de contato entre o pneu e a superfície de rolamento impossibilitando qualquer manobra do condutor.

O estado de conservação dos pneumáticos, notadamente a profundidade de seus sulcos, e a textura e inclinação transversal da via podem auxiliar na remoção da água superficial e aumentar o contato entre as superfícies.

Segundo o DNER (1998) [4] a experiência brasileira sobre aderência é bastante limitada, todavia ressalta que seu uso deverá ser difundido dada a importância quanto à segurança.

O atrito entre superfícies pode ser entendido como a soma de duas parcelas. A primeira é a adesão nos pontos de contato entre as duas superfícies. O contato final entre as superfícies se estabelece nos contatos agudos (agregados expostos) com os pneumáticos. A segunda parcela surge se as irregularidades de uma das superfícies produzem deformações na outra de maneira a alterar sua forma original.

Hunter [5] apresenta a prática inglesa de medição de resistência à derrapagem através da medição com o SCRIM e indica que desde 1973 o TRL (*Transportation Research Laboratory*)

introduziu o conceito de risco, associando os dados de resistência à derrapagem com a geometria da via e a sua localização, apontando que a partir de determinados valores, há necessidade de restauração para melhorar a condição superficial.

Brosseaud [8] relata a experiência francesa sobre projetos de pavimentos, onde cada uma das camadas têm função específica, a base de resistir a esforços mecânicos e o revestimento de proporcionar boas condições de conforto e segurança aos usuários.

A textura de um pavimento pode ser dividida em três classes principais:

a) *Microtextura*: está relacionada a própria superfície do agregado mineral, a qual pode ser áspera ou polida, cujos comprimentos de onda variam entre 0 a 0,5mm e amplitude de 0 a 0,2mm. Esta propriedade depende das propriedades mineralógicas dos agregados e é de fundamental importância para romper o filme de água quando do contato pneu/pavimento. A maneira mais comum de se medir microtextura é através do ensaio de pêndulo britânico (ASTM D303-93) [9] ou do PSV (Polished Stone Value) (BS 812-3) [10,11], cujos equipamentos estão apresentados na Figura 1, a e b respectivamente. Specht [12] realizou, de maneira pioneira no estado do RS, ensaios de microtextura em revestimentos com CBUQ e Borracha-Agregado.

b) *Macrotextura*: são asperezas superficiais do pavimento causadas pelas protuberâncias causadas pelo agregado com comprimento de onda de 0,5 a 50mm e amplitude de 0,2 a 10mm. É relacionada ao atrito em altas velocidades; a capacidade do pavimento drenar a água superficial evitando o fenômeno da hidroplanagem [13]; a formação de spray; a formação do espelho noturno; o aumento no consumo de combustível; o desgaste dos pneumáticos e a excessivos níveis de ruído. A Figura 2 apresenta, esquematicamente, a representação de macro e microtextura.

A distribuição granulométrica, as características dos agregados (forma, tamanho, etc.) a dosagem da mistura e o processo construtivo influenciam muito na macrotextura final do pavimento.

A maneira mais difundida de medição da macrotextura é através do ensaio de mancha (ou altura) de areia normalizado pela ASTM D965-96 [14], todavia outros processos estão disponíveis, tais como o da drenabilidade superficial do pavimento [12,13] (ver Figura 3), a medida contínua com laser (equipamento RUGO) [8] além

dos métodos baseados no processo de interpretação de imagens digitais [13,15,16].

Pasquet [17] determinou a relação entre o coeficiente de atrito e a altura de areia, a qual demonstra uma forte proporcionalidade entre as variáveis, conforme demonstrado na Figura 4. Apresenta ainda a relação entre os valores de altura de areia com a velocidade de tráfego para rodovias (ver Tabela 1). De acordo com Brosseau [8] os valores aceitáveis de macrotextura estão entre 0,4mm para uma aderência aceitável e 0,7mm para garantir uma boa drenagem superficial.

Moura *et al* [18] estudaram a influência de diferentes tipos de areia nos resultados dos ensaios de mancha de areia e indicam a dificuldade de se realizar os ensaios com areias angulosas, dada a dificuldade apresentada no espalhamento. Os autores indicam que a alteração no tipo de areia altera os resultados, sendo mais importante para pavimentos com textura fina onde a diferença pode superar os 10%.

c) *Megatextura*: são irregularidades superficiais cujos comprimentos de onda variam entre 5 e 50cm e amplitude entre 1 a 50cm. São capazes de produzir vibrações e considerados defeitos no pavimento, afetam o atrito pneu/pavimento e de sobremaneira o conforto e o custo operacional dos veículos.

Uma maneira muito bem aceita de se mensurar o atrito pneu/pavimento e utilizado na Europa e Estados Unidos é o Grip Test, que é composto por um reboque com uma roda de teste e está apresentado na Figura 5.

A partir do comprimento de onda e amplitude da megatextura aparecem as irregularidades de ondas curtas (cujos comprimentos de onda variam entre 50 e 500cm e amplitude entre 0,1 a 2cm), médias (comprimento de onda de 500 a 1500cm e amplitude 0,5 a 5cm) e longas (comprimento de onda de 1500 a 5000cm e amplitude 10 a 20cm).

3. METODOLOGIA

3.1. Planejamento do Experimento

O planejamento do experimento contempla a mensuração da macrotextura, através da técnica da mancha de areia, em diversos pavimentos construídos e em utilização no estado do Rio Grande do Sul, a saber:

- CBUQ – Concreto Betuminoso Usinado a Quente, BR 285, trecho Entre-Ijuí - acesso São Miguel das Missões;
- PMQ – Pré-Misturado a Quente, BR 285, trecho acesso São Miguel das Missões - São Luiz Gonzaga;
- CPA – Camada Porosa de Atrito, BR 285 trecho São Luiz Gonzaga – Santo Antônio das Missões;
- TSD – Tratamento Superficial Duplo, RST 377, trecho Jóia - Santiago e RS 342, trecho Ijuí - Catuípe;
- AB – CBUQ produzido com ligante Asfalto Borracha, BR 290;
- MR – Micro-Revestimento, BR 290;
- LA – Lama Asfáltica, Avenida David José Martins, limites urbanos do município de Ijuí;
- CCP – Concreto de Cimento Portland, BR 290.

3.2. Metodologia de Ensaio

O processo de mensuração da macrotextura, pelo método da altura de areia (ASTM E965-96) [14], consiste em espalhar, com movimentos circulares de um dispositivo apropriado (espalhador de madeira com revestimento de borracha) na superfície do pavimento, um volume conhecido de areia ou microesferas de vidro ($25000\text{mm}^3 \pm 150\text{mm}^3$). Mede-se o tamanho da mancha em 4 direções, e então, com a média, calcula-se a altura da macrotextura, ou altura de areia, pela equação:

$$h_m = \frac{4V}{d_m^2 \cdot \pi} \quad (3)$$

onde: h_m = altura média de areia

V = volume

d_m = média das medidas da mancha na superfície do pavimento.

No momento do ensaio o pavimento deve estar perfeitamente limpo e seco e as microesferas devem ter um grau de esfericidade superior a 90% e tamanho padronizado (90% passante na peneira nº60 e retida na nº80). A Figura 6 apresenta fotos, em microscópio, das microesferas utilizadas e a Figura 7 o aparato utilizado no ensaio, incluindo uma moldura de madeira que serve para auxiliar a execução das medidas em locais com vento.

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Na Tabela 2 são apresentados os valores de macrotextura obtidos com a realização de 147 ensaios em diferentes tipos de revestimentos utilizados no estado do Rio Grande do Sul. Nota-se uma grande amplitude de valores para diferentes revestimentos desde 0,23mm para a Lama Asfáltica até 2,30mm para o Tratamento Superficial Duplo. Outra constatação importante são os elevados valores de desvio padrão (até 0,72mm) e de coeficiente de variação (até 32,68%) inerentes ao processo de medição e as heterogeneidades em diferentes locais do mesmo pavimento.

Na Figura 8 foram plotados os valores médios de macrotextura para cada revestimento, bem como este valor mais e menos o desvio padrão. Assim pode ser ter uma idéia da variabilidade dos resultados. Nota-se, como regra, que quanto maiores forem os valores médios maiores serão os desvios de medida (indicados pelo desvio padrão) e que mais ensaios são necessários para a determinação de valores confiáveis.

A partir dos dados obtidos foi também possível classificar, segundo o critério proposto por Pasquet (1968) [17], a textura dos pavimentos (apresentado na Tabela 2 e plotado na Figura 9). Nota-se que dos 8 revestimentos estudados apenas 1 está classificado como textura fina (LA), 3 como média (CBUQ, AB e CCP), 1 como grossa (PMQ) e 3 como muito grossa (CPA, TSD e MR).

Algumas considerações podem ser traçadas:

- todos os pavimentos apresentam condições mínimas de segurança, o pavimento com textura fina encontra-se nos limites urbanos de Ijuí cuja velocidade máxima é inferior a 80km/h.

- praticamente não existe diferença entre a média dos valores de textura do CBUQ e do AB indicando que o ligante Asfalto-Borracha não altera, por si só, a textura do pavimento, seriam necessárias alterações na estrutura mineral da mistura, o que só é possível utilizando ligantes modificados como o Asfalto-Borracha.

- o pavimento de Concreto de Cimento Portland, apesar de ter sua textura criada artificialmente durante a execução, mantém o nível médio de macrotextura.

- o MR (Micro-Revestimento) que é uma técnica relativamente nova no Brasil e tem sido utilizada para melhorar a textura parece bastante

efetiva em termos de macrotextura, sendo classificada como muito grossa.

- o CPA (Camada Porosa de Atrito) apresentou textura muito grossa, todavia se diferencia do MR e do TSD por ter uma textura negativa, sendo capaz de drenar a água superficial durante precipitações, além de reduzir o ruído.

- o TSD (Tratamento Superficial Duplo) foi o revestimento que apresentou os maiores valores de macrotextura e é muito utilizado nas rodovias do estado, principalmente na malha estadual, sendo bastante seguro do ponto de vista da textura. Vale ressaltar que macrotexturas muito elevadas podem levar a altos níveis de ruído e a vibrações indesejadas no interior do veículo.

5. CONCLUSÕES

Neste artigo foram apresentados dados de ensaios de mancha ou altura de areia realizados em 8 diferentes revestimentos utilizados no Estado do Rio Grande do Sul. A partir da análise dos dados chegaram-se as seguintes conclusões:

- o ensaio normalizado pela ASTM E965-96 [14] é bastante rápido e simples de ser realizado, apesar de necessitar de equipe de apoio para sinalizar o local e desviar o tráfego da rodovia;

- existe uma amplitude de valores de macrotextura bastante grande, desde superfícies finas (LA) e médias (CBUQ, AB e CCP) até grossas (PMQ) e muito grossas (CPA, TSD e MR);

- todos os 8 pavimentos apresentam condições mínimas de segurança, segundo a classificação de Pasquet (1968) [17];

As próximas etapas da pesquisa pretendem avaliar técnicas mais apuradas de caracterização da superfície de pavimentos com a utilização de técnicas de tratamento de imagens digitais.

REFERÊNCIAS

1. Pavarino, R. V. F. Aspectos da educação de trânsito das teorias da segurança - Problemas e Alternativas. *Transportes*. v12 (1), p.59-68 2004
2. Confederação Nacional dos Transportes. Uma pesquisa a favor do Brasil. Disponível em <http://www.cnt.org.br/informacoes/revista.asp> (acessado em 18/12/2006).
3. Associação nacional de transportes públicos. *Política Nacional de transportes públicos*. São Paulo, 9p. 2003

4. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. *Manual de Reabilitação de Pavimentos Asfálticos*. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Rodoviárias. 1998. 243p.
5. Hunter R. N. *Bituminous mixtures in road construction*. London: Thomas Telford. 1994. 441p.
6. Aps, M.; Bernucci, L. L. B.; Costa, A. L.; Quintanilha, J. A.; Machado Filho, P. R. Aderência pneu-pavimento obtida por meio de ensaios de macro e microtextura e em provas de frenagem com veículos comerciais. *Revista Estradas*, n. 05, p. 31-37, 2003.
7. Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicadas. *Acidentes de trânsito: quanto se gasta com eles?* Disponível em <http://www.ipea.gov.br/> (acessado em 21/12/2006).
8. Brosseaud, Y. *Propriedades das superfícies dos pavimentos em relação à segurança e ao conforto dos usuários*. In: 18^a Encontro do Asfalto. Anais... Rio de Janeiro. 2006.
9. American society for testing and materials. *Standard test method for measuring surface frictional properties using the british pendulum tester*. D303-93. In: ASTM ...Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia, v 4.03, 5p. 2000.
10. British Standards Institution. *Methods for sampling and testing of mineral aggregates, sands and fillers*. BS 812-3. London.1975
11. Mastrad – Quality and test systems. Disponível em <http://www.mastrad.com/> (acessado em 5/01/2007).
12. Specht, L. P. *Avaliação de misturas asfálticas com incorporação de borracha reciclada de pneus*. Porto Alegre. Tese (Doutorado em Engenharia) – PPGEC/UFRGS. 2004. 279p. (disponível em www2.unijui.tche.br/~specht).
13. Momm, L. *Estudo dos efeitos da granulometria sobre a macrotextura superficial do concreto asfáltico e seu comportamento mecânico*. São Paulo, 1998. Tese (Doutorado em Engenharia) – EP/USP. 256p.
14. American society for testing and materials. *Standard test method for measuring pavement macrotexture depth using a volumetric technique*. D965-96. In: ASTM ...Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia, v 4.03, 3p. 2000.
15. Gransberg, D. D.; Karaca, I.; Burkett, W.R. Quantifying seal coat surface condition using digital image processing base don information theory. *The International Journal of Pavement Engineering*. v3 (4), p.197-205. 2002.
16. Khoudeir, M; Brochard, J.; Legeay, V.; Do, M. T. Roughness Characterization though 3D textures image analysis: contribution to the study of road wear level. *Computer-aided civil and infrastructure engineering*. v 19, p . 93-104. 2004.
17. Pasquet, A. Campagne nationale de glissance 1967 em France. *Colloque international sur la glissance et la sécuritté de la circulation sur routes moullées*. Berlin. 717-732. 1968.
18. Moura, E; Bernucci, L. L. B.; Ferreira, P. N. *Estudo do efeito da variação da granulometria da areia na determinação da macrotextura de pavimentos*. In: 35^a Reunião Anual de Pavimentação. Anais... Rio de Janeiro. 2004.

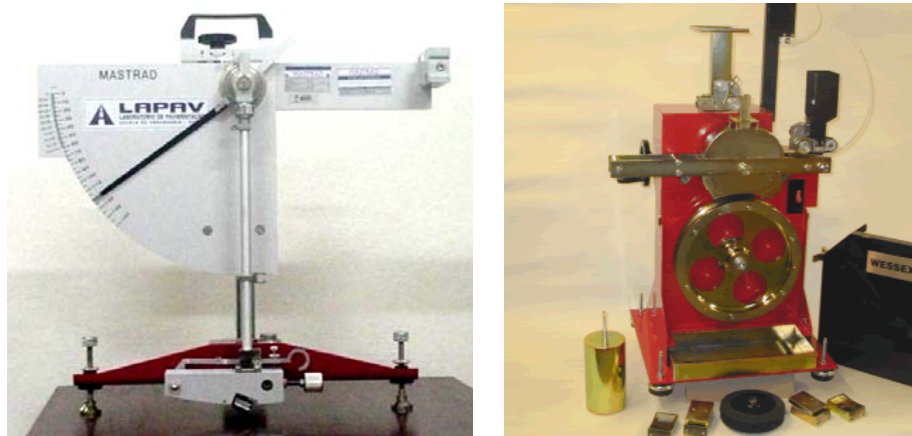


Figura 1 – Equipamento para mensuração da microtextura
a) Pêndulo Britânico, Specht (2004)[12]
b) Aceletared Polishing Machine, Mastrad (2007) [11]

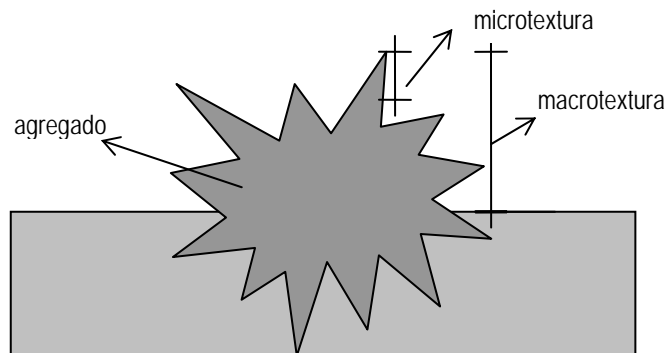


Figura 2 – Esquema representativo de micro e macrotextura
Fonte: Adaptado de Hunter (1994) [5]



Figura 3 – Ensaio de drenabilidade
Fonte: Specht (2004) [12]

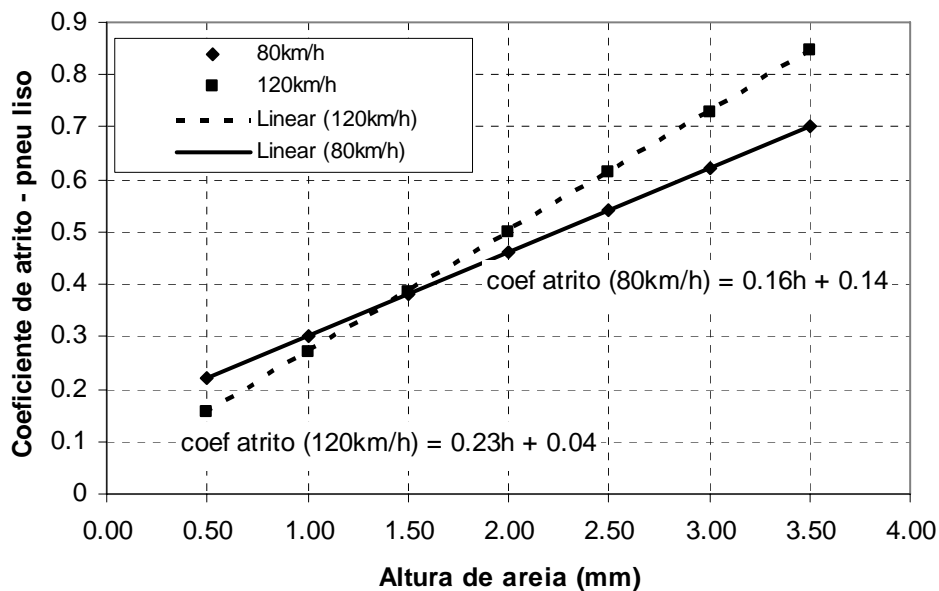


Figura 4 – Relação entre coeficiente de atrito e altura de areia
Fonte: Pasquet (1968) [17]

Tabela 1 – Limites de aplicação do revestimento segundo sua macrotextura
Fonte: Pasquet (1968) [17]

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



Figura 5 – Equipamento Griptester para medição do atrito
Fonte: Mastrad (2007) [11]

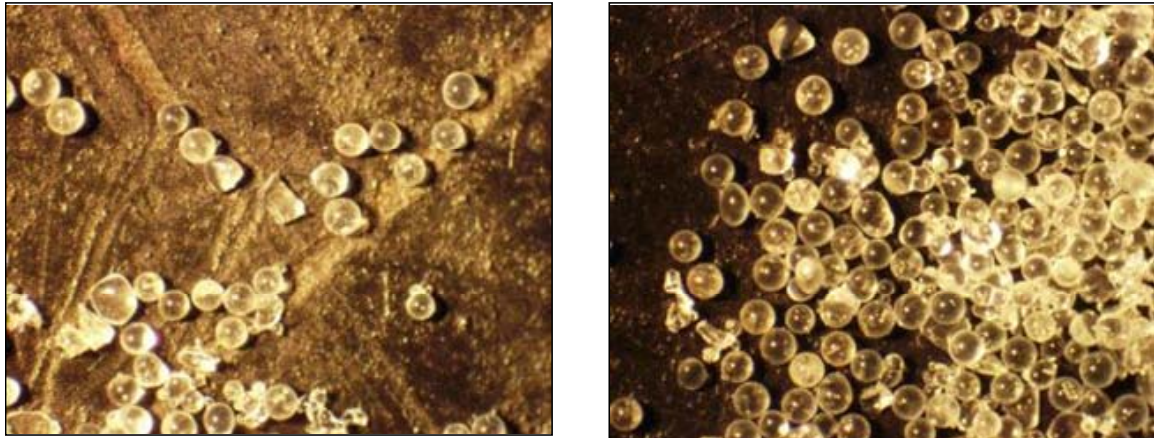


Figura 6 – Microesferas de vidro utilizadas no ensaio (aumento de 25X)



Figura 7 – Aparato utilizado para realização do ensaio de mancha de areia

Tabela 2 – Resultados dos ensaios de altura de areia

<i>Tipo de revestimento</i>	<i>Nº de medidas</i>	<i>Altura de Areia (mm)</i>	<i>Desvio Padrão (mm)</i>	<i>Coefficiente de Variação (%)</i>	<i>Textura*</i>
CBUQ	18	0,42	0,12	28,96	Média
PMQ	18	1,12	0,37	32,68	Grossa
CPA	20	2,04	0,39	19,20	Muito Grossa
TSD	54	2,30	0,72	31,41	Muito Grossa
AB	12	0,69	0,21	30,29	Média
MR	2	1,53	0,11	7,00	Muito Grossa
LA	14	0,23	0,03	12,86	Fina
CCP	9	0,58	0,08	13,37	Média

Nota: * Classificação segundo critério de Pasquet (1968) [17]

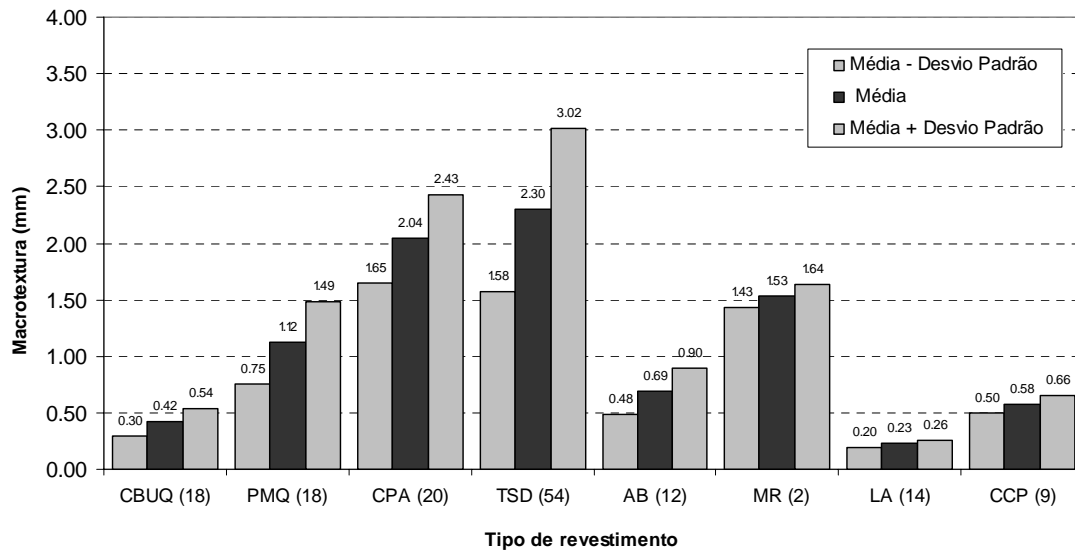


Figura 8 – Macrotextura dos revestimentos testados

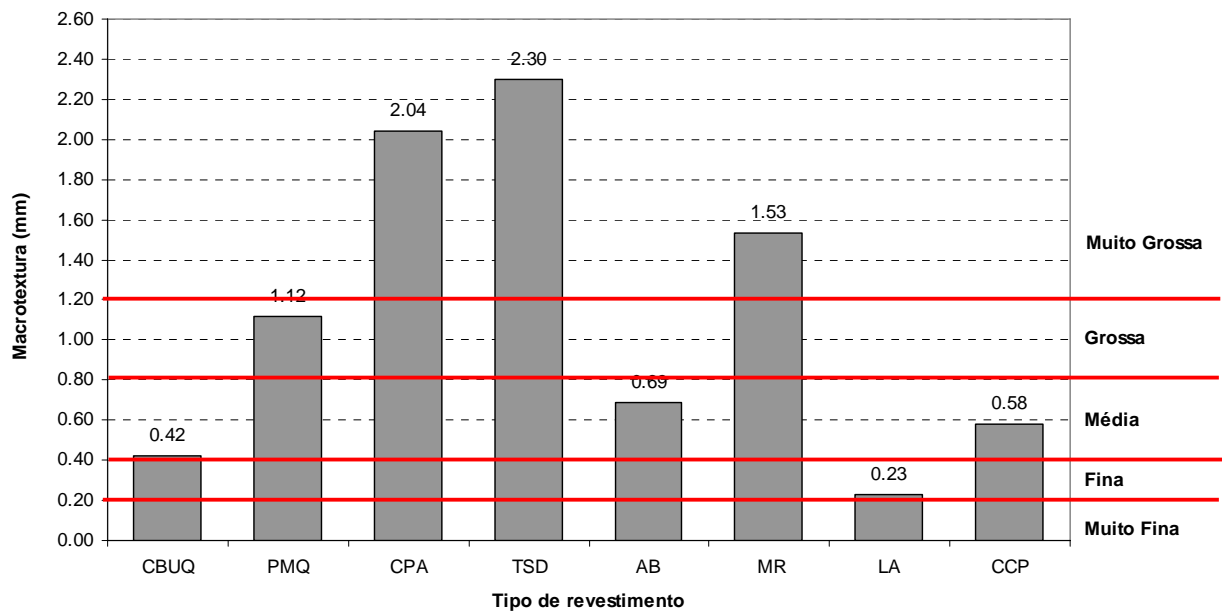


Figura 9 – Altura de areia dos revestimentos testados com classificação de segundo a textura